П. С. Лопух
О. Ф. Якушко

ОБЩАЯ ЛИМНОЛОГИЯ

Пособие для студентов географического факультета

МИНСК
БГУ
2011

УДК 50 251(28)
ББК 20.18
Л77

Рекомендовано
ученым советом географического факультета
22 ноября 2010 г., протокол № 6

Р е ц е н з е н т
доктор технических наук *Б. В. Курзо*

Лопух, П. С.

Л77 Общая лимнология [Электронный ресурс] : пособие для студентов геогр. фак. / П. С. Лопух, О. Ф. Якушко. – Минск : БГУ, 2011. – Режим доступа : http://www.elib.bsu.by, ограниченный.

ISBN 978-985-518-595-7.

В пособии обобщен и проанализирован накопившийся опыт по режиму озер Беларуси за последние 30 лет, отражены региональные особенности озер республики, рассмотрена их географическая роль.

УДК 50 251(28)
ББК 20.18

ISBN 978-985-518-595-7

© Лопух П. С., Якушко О. Ф., 2011
© БГУ, 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

Озера относятся к числу важнейших элементов природных ландшафтов. Их роль в жизни человека определяется в первую очередь большими запасами пресной воды. Географическая роль озер заключается в нескольких аспектах.

Во-первых, в интегральном воздействии озер на сток. Озера являются природными регуляторами стока. В отдельных случаях при значительном испарении с поверхности их акватории уменьшается годовой сток. В целом же озера участвуют в перераспределении максимального весеннего стока половодья на летний меженный период. Озера задерживают часть твердого стока, регулируют химический сток.

Во-вторых, озера благоприятно воздействуют на микроклимат прибрежных территорий. Тем самым озерный фонд обладает значительными рекреационными ресурсами.

В-третьих, вместе с водным стоком в озера поступает большое количество веществ автохтонного и аллохтонного материала, который в процессе седиментогенеза трансформируется в особые образования, именуемые донными отложениями. В условиях Беларуси формируются сапропели особого состава. Сапропели – одно из важнейших полезных ископаемых Беларуси.

В-четвертых, в озерах создается специфическая среда для жизни организмов, именуемых гидробионтами, которые принимают самое активное участие в функционировании и эволюционном развитии их гидроэкосистем.

В современных условиях роль озер существенно возрастает. В условиях постоянного воздействия антропогенного фактора они остаются хранителями чистой пресной воды. Озера часто являются ядром особо охраняемых территорий – национальных парков, заповедников и заказников различного уровня.

Данное пособие является логическим продолжением учебных пособий О. Ф. Якушко «География озер Беларуси» (1967), «Озероведение» (1981). Огромный накопившийся материал по режиму озер Беларуси за последние 30 лет позволил подготовить качественно новое пособие, в большей степени отражающее региональные особенности озер Беларуси.

Сформировавшаяся белорусская лимнологическая школа получила развитие в новых научных направлениях и фундаментальных публикациях, которые значительно дополнили теоретическую и прикладную лимнологию. Среди них следует отметить эволюционную и практическую лимнологию, научное обоснование особо охраняемых территорий и т. д.

Авторы выражают большую благодарность заведующему лабораторией озероведения географического факультета профессору Б. П. Власову за оказанную помощь в написании пособия и предоставление фондовых и опубликованных материалов.

ГЛАВА 1

ПРЕДМЕТ, ЗАДАЧИ И РОЛЬ ОЗЕР В ПРИРОДНОМ КОМПЛЕКСЕ

1.1. Предмет, задачи и методы исследования

Исследованием комплекса физико-географических процессов, происходящих в озерах, занимается одна из наук о Земле гидрологического цикла – *лимнология или озероведение.* Основоположником научного озероведения является швейцарский ученый Ф. Форель, который в 1885 г. предложил первую классификацию озер по термическому принципу и изложил основные принципы и задачи лимнологии на Лондонском Международном географическом конгрессе. Позже, в 1901 г., во введении к своему классическому труду «Руководство по озероведению (общая лимнология» он писал, что «…всякое озеро может быть рассматриваемо, как известная географическая единица, само по себе и в отношении к окружающей его местности». Во введении «Лимнологии» Д. Хатчинсона Л. Л. Россолимо подчеркивает понимание Ф. Форелем лимнологии как «…общие, относящиеся к озерам вообще наблюдения, законы и теории», т. е. *общая, или теоретическая*, *лимнология*.

Изучая разнообразные водоемы суши, С. Д. Муравейский пришел к мысли о необходимости комплексного их исследования для выявления всей совокупности протекающих в них процессов, включая и гидробиологические процессы. Тем самым была подчеркнута мысль о тесной связи лимнологии и гидробиологии. По Л. Л. Россолимо, лимнология – *это наука о водоемах озерного типа, изучающая весь комплекс взаимосвязанных физических, химических и биологических процессов, который определяет своеобразие этих водоемов.* Отсюда логически вытекает содержание *объекта изучения* лимнологии – отрицательные формы рельефа, заполненные водой и, в отличие от водотоков, не имеющие одностороннего стока, или озера.

Предметом изучения лимнологии является весь *комплекс внутриводоемных, или лимнических*, *процессов*, протекающих в озере в тесной связи с водосбором.



Ф. А. Форель (1841–1912)

Озероведение и лимнология тесно связаны с *морфометрией*. Основы морфометрии озер были разработаны Г. Ю. Верещагиным, С. Д. Муравейским. По мнению С. Д. Муравейского, морфометрия – это система количественных показателей, которая позволяет познать процессы, протекающие в водоемах и вызывающие изменения их подводного рельефа. Кроме морфометрии, лимнология тесно связана с *гидрохимией и гидробиологией*.



Д. Э. Хатчинсон (1903–1991)



Г. Ю. Верещагин (1889–1944)

Региональная лимнология занимается исследованием лимнических процессов в условиях конкретной территории, с учетом физико-географических условий и в тесной связи с водосбором, обусловленных длительным их развитием в голоцене. Как показывает практика исследований озер Беларуси, особенности их генезиса, гидрологического режима, процесса накопления донных отложений, эволюции лимносистем имеют специфические черты, характерные только для данной территории.

Методы исследований. Озера представляют собой сложные гидрологические и гидроэкологические экосистемы. Поэтому для их изучения применяется весь комплекс гидрологических методов исследований.

Стационарные исследования озер и водохранилищ ведутся на озерных станциях и гидрологических постах. Наиболее полной программой стационарных исследований отличается Нарочанская гидрометеостанция. Специальные гидробиологические исследования ведутся на Нарочанской гидробиологической станции, Вилейском водохранилище. По специальной программе ведутся исследования Лукомского озера в связи с его использованием в качестве водоема-охладителя Новолукомльской ГРЭС и в связи с этим изменением его режима. Ряд гидрометрических постов в 1970-е гг. было создано в системе МУОСов. *Полустационарные* исследования, как правило, сопровождают стационарные исследования, проводятся сезонно по специальной программе в соответствии с поставленными практическими и научными задачами.

Экспедиционные исследования ведутся в связи с научными задачами ряда научных и проектных учреждений. Исследования проводятся эпизодически, или сезонно, в которых решаются конкретные научные задачи.

Комплексный лимнологический метод изучения озер и водохранилищ сформировался в НИЛ озероведения при Белгосуниверситете и широко используется при паспортизации озер, изучении водохранилищ. Метод включает ряд приемов картирования озер, донных отложений и водной растительности, методик химического анализа донных отложений и озерных вод и других современных методик.

В *лабораторных* условиях изучаются физические и химические свойства грунтов и воды, водной растительности. Валовый химический анализ донных отложений ведется на сложных приборах, таких как пламенный фотометр, атомный спектроанализатор, нефелометр, калориметр и др.

Для изучения физико-географических условий водосборов озер в голоцене в лимнологии используется комплекс палинологических методов: *спорово-пыльцевой, диатомовый, остракодовый, палеокарпологический* и др. Для определения абсолютного возраста отложений используется *радиоуглеродный метод*.

При изучении отдельных процессов широко внедряется в изучение озер и водохранилищ моделирование. *Математическое моделирование,* в частности, применено при создании математической модели озер Дривяты, Нарочь, Байкал (Умнов, Меншуткин). В меньшей степени используется *натурное*, *или физическое*, *моделирование.* При натурном моделировании проводятся эксперименты, максимально приближенные к естественным условиям водоема. Например, использование меченого песка в прибрежной зоне с целью изучения динамики течений и транспорта наносов в прибрежной зоне.

1.2. История развития лимнологии в Беларуси

Создателями озероведения в России заслуженно считаются Д. Н. Анучин, Л. С. Берг, А. И. Воейков. Большую роль в организации исследований озер сыграло Русское географическое общество, а первые водомерные посты на крупных озерах появились еще в 1724 г. на Ладожском озере, 1830 г. на Каспии, на Селигере в 1847 г. В начале XX в. изучение озер в Советском Союзе продолжали Государственный гидрологический институт (ГГИ), гидрометеослужба. Был создан Водный кадастр СССР, Институт озероведения АН СССР в Ленинграде, Лимнологический институт в Листвянничное-на Байкале, Институт внутренних вод в Борке на Рыбинском водохранилище.

Беларусь богата озерами, поэтому многие исследования на территории Восточно-Европейской равнины касались ее рек и озер.

Значительный вклад внесла экспедиция 1894–1900 гг. под руководством Д. Н. Анучина, посвященная изучению главных рек европейской части России. Изучена гидрография ряда озер Витебской и Могилевской губерний. В книге «Живописная Россия» под редакцией П. П. Семенова приводится описание крупных озер: Нарочь, Мядель, Дривяты, а также в Полесье: Выгонощанское, Червоное, Луковское (1882). Интересные материалы по озерам Беларуси приводятся в работе «Материалы для географии и статистики России, собранные офицерами Генерального штаба Минской губернии». Данные по 350 озерам, их значение для рыбного промысла, для сооружения Огинского и Березинского каналов (1864).

Описания озер Витебской и Могилевской областей приводятся в работах А. С. Дембовецкого (1882) и в очерках В. Заржецкого, В. А. Лесневского, М. Ишкова (1903–1905), опубликованных в «Землеведении».

Последние годы своей жизни посвятил изучению гидрологического и гидробиологического режимов озер Беларуси (двух Свитязей, Загоранского, Черного, Любани и др.) известный исследователь Байкала, выходец из Беларуси Б. И. Дыбовский (рис. 1.1).

В 1914–1916 гг. изучение озер в практических целях выполняла Витебская рыбохозяйственная экспедиция, а в 1928 г. при Наркомземе БССР эту работу продолжала Научно-исследовательская станция рыбного хозяйства, с 1957 г. – Белорусский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства (БелНИИОРХ). В этот же период крупные исследования озер западных областей Беларуси выполнили польские лимнологи Е. Кондрацкий на озерах западной Браславщины (1938 г.) и С. Ленцевич в Полесье (1938 г.). Так, С. Ленцевич и другие авторы описывают геоморфологические особенности котловин озер, координаты и положение их над уровнем моря.

Первые наблюдения за гидрологическим режимом озер были начаты в 1926 г. Изучение озер Беларуси вновь было продолжено после Второй мировой войны. Уже в 1949 г. вышел краткий справочник рек и водоемов БССР под редакцией А. И. Тюльпанова, собранный главным образом по картографическим материалам. В справочнике «Озера Белорусской ССР» (1964 г.) под редакцией Е. А. Боровик освещены главным образом биологические характеристики наиболее исследованных озер для того времени. В сводном томе «Ресурсы поверхностных вод. Белоруссия и верхнее Поднепровье», изданном Гидрометеослужбой БССР в 1966 г., приводится цифра общего количества озер (10 780), включающая крупные старицы и водоемы площадью менее 0,1 км².

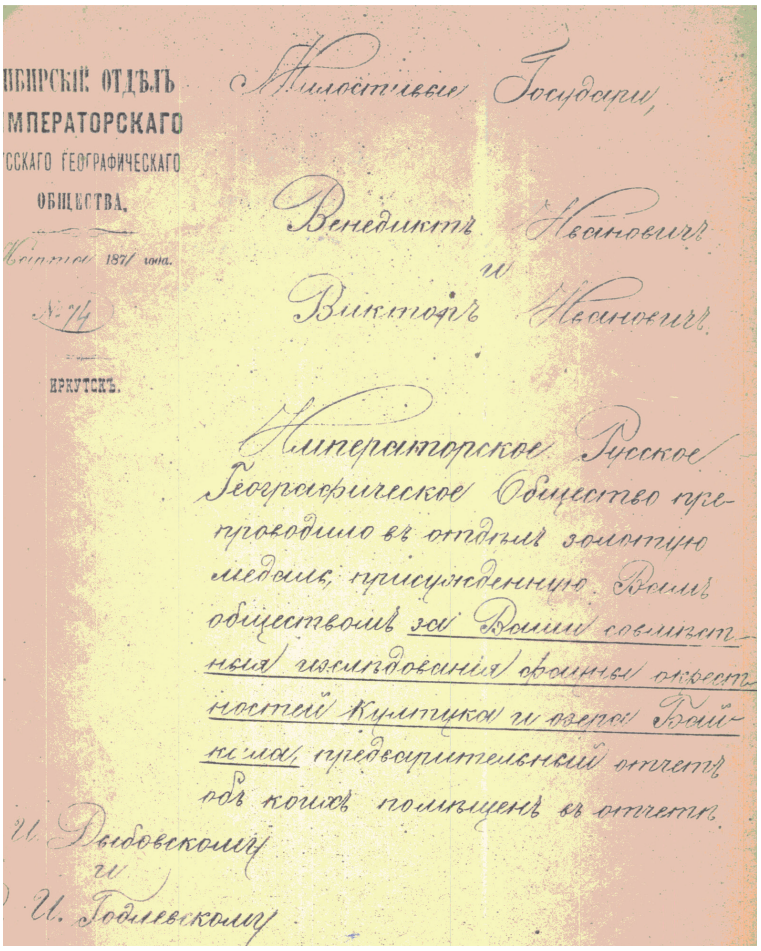

ИБИРСКІЙ ОТДѢЛЪ
ИМПЕРАТОРСКАГО
ССКАГО ГЕОГРАФИЧЕСКАГО
ОБЩЕСТВА.
1871 года.
№ 74
ИРКУТСКЪ.
Милостивые Государи,
Венедиктъ Иванович
и
Викторъ Иванович
Императорское Русское
Географическое Общество пре-
проводило въ отдѣлъ золотую
медаль, присужденную Вами
обществомъ за Ваши совмѣст-
ныя изслѣдованія фауны глубоч-
ностей Байкала и озера Бай-
кала, предварительный отчетъ
объ коихъ помѣщенъ въ отчетѣ
г. Дыбовскому
и
г. Годлевскому.

Рис. 1.1. Фрагмент письма Русского императорского географического общества о присвоении золотой медали общества Б. И. Дыбовскому за исследование оз. Байкал

В таблице 1.1 приводится размещение озер по бассейнам рек, батиметрические схемы 192 озер, содержатся данные гидрологических наблюдений по 24 озерным станциям и постам. В настоящее время регулярные наблюдения проводятся на 14 озерах.

Многолетний мониторинг Нарочанских озер с 1948 г. выполняет лаборатория гидробиологии БГУ. Здесь выросли крупные ученые-гидробиологи. На ее материалах издана монография «Экологическая система Нарочанских озер», издается ежегодный «Бюллетень экологического состояния озер Нарочь, Мястро, Баторин».

Детальное изучение и оценка ресурсов озерных сапропелей ведется с 1975 г. в Институте проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси. Здесь составлен кадастр сапропелевых отложений наших озер, разработаны проекты добычи 70 месторождений сапропелей.

Институт геохимии и геофизики НАН Беларуси совместно с географическим факультетом много лет занимается проблемами палеогеографии, эволюции озер в плейстоцене и голоцене. Основой этих исследований служит материал буровых скважин донных отложений, изученных геохимическим, спорово-пыльцевым, диатомовым методами и определением абсолютного возраста. Интересные и современные исследования выполняются в Институте зоологии НАН Беларуси. Они направлены на изучение видового состава, развития и функционирования гидробионтов, в частности реликтовых ракообразных в глубоких озерах. Краткие сведения об озерах содержатся в Белорусской энциклопедии и «Голубой книге»

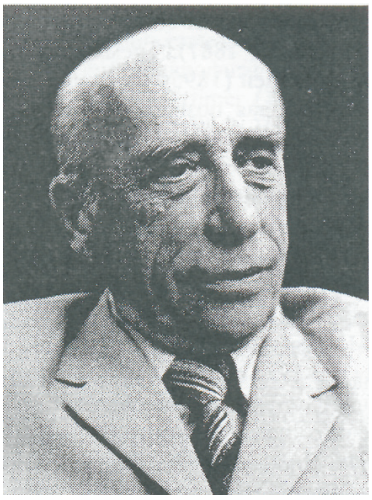
В конце 1950-х гг. начали разворачиваться лимнологические исследования на географическом факультете БГУ. Вначале это выражалось в ежегодных дипломных работах. В 1960-х гг. исследования уже носили комплексный характер и объединяли большую группу студентов и преподавателей.

Лимнологическая школа и лимнологические исследования географического факультета получили широкую известность, и в 1973 г. одновременно с образованием кафедры общего землеведения основана отраслевая научно-исследовательская лаборатория озероведения (ОНИЛОЗ), преобразованная в 1992 г. в НИЛ озероведения. Сотрудниками лаборатории и кафедры опубликован ряд крупных научных монографий и учебников, изданы справочники в 1983 и 2004 гг. Последний содержит систематизированные сведения по 826 озерам республики: данные по гидрологии, морфометрии, гидрохимии, гидробиологии, составу и мощности донных отложений, характеру водосборов, их хозяйственному использованию.

1.3. Научные школы и направления

Развитие отечественной лимнологии тесно связано с историей ее формирования в России. Истоки развития лимнологии на Беларуси идут в глубину XIX в., когда сосланный в Сибирь выходец из Лиды Б. И. Дыбовский впервые в России провел комплексные исследования оз. Байкал. Это был первый опыт подобного полевого исследования озера, за который в 1871 г. Б. И. Дыбовский и его соавтор В. И. Годлевский были удостоены золотой медали Русского географического общества. Этот этап развития лимнологии отличался разрозненными исследованиями.

Послевоенный этап в развитии исследований озер на Беларуси можно разделить на два периода: 1950–1970-е гг. – период становления национальной белорусской лимнологии как самостоятельной науки, а с 1970 г. и по настоящее время – современный период.



Г. Г. Винберг (1905–1987)



О. Ф. Якушко – создатель отечественной научной школы озероведения

Становление лимнологии как самостоятельной науки в Беларуси отличалось постепенным переходом от чисто гидробиологических исследований к комплексному лимнологическому направлению, основателем и организатором которого стала одна из первых женщин – докторов наук на Беларуси профессор О. Ф. Якушко. Традиции гидробиологических исследований (Е. А. Боровик, М. Е. Макушок, А. А. Зенкевич, Г. Г. Винберг) продолжают в настоящее время ученые биологического факультета Белгосуниверситета.

Исследования озер в 1970-е гг. способствовали созданию первоначально учебной лаборатории озероведения, а затем отраслевой НИЛ озероведения Белорусского государственного университета и формированию белорусской лимнологической школы. Новым импульсом к энтузиазму первых озероведов, к подготовке специалистов по изучению водоемов Беларуси послужил выход в свет первого учебного пособия и монографии по озерам О. Ф. Якушко.

Период становления лимнологии на Беларуси отличался накоплением фактических натурных материалов по озерам Беларуси, изучением региональных природных особенностей различных озерных групп, разнотипных озер, отработкой методики натурных исследований и завершился формированием белорусской лимнологической школы. Это дало возможность провести паспортизацию наиболее крупных озер Беларуси и перейти к комплексному изучению искусственных водоемов. Водохранилища и пруды, находящиеся на территории нашей республики, географами до этого времени практически не изучались.

Значительную роль в активизации исследований водохранилищ и прудов сыграло создание отдела водохранилищ в Центральном НИИ комплексного использования водных ресурсов, научное руководство которым осуществлялось профессором В. М. Широковым. Это позволило перенести акцент исследований с узких отраслевых водных проблем на комплексное исследование природы искусственных водоемов: формирования ложа, грунтовых комплексов, заиления и зарастания, биологического режима, эволюции природы в целом, природно-акваториального районирования, проблем взаимодействия с окружающей средой и др.

Закономерным следствием второго этапа в этих исследованиях в республике явилось издание ряда монографий по природным и искусственным водоемам и второго издания учебного пособия по озероведению. Фактически к концу 1980-х гг. сформировались самостоятельные направления в изучении водоемов замедленного водообмена: гидрология озер (лимнология), гидрология водохранилищ и прудов, гидрология карьерных водоемов.

На наш взгляд, такое разделение способствовало более глубокому изучению природы и гидрологического режима различных типов водных объектов и накоплению обширного объема фондовых материалов по их гидрологии и гидробиологии, рациональному использованию и охране, рекультивации и восстановлению и т. д. Сформировалась школа палеогеографов Беларуси, которая вооружена серией палеогеографических методов реконструкции озерных ландшафтов. Возникла необходимость комплексной географической оценки и обобщения накопленного материала и создания теории эволюции озер и озерно-речных систем.

Искусственные водоемы являются новыми водными объектами, развитие которых происходит на наших глазах. Теоретические разработки в области эволюции озер до настоящего времени схематичны, без прочной научной основы. Современные представления о формировании природы водохранилищ восполняют недостающие звенья о первых этапах развития природных водных объектов. В то же время восстановление и реконструкция условий эволюции озер дает основу для прогноза эволюции водохранилищ и других искусственных объектов. Такое взаимодополнение материалов по озерам и водохранилищам будет способствовать созданию единой теории эволюции водоемов замедленного водообмена.

Решение проблемы теоретического обоснования путей развития природы водоемов замедленного водообмена (озер, водохранилищ, прудов, карьерных водоемов), создание единой теории их эволюции дают фундаментальную основу для решения ряда теоретических и практических задач.

1.4. Место озер в природном комплексе

Площадь озер республики изменяется от 0,01 до 80 км². Основное количество (около 50 %) составляют озера площадью менее 0,1 км². На долю озер площадью от 0,1 до 1,0 км² приходится 41 % общей площади озер. Озера с площадью от 1,0 до 10 км² составляют 9 %. Наиболее крупные озера с площадью более км² составляют 0,6 %. Общая площадь всех озер республики около 2000 км², объем воды в них 5 км³.

Озерные водоемы Беларуси относятся к числу важнейших природных ресурсов и отражают как историю развития, так современное экологическое состояние территории. Помещенные ниже оценки выражают степень изученности озер и основаны на литературных и фондовых материалах, главным образом НИЛ озероведения БГУ, включающие данные по водоемам Западной Двины, Немана, верховья Березины (днепровской), Ловати. По данным Гидрометеослужбы Беларуси (1966), общее количество озер в бассейне Западной Двины составляет 2 826, Немана – 1054. Общее же количество их по республике превышает 10 тысяч. Согласно существующей гидрологической градации озера республики относятся к числу малых и очень малых. Однако водоемы с площадью более 0,1 км² условно отнесены к относительно крупным. Их число по республике составляет 1072. На бассейн Западной Двины и Немана приходится около 80 % из этого числа. Наиболее значительных с площадью 10 и более км² насчитывается всего 22, двадцать из которых расположены в пределах Поозерья. Здесь же наиболее крупное оз. Нарочь (80 км²) и глубокое – оз. Долгое (53,3 м) .

В гидрографической сети озера играют огромную роль в качестве природных регуляторов речного стока и накопителей значительных объемов воды. В этом выражается их основная хозяйственная и гидрологическая ценность. В современных естественных условиях каждое озеро включает водную массу, заполняющую углубление земной поверхности – котловину, образующую природный аквальный комплекс (ПАК). Его формирование и эволюция зависит от особенностей водосбора: гидросети, рельефа, характера грунтов, облесенности, заболоченности, хозяйственной освоенности и процессов, происходящих в самом озере.

В отличие от водотоков озера характеризуются замедленным водообменом и положительным балансом вещества и энергии. Именно эти черты обеспечивают накопительную способность их лимносистем, стабильность условий для развития живых организмов, аккумуляцию специфических органо-минеральных осадков. В своем жизненном цикле лимоносистемы характеризуются определенным круговоротом вещества и энергии, который выражается в утилизации солнечной энергии водными растениями и образованием первичной продукции органического вещества, главным

образом фитопланктона в процессе фотосинтеза. Под влиянием редуцирующих бактерий в аэробной среде новообразованное органическое вещество проходит процесс деструкции (минерализации, разложения) на простые химические составляющие. Преобладание деструкции над продукцией выражает способность озера к самоочищению и характеризует низкую степень трофности, т. е. содержания питательных веществ, что свойственно олиготрофным и мезотрофным водоемам. В ходе естественной эволюции соотношение продукционно-деструкционных процессов сдвигается в сторону повышения продукции и уменьшения способности самоочищения. Иначе говоря, озера приобретают черты эвтрофных или высокоэвтрофных водоемов.

В условиях умеренного климата Беларуси жизненный цикл озера заканчивается заполнением котловины осадками, зарастанием и превращением в низинное болото. В отличие от наземных природно-территориальных комплексов, такие аквальные системы характеризуются определенной степенью экологической инертности, что выражается, в частности, в сохранении в них ряда реликтовых организмов. Вместе с тем по отношению к спонтанным антропогенным воздействиям они проявляют высокую чувствительность.

Таблица 1.1

Количество озер Беларуси и объем водной массы по градациям площадей (О. Ф. Якушко, Б. П. Власов и др., 1995

Градации	Данные Н. Н. Курловича, А. А. Серафимовича, 1981 г.		Изученные НИЛ озероведения Белгосуниверситета	
	Количество	Объем (млн м³)	Количество	Объем (млн м³)
До 0,05	н. с.	н. с.	3	0,10
0,05–0,10	н. с.	н. с.	19	5,07
0,11–0,25	420	247,8–82,74	97	68,50
0,26–0,50	276	400,2–60,78	133	188,21
0,51–1,00	180	558,2–55,44	115	343,97
1,01–5,00	149	1273,5–93,8	142	1176,29
5,01–10,00	25	628,3–48,6	20	567,14
10,10–15,00	9	600,3	7	547,87
15,10–20,00	3	191,4	4	241,16
20,10–25,00	2	192,5	–	–
25,10–30,00	2	116,2	–	–
30,10–40,00	2	472,5	9	935,96
40,10–60,60	3	484,3	–	–
60,10–79,6	1	710,4	–	–

Водные ресурсы озер Белорусского Поозерья слагаются из их общей площади и объема водной массы, составляющих до 2000 км² и около 6 км^3. Призма ежегодной сработки за счет межсезонной амплитуды колебания уровня 0,4 м составляет 350,57 млн м^3. Площадь изученных озер более 860 км², их объем около 4200 млн м^3. (табл. 1.2).

В административном отношении в Поозерье входит 17 районов Витебской, Минской и Гродненской областей. В табл. 1.2 приводится количество изученных озер по административным районам наиболее озерного региона Беларуси – Белорусского Поозерья. Большая их часть образует естественные группы, или озерно-речные системы, связанные между собой речной артерией. Наиболее крупные озерно-речные системы: Нарочанская, Браславская, Ушачская, Сорочанская, Березинская, Мядельская и др. Некоторые крупные водоемы – Освейское, Нещердо, Лосвидо расположены обособленно. Белорусское Поозерье в природном отношении входит в состав Балтийских Поозерий, включающих территорию севера и северо-запада Европы в границах распространения последнего вюрмского (валдайского, поозерского) ледника. Отличительной особенностью этой территории является молодость ледникового рельефа, сочетание моренных гряд, холмов, бессточных впадин, заполненных озерными водами.

Таблица 1.2

Основные лимнические характеристики озерного фонда Белорусского Поозерья по административным районам

Административный район	Количество озер	Площадь (км^2)	Объем (млн м)	Мезотрофные	Эвтрофные	Дистрофные	Гипертрофные	Степень антропогенной трансформации			Устойчивость антропогенному воздействию	
								I	II	III	Устойч.	Слабо-устойч.
Бешенковичский	17	12,9	89,6	3	12	2	–	1	14	2	5	12
Браславский	75	172,5	942,5	8	57	9	1	6	53	16	30	45
Верхнедвинский	8	77,9	164,5	–	4	4	–	1	4	3	5	3
Витебский	15	14,0	61,7	–	14	1	–	2	11	2	10	5
Глубокский	19	25,5	137,4	6	11	1	1	5	10	4	8	11
Городокский	38	78,4	362,0	4	30	4	–	5	18	15	16	22
Лепельский	45	43,8	229,5	8	35	2	–	3	38	4	18	27

Окончание табл. 1.2

Административный район	Количество озер	Площадь ($км^2$)	Объем (млн м)	Мезотрофные	Эвтрофные	Дистрофные	Гипертрофные	Степень антропогенной трансформации			Устойчивость антропогенному воздействию	
								I	II	III	Устойч.	Слабо-устойч.
Мядельский	14	143,6	1030,2	5	9	–	–	–	9	5	4	10
Миорский	32	41,5	141,0	2	21	9	–	5	20	7	13	19
Островецкий	11	4,1	16,0	–	9	2	–	–	11	–	–	11
Полоцкий	63	58,9	213,5	8	48	7	–	4	37	22	36	27
Поставский	24	26,2	78,9	1	21	2	–	5	15	4	12	12
Россонский	29	63,4	213,8	2	25	2	–	1	23	5	20	9
Сенненский	11	14,3	74,0	1	7	2	1	1	9	1	9	2
Ушачский	66	72,4	326,1	14	50	2	–	3	52	11	30	36
Чашниковский	22	56,0	297,4	–	20	2	–	4	17	1	11	11
Шумилинский	8	5,6	19,3	2	5	1	–	5	2	1	3	5
Всего	497	861,71	4260,5	64	378	52	3	51	343	103	230	267

Водоемы размещаются главным образом в пределах моренных возвышенностей и равнин: Свенцянской, Браславской, Ушачско-Лепельской, Городокской, Витебской, где сформировался особый холмисто-моренно-озерный тип ландшафтов. В некоторых районах (Ушачский, Браславский) на долю озер приходится до 10 % территории. Отличительной особенностью служит здесь слабое развитие эрозионной сети при значительной озерности небольших рек. Последние отличаются слабо выработанными неглубокими долинами, объединяющими группы озер с помощью неглубоких протоков. В сравнении с речными долинами озерные котловины оказываются переуглубленными, что сокращает их проточность и возможность спуска. Примером в этом отношении может служить р. Друйка, которая на своем протяжении (42 км) объединяет более 20 водоемов Браславской озерно-речной системы. Река Дива, длиной всего 46 км, является основной артерией, дренирующей многочисленные озера Ушачской озерно-речной системы. В такой же роли выступают реки Нарочанка, Мяделка, Сорочанка

и др. Наиболее крупные реки – Западная Двина, Неман, Вилия образуют глубокие долины в пределах озерно-ледниковых и зандровых низин и на своем пути лишены современных озер.

В целом для Белорусского Поозерья характерна высокая озерность территории (соотношение в процентах суммарной площади водных поверхностей водоемов к общей площади водосбора речного бассейна), около 3 % (рис. 1.2). Наиболее высокая озерность (12,9 %, табл. 1.2) характерна для р. Друйки, на водосборе которой насчитывается свыше 60 озер. Значительной озерностью (6–9 %) отличаются реки 1-го порядка – Вята, Дрыса, Туровлянка, Черногостица. На более мелких реках 2-го и 3-го порядка наиболее высокая озерность характерна для рек Дрысвята (11 %), Свольна (10 %), Нещерда (9,6 %), Нища (7,9 %), Лукомка (7,5 %), Дохмарка (6,4 %). Такая же закономерность характерна и для рек Лучеса, Сарьянка, Волта, Ужица, Каспля, Витьба и др. (рис. 1.3).

Наиболее значительные озерные водоемы Беларуси чаще всего связаны с деятельностью последнего поозерского ледника и концентрируются на севере республики, в Белорусском Поозерье (рис. 1.4). В бассейне Западной Двины и Немана их насчитывается около 3500.

Белорусское Полесье – вторая область массового развития озер. В бассейнах Днепра и Западного Буга их немногим менее 7 тыс. В основном это речные старицы; более значительные водоемы занимают древние понижения поверхности и относятся к мелководным озерам – разливам. Встречаются в Полесье небольшие, но довольно глубокие озера карстового происхождения. В *центральной части* республики озер очень мало. Наиболее известные среди них озера Кромань, Свитязь, озерно-речная система (группа Белое) к востоку от г. Гродно.

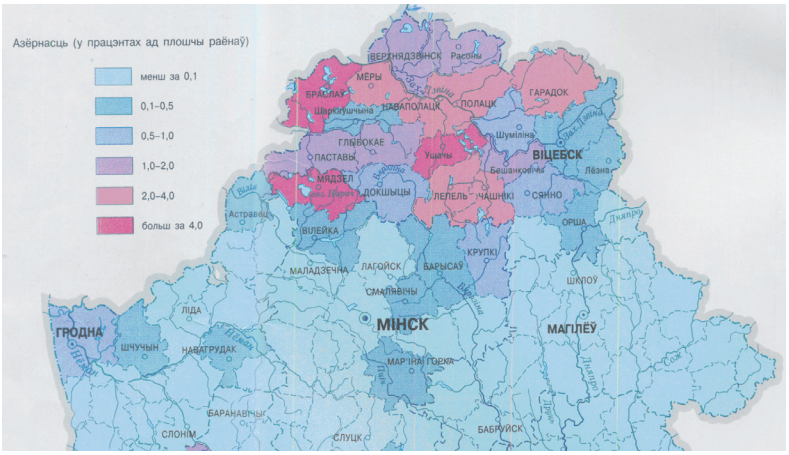


Рис. 1.2. Озерность территории Беларуси по административным районам

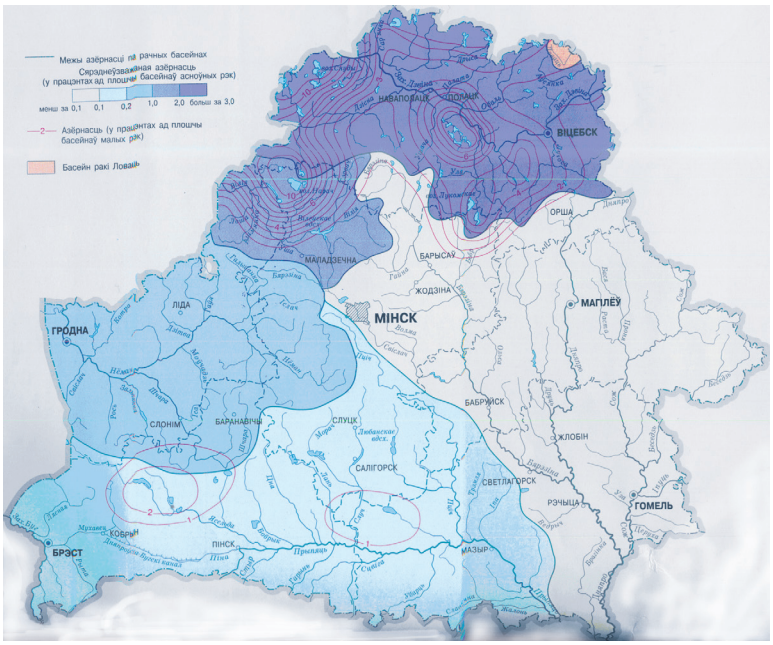


Рис. 1.3. Озерность территории Беларуси
по речным бассейнам

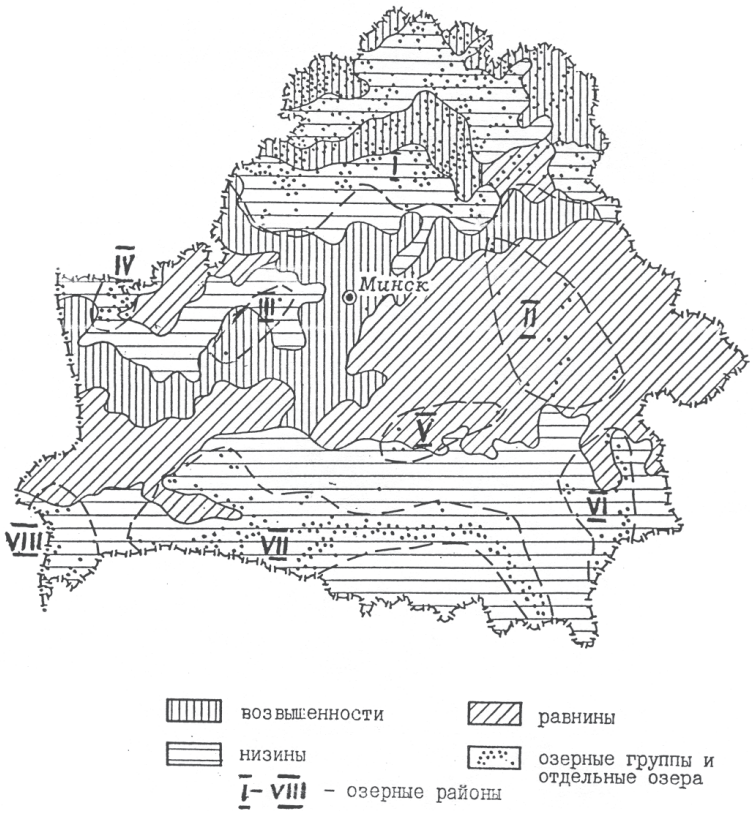


Рис. 1.4. Распространение озер по разным типологическим
формам на территории Беларуси

Все озера Беларуси расположены в пределах зоны смешанных лесов, общие ландшафтные и в особенности климатические условия которой определяют современный облик водоемов, их питание, направленность гидрохимических и биологических процессов. Вместе с тем озера способны сохранять множество черт реликтового характера, нетипичных для современных природных условий. Это свидетельствует о консервативности водоемов как природных комплексов. Озера Северной Беларуси, например, отличаются молодостью и отражают особенности ледниковой и позднеледниковой эпох, стабилизированные в строении котловин, распространении ледниково-озерных отложений, наличии реликтовых видов и форм животных и растительных организмов. В облике котловин и гидрохимическом режиме озер Брестского Полесья сохранились черты доантропогеновых морфоструктур и древних карстовых процессов.

Однако консервативность озерных природных комплексов сочетается с их экологической мобильностью. Как компоненты природного ландшафта озера отличаются способностью быстро и чутко реагировать на изменение внешней среды, они весьма ранимы в экологическом смысле. Любое нарушение уже сформировавшихся экологических условий в пределах водосбора (изменение климата, сокращение или увеличение площади под лесной растительностью, нарушение в направлении геоморфологических и почвообразовательных процессов) в течение относительно короткого промежутка времени неминуемо отразится на водном режиме озера, количестве поступающего минерального и органического вещества, условиях жизнедеятельности организмов, процессах седиментации и т. д. Эта роль озер как фиксаторов и индикаторов изменений природной среды делает их своеобразными летописцами того или иного геологического отрезка времени. Именно поэтому изучение стратиграфии донных отложений, их вещественного состава, остатков фауны и флоры позволяет реконструировать природную обстановку озерного бассейна за период накопления этих отложений. Вместе с тем мобильность озерной экосистемы создает возможность преобразовывать озера в ходе их хозяйственного освоения.

Благодаря замедленному водообмену и аккумулирующей способности озер в них формируется своеобразный полузамкнутый цикл круговорота вещества и энергии. Последнее делает озера прекрасными природными моделями при разработке системы управления мелиоративными преобразованиями природных объектов для практических целей.

ГЛАВА 2

ПАЛЕОЛОГИЯ ОЗЕРНЫХ ВОДОЕМОВ

2.1. Вопросы геохронологии

Геохронология голоцена и позднеледниковья изучена многими авторами. Однако наибольшим признанием пользуется схема Блитта – Сернандера, разработанная для территории Скандинавии и уточненная радиоуглеродными датировками. В многочисленных работах М. И. Нейштадта и Н. А. Хотинского применяется видоизмененная схема Блитта – Сернандера. М. И. Нейштадт разделил голоцен на четыре этапа: древний, ранний, средний и поздний, причем древний голоцен (12–13 тыс. лет) соответствует арктическому и субарктическому периодам в системе Блитта – Сернандера (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Схема деления голоцена и позднеледниковья

Эпоха	Возраст (тыс. лет)	Периоды голоцена по Нейштадту	Периоды по Блитту –Сернандеру	Обозначение
Голоцен	Около 25 000	Поздний голоцен He_4	Субантлантический	*SA*
	4000	Средний голоцен He_3	Суббореальный	*SB*
	6000		Атлантический	*AT*
	8500	Ранний голоцен He_2	Бореальный	*BO*
	10 200		Пребореальный	*PB*
Позднеледниковье	5,25 5,5	Древний голоцен He_1	Арктический	Верхний дриас
	5,75			Аллеред
	6,5 7,0			Средний дриас
	7,0 7,25			Бёллинг
	7,5 7,75			Нижний дриас

Позднеледниковый (древний) этап характеризовался арктическим и субарктическим климатом, который нарушался более или менее значительными вспышками потеплений. Одно из первых заметных потеплений – беллингское, сменившее холодное раннедриасовое время, было вызвано отступанием ледника с территории Северной Литвы и освобождением ото льда южной части Балтийского моря. После краткой остановки ледникового края севернее линии Рига – Тарту около 12 тыс. лет назад наступило более значительное потепление – аллеред, во время которого северо-запад Восточно-Европейской равнины полностью освободился от поверхностного ледяного покрова. Последнее похолодание верхнего (молодого) дриаса было связано с формированием моренных гряд Сальпаусселькя около 10 200 лет назад.

Собственно голоцен делится на периоды: пребореальный (*PB*) – 10 200 лет; бореальный (*BO*), нижняя граница которого выделяется на уровне 8500 лет; атлантический (*AT*) с нижней границей 6000 лет; суббореальный (*SB*) – около 4000 лет и субатлантический (*SA*) – около 2500 лет. Представленная схема широко используется географами при палеореконструкциях развития природы водосборов и самих озер.

2.2. Палеогеографические методы исследования озер

Проблемы палеогеографии озер Беларуси изучаются многими исследователями и с помощью разных методов. Основным методом палеогеографии является естественно-исторический метод, представляющий собой совокупность современных методов, с помощью которых решаются три основные задачи:

- изучение природной обстановки прошлого времени на водосборе;
- оценка современного состояния лимносистем;
- прогнозирование тенденций эволюционного развития лимносистем.

Решение поставленных задач находит применение в нескольких направлениях: *геохронологии* – установление возраста событий на водосборе и в самом озере на протяжении голоцена; *стратиграфии* – расчленение толщи донных отложений озер; *палеогеографии* – воссоздание гидрологических условий накопления донных отложений и развития природных компонентов водной среды во времени и пространстве; *корреляции* – сопоставление природных процессов как в самом водоеме, так и в различных регионах.

Частные методы дают первичную информацию и фактический материал для последующей его обработки с помощью *общих методов,* которые позволяют на их основе обрабатывать уже полученную информацию.

Сбор и первоначальное изучение фактического материала осуществляется *в полевых условиях* путем бурения толщи донных отложений, отбора образцов с различных горизонтов их описания и консервации. Последующая обработка проводится *в лабораторных условиях* с помощью различных методов. Частные методы подразделяются на две группы: *абсолютной геохронологии и относительной геохронологии.*

В палеолимнологии для определния абсолютного возраста донных отложений применяются радиологические (изотопные) методы, которые основаны на данных времени радиоактивного распада химических элементов и накопления их продуктов распада (изотопов) в отложениях. В результате распада появляются атомы устойчивых элементов, количество которых увеличивается пропорционально возрасту минералов. Для каждого радиоактивного элемента характерен свой период полураспада. Среди методов этой группы известны: урановый, свинцовый, калий-аргоновый, рубидий-стронциевый, кальциевый, осмиевый, радиоуглеродный, изотопно-кислородный и другие методы.

Среди них наиболее часто применяется *радиоуглеродный* (*изотопно-углеродный*) метод определения абсолютного возраста донных отложений озер, который позволяет более обоснованно интерпретировать результаты исследований донных отложений другими методами. Метод основан на изучении изотопных отношений углерода ^{12}C, ^{13}C, ^{14}C в донных осадках. Изотоп углерода ^{14}C усваивается живыми организмами, а после их отмирания происходит распад ^{14}C (период полураспада 5,5–5,7 тыс. лет). По соотношению $^{14}C/^{12}C$ определяется возраст отложений, в которых захоронены органические остатки, преимущественно растений, древесины. Метод себя хорошо зарекомендовал при изучении пород, имеющих возраст 1–60 тыс. лет. Образцы моложе 1 тыс. лет не анализируются из-за большой погрешности в определении, а свыше 60 тыс. лет – также и из-за высокой технической сложности анализа и дорогостоимости метода. Донные отложения озер имеют возраст не старше 1–12 тыс. лет. Поэтому метод является надежным связующим инструментом для корреляции результатов исследований другими методами. На рисунке 2.1 приведены кривые изменения палеотемператур, реконструированные с помощью радиоуглеродного метода.

Среди методов относительной геохронологии в практике исследований широко используются *палеонтологические* (*геолого-стратиграфические*). Каждый из методов этой группы представляет собой самостоятельное научное направление в изучении геологической истории озер, процесса накопления веществ в котловинах озер, в воссоздании физико-географических условий развития лимносистем в позднеледниковье и голоцене. Сущность этих методов заключается в определении относительного возраста слоев

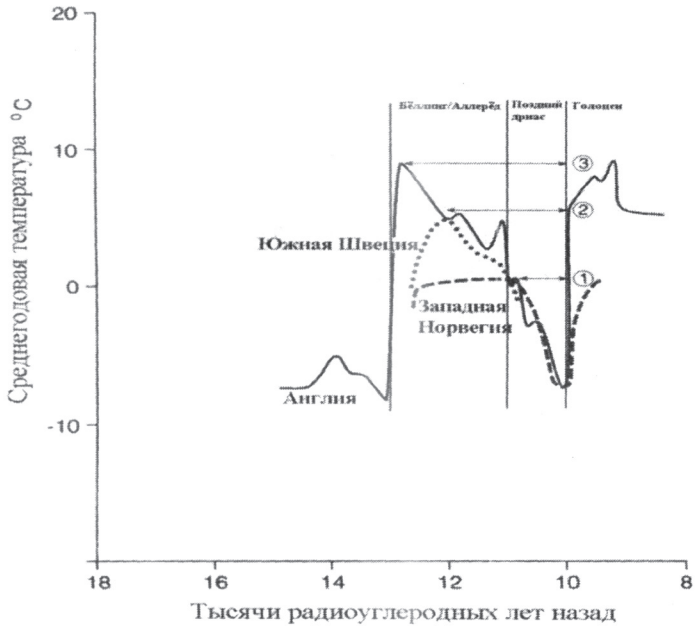


Рис. 2.1. Реконструированные для Англии, Южной Швециии Западной Норвегии с помощью радиоуглеродного метода потепления в Северной Европе (по Д. А. Субетто, 2009). Цифрами в кружочках *1*, *2*, *3* отмечают продолжительность этапа снижения температуры воздуха для западной части Норвегии, южной части Швеции и Англии соответственно

отложений по крупным и мелким ископаемым, остаткам отмерших животных (моллюсков, остракод и др.) и растений (листьев, спор, пыльцы, диатомовых и золотистых водорослей, плодов, семян и др., которые в них сохранились).

Наиболее широко используются *флористические и фаунистические биостратиграфические методы*.

Флористические методы. *Палинологический, или спорово-пыльцевой*, *метод* занимает ведущее место среди других методов этой группы, хотя используется сравнительно недавно (с 1916 г.). Объектами его изучения являются микроскопические оболочки пыльцы голосеменных и цветковых растений, споры грибов, лишайников, мхов, плаунов, хвощей и папоротников, а также остатки растений, водорослей. Споры и пыльца ежегодно появляются в больших количествах, почти не разрушаются, хорошо переносятся ветром и течениями. Поэтому они легко попадают в озера и накапливаются в отложениях в разном количестве, пропорционально степени развития этих растений на водосборе озер. С помощью микроскопии устанавливается таксономическая их принадлежность, выясняются спорово-пыльцевые спектры (процентное содержание в одной пробе пыль-

цевых зерен и спор разных таксонов) и спорово-пыльцевые комплексы (содержание в образце количественно-доминирующих спор и пыльцевых зерен). Данные спорово-пыльцевого анализа позволяют установить возраст отложений, восстановить физико-географические условия геологического прошлого: характера флоры, растительности, распространения форм, изменения климата развития палеоводоемов, особенностей осадконакопления, влияния антропогенного фактора на естественную природную среду и др.

Карпологический метод изучает форму и строение плодов и семян растений (преимущественно травянистых), мегаспор папоротникообразных. Основная задача карпологии – изучение строения и развития плодов и семян, а также разработка их классификации. Метод эффективен для изучения четвертичных отложений. *Альгологический метод* исследует микроскопические водоросли (диатомовые, золотистые и жгутиковые), объединяемые единым понятием «наннопланктон». *Диатомовый метод* занимает важное место среди альгологических методов. Предметом его исследования являются кремнистые водоросли. Бактериологический метод основан на изучении группы микроскопических одноклеточных организмов – бактерий. Самые ранние бактерии обнаружены в породах древнее 3,5 млрд лет. *Дендрохронологический метод* основан на изучении годичных колец на срезах стволов деревьев. *Органографический* основан на изучении остатков растений или их признаков. *Палеоксилологический метод* основан на изучении ископаемой древесины. Признаками микроскопического строения древесины являются форма и строение элементов ткани и др.

Среди фаунистических методов наиболее известен *остракодологический*, объектами исследования которого являются ископаемые пресноводные ракообразные – остракоды, имеющие большое палегеографическое и стратиграфическое значение.

Для обработки результатов и анализа фактического палеонтологического материала в *биостратиграфических целях* используются следующие методы: статистический, руководящих форм, реликтов, экзотов, сопоставления палеонтологических (фаунистических и флористических) комплексов.

2.3. Основные этапы формирования приледниковых озер

Формирование рельефа Беларуси теснейшим образом связано с четвертичными оледенениями. Их на территории республики было несколько: наревское, березинское, припятское, поозерское. Следы первых двух оледенений в рельефе дневной поверхности почти не сохранились, поскольку они в дальнейшем были сильно переработаны экзогенными процессами (в том числе и последующими оледенениями).

По геологическим отложениям (данные имеются в литературе) можно судить о существовании первых приледниковых водоемов на территории Беларуси на раннеплейстоценовом этапе. Озерно-ледниковые отложения наревского времени вскрыты в районе г. Березы (что соответствует Вилейской стадии). Линзы озерно-ледниковых отложений были обнаружены в районах г. Сморгонь, Крупок, Вилейки, датированые березинским возрастом. Более представительной является база данных сожского и поозерского времени. Лучше сохранился рельеф, созданный поозерским оледенением, было сформировано такое мощное образование, как комплекс возвышенностей Белоруской гряды. Для того времени характерны озерно-ледниковые отложения (занимающие небольшие площади в днищах ледниковых ложбин или небольших подпрудных бассейнов), распространенные в пределах районов озер Нарочь, Вилейка, Воложин, Верхнедвинск, Чашники, Толочин. Геологические данные находят подтверждение и в рельефе донной поверхности. Это, как правило, территория озерно-ледниковых, озерно-аллювиальных низин. Рельеф Беларуси впоследствии подвергся изменению под действием последнего оледенения. Во время деградации этого ледникового покрова образовались крупнейшие приледниковые водоемы плейстоцена. Они занимали значительную часть территории Балтийского водосбора, по площади сопоставимую с другими формами ледниково-аккумулятивного рельефа. Все бассейны крупных рек этого региона представляли собой каскад приледниковых водоемов, мигрировавших вслед за краем ледника. Доказательством этого служат особенности распространения и условия залегания отложений ледниково-озерных аккумуляций.

Сопоставление границ распространения и мощности ледниково-озерных аккумуляций поозерного и сожского возраста показало, что приледниковые водоемы поозерского оледенения развивались унаследовано по отношению к сожским бассейнам. Однако северные границы были значительно смещены в северо-западном направлении по отношению к сожским водоемам. Поозерские приледниковые водоемы обнаруживают пространственную приуроченность к Западно-Белорусской зоне опусканий Мазовецкой и рижской депрессиями. Следовательно, в позднепоозерское время продолжала сохраняться тенденция к нисходящему развитию рельефа, наметившаяся в александрийском межледниковье.

Формирование поозерских приледниковых озер происходило на разных стадиях отступания последнего ледника. В максимальную стадию поозерского оледенения был образован Верхне-Неманский приледниковый водоем. В лепельскую стадию образовались Вилейское, Сервечское, Верхне-Березинское, Лучесинское и Суражское приледниковые озера. В Браславскую – Полоцкое, Освейское, Ушачское, Вилейское.

Для приледниковых озер характерно большое участие ленточных глинисто-алевритовых накоплений. Во всех озерах этой группы верхнюю часть разреза слагают сортированные тонкозернистые пески, кроющие ленточные образования. В разрезе осадков Суражского и Лучесинского озер пески залегают также ниже ленточной толщи. Отсюда можно заключить, что озера этой группы длительное время существовали как постоянные водоемы и лишь в заключительный, а в некоторых случаях также и в начальный период представляли собой эфемерные разливы талых вод.

Закономерности формирования приледниковых озер. Материковые оледенения и связанные с ними изменения климата, колебания уровня мирового океана, ледниковое выпахивание и накопление ледниковых и водноледниковых отложений, изостатическое опускание и поднятие земной коры оказали огромное влияние на гидрографическую сеть как районов оледенения, так и приледниковых районов.

В начальной стадии оледенений ледники преграждали течение рек, текущих им навстречу, в результате чего они выходили из берегов и образовывали обширные приледниковые озера. Их уровень поднимался до тех пор, пока не достигал самой низкой точки водораздела, после чего озера получали сток или вдоль ледника, или в других направлениях. По озерам плавающими льдами разносился моренный материал.

С началом отступления ледников постепенно восстанавливались пути стока рек, закрытые им. Моренные гряды краевой зоны оледенения часто образуют новый водораздел. Изменение направления стока, созданного ледником, может сохраняться в течение длительных отрезков геологического времени. Между отступающим ледником и полосой краевых образований также образуются приледниковые озера. По мере того как ото льда освобождаются пороги стока, расположенные все более низко, уровень этих озер падает.

Береговые линии приледниковых озер довольно хорошо прослеживаются в рельефе. Образования «лестницы» террас связаны чаще с последовательным падением уровней приледниковых бассейнов.

Для правильного суждения о развитии озерных бассейнов, существовавших в период оледенения, необходимо знать положение водоразделов и направление стока во время предыдущей межледниковой эпохи.

В пределах Восточно-Европейской равнины приледниковые озера могли существовать только к северу от главного водораздела. Многочисленные факты свидетельствуют, что приледниковые озера были хорошо развиты также и к югу от современного главного водораздела. Это навело на мысль, что в доледниковое время главный водораздел проходил гораздо южнее, чем теперь. Он проходил по Украинскому кристаллическому щиту, Донецкому кряжу и Донецко-Медвецкому валу.

К концу главный водораздел переместился к северу в пределы главной полосы краевых образований среднеплейстоценового оледенения, которая проходит по Белорусской гряде.

После сожского оледенения в период муравинского межледниковья главный водораздел максимально приблизился к современному и лишь в долине Западной Двины он располагался северо-западнее современного.

Современное положение Черноморско-Балтийского водораздела оформилось под воздействием неотектонических процессов, которые были связаны с последним оледенением.

Приледниковые озера Восточной Европы образовались в результате движения ледника в направлении, противоположном движению рек, и таким образом он сыграл роль плотины. На равнинах средней Европы доледниковая речная сеть в основном была направлена параллельно краю ледника и позже оказалась унаследованной талыми ледниковыми потоками, поэтому озера в данном случае образоваться не могли. Таким образом, существуют три типа приледниковой гидрографической сети: восточноевропейский, альпийский и южно-балтийский.

Во время максимума оледенения и в период отступания в приледниковой области господствовали аридные климатические условия – испарение с водной поверхности превышало осадки. Некоторые озера, не получавшие ледникового питания, вероятно, были бессточными, но возможность существования бессточных приледниковых озер весьма маловероятна. В состав их водосборного бассейна входят значительные секторы ледниковых щитов, благодаря чему озера получали большое ледниковое питание, которое компенсировало дефицит влаги, образовавшийся в результате превышения испарения над осадками. В итоге практически все приледниковые озера были сточными, а их уровни определялись высотой порогов стока. Глубинная эрозия вызывала уменьшение высоты порога стока, а изостатическое поднятие могло ее увеличить. При отступании ледников освобождение все более низких порогов стока вызывало снижение уровней приледниковых озер.

Можно наметить четыре основных района распространения приледниковых озер. На территории Беларуси в пределах верхних частей водосборных бассейнов Немана, Березины, Днепра и Западной Двины во время максимальных стадий поозерского оледенения существовало несколько обособленных друг от друга приледниковых озер и одна прадолина. В центральных районах приледниковые озера сообщались между собой при помощи проливов, образуя единую Верхневолжскую озерную систему. В ее состав входит также бассейн Сухон, нижнее течение которой пересекал местный водораздел. На севере приледниковые озера достигали наи-

большего распространения после соединения Скандинавского и Уральско-Новозельского ледниковых щитов. Озера продолжали существовать до тех пор, пока ледники не покинули низовья Северной Двины и Онеги. Например, в Прибалтике на территории, ограниченной с юго-востока главной полосой краевых образований поозерского оледенения, приледниковые озера существовали во время отступания ледников.

Взгляды на формирование понижений, которые были впоследствии заняты приледниковыми водоемами, появились не одновременно и в разное время доминировали друг над другом. Существуют четыре основные гипотезы их происхождния: морская, озерная, речная, тектоническая.

Верхне-Неманское озеро образовалось в максимальную стадию поозерного оледенения. Предполагается, что ледники закрыли долину Немана там, где он пересекал Балтийскую гряду, и тогда образовалось приледниковое озеро, уровень которого должен был определиться положением самого низкого порога стока, каковым является водораздел между небольшими реками Черная Ганьча (левый приток Немана) и Нетта (приток Бебжи) с абсолютной высотой 125–130 см. Этот порог стока находился недалеко от г. Августова. Озеро занимало значительную часть Верхне-Неманской низины. На северо-восток оно распространялось до устья Березины (бассейн Немана), на юг – по долине р. Щары до г. Слонима и могло занимать значительную часть Гродненской пущи.

Предполагаемый сток на юг шел не по одной, а по нескольким сквозным долинам: не только через Щару–Ясельду, но и через верховье современного Немана и р. Зельвянку.

В браславскую фазу отступания поозерского ледника эти водоемы имели максимальный уровень, но в это же время еще существовали Верхне-Березинское, Лучесинское приледниковые озера, а остальные были спущены. При спуске водоемы постепенно понижали свой уровень, чему доказательством служат террасы и долины прорыва.

Образовавшиеся приледниковые водоемы в северной части Беларуси по характеру преобладающих осадков и по присущему им гидрологическому режиму подразделяются на две группы.

К первой группе следует отнести озера Вилейское, Верхне-Березинское и некоторые другие; для них характерно накопление в основном песчаного материала. Ленточные глинисто-алевритовые осадки отлагались лишь на первых этапах существования озер в наиболее глубоких или укрытых местах. Поскольку в приледниковых озерах песчаный материал накапливается в летний период, а осаждение тонко-дисперсной мути происходит зимой в спокойной гидродинамичной обстановке под покровом льда, можно предполагать, что озера этой группы испытывали очень боль-

шие сезонные изменения объема водной массы. В теплый отрезок года их котловины заполнялись талыми водами, а с наступлением холодов в связи с уменьшением притока воды на месте обширных озер оставались сравнительно небольшие скопления стоячей воды, приуроченные к замкнутым понижениям дна котловин. Верхний террасовый уровень Верхне-Неманского водоема связан, вероятно, с порогом стока на водоразделе Щары и Ясельды. Вверх по течению Немана и его притоков высоты террас относительно реки уменьшаются, что характерно для террас приледниковых озер.

Когда началось отступление ледников, сток из Верхне-Неманского озера мог уже идти в западном направлении. Эрозионное расчленение возвышенности привело к образованию сквозной долины к западу от г. Гродно. Озерные террасы с уровнями 125 и 135 см непосредственно связаны с террасами Вильнюсской долины.

Вилейское озеро отличается сложной конфигурацией, поскольку воды его заливали очень неровную и разнообразную по генезису рельефа территорию. В создании современной выложенной поверхности Вилейской водно-ледниковой низины, помимо процессов аккумуляции, большую роль играла абразионная деятельность озера. На северном склоне Ошмянской возвышенности, который был берегом приледникового озера, отмечен четкий террасовый уровень высотой 170–175 м, соответствующий отметкам порогов стока. На бортах озерной котловины прослеживаются три еще более высоких террасовых уровня с высотами 180–186, 192–197 и свыше 200 м. Эти уровни являются отражением трех фаз плоскостью разлива и образования зандров, предшествовавших разливу Вилейского озера.

Во время разлива Вилейского озера край ледника потерял подвижность, от него отчленялись крупные массивы мертвых льдов. Массив неподвижного льда, защищавшего склоны Северо-Нарочанской гряды, находился на месте оз. Нарочь. Край активных льдов во время разлива Вилейского озера располагался, по-видимому, в пределах Мядельской холмисто-моренной полосы. Талые воды поступали в озеро через поперечные долины, прорезающие Северо-Нарочанскую конечноморенную гряду.

Избыточные воды из Вилейского озера вначале сбрасывались лишь на восток по долине верхней Вилии и Пони в Верхне-Березинское озеро. Главная стоковая долина проходила по долине р. Вилии, примерно от устья р. Шейманы до Вильнюса, далее – долинами рек Воне и Мернис и затем, по-видимому, к Верхне-Неманскому озеру, которое по долине р. Щара имело сток в бассейн Припяти. Со сбросом озерных вод по долине связано образование трех верхних террас р. Вилии в районе Вильнюса высотой 165, 152–145 и 130 м. Другая сточная долина Вилейского

озера проходила от верховья р. Лосии и р. Вилии по левому притоку Вилии.

Главным типом озерно-ледниковых отложений Вилейского озера являются мелкозернистые пески. На их озерное происхождение указывают: высокая степень сортированности, наличие горизонтальной или пологой косой сложенности, выдержанности в горизонтальном и вертикальном направлениях структурных и текстурных особенностей. В нижней части озерно-ледниковой толщи обычно залегают ленточные глины, или алевриты. Толща ленточных глин Вилейского озера накапливалась в течение 250–400 лет.

Верхне-Березинское озеро. Воды Верхне-Березинского озера заливают днище обширной котловины, расположенной в верхней части современного бассейна р. Березина (бассейн Днепра).

По берегам котловины можно выделить несколько денудационно-аккумулятивных уровней. Самый верхний уровень имеет высоту свыше 200 м абс. В него входят вершинные поверхности некоторых платообразных возвышенностей, такие как Кубличская, Пошиногорская и др. Покрыты грубыми разнозернистыми песками, которые подстилаются мощной толщей моренных отложений. Два же лежащих денудационно-аккумулятивных уровня, имеющих высоты 192–196 и 178–187 м над уровнем моря, являются зандровыми. Два следующих уровня высотой, соответственно, 168–176 и 160–166 м представляют собой вторую и первую подпойменные террасы р. Березины. Нижняя терраса является аккумулятивной. Обе террасы связаны с существованием озерно-ледникового бассейна. Вдоль р. Березины прослеживается низкая заболоченная пойма.

В верховьях Березины верхнеплейстоценовые отложения заполняют долину шириной около 5 км, которая глубоко врезана в среднечетвертичные отложения: относительно уровня реки врез достигает 45 м, а относительно берегов долины – до 75 м. Долина была сформирована, вероятно, в микулинское время и имеет отметку тальвега 120 м.

О перестройке гидрографической сети наглядно свидетельствует направление основного притока верхней Березины – р. Гайны, течение которой направлено на север. Порог стока Верхне-Березинского озера находился, вероятно, в районе истоков р. Бобр, которая в микулинское время также имела северное направление течения. Следует отметить, что главный водораздел микулинского времени имеет здесь не очень большую высоту – менее 200, а с местами даже менее 180 м.

Сброс избыточных вод из Верхне-Березинского озера осуществляется по долине р. Березины через прорыв, расположенный к югу от оз. Палик.

Возможно, что в первый этап существования озера в некоторые периоды часть его вод переливалась в Вилейское озеро по долине Проня – верхняя Вилия. Так воды по сквозной долине направлялись в ту или иную сторону в зависимости от объема поступления ее в каждый из этих озерных водоемов.

Суражское и Лучесинское озера. Эти водоемы между собой имели широкую связь, представляя собой, в сущности, единый приледниковый водоем. Северо-восточная часть этого водоема находилась на территории Псковской и Смоленской областей. Максимальная высота уровня Суражско-Лучесинского приледникового водоема зафиксирована в виде серии береговых валов и равна 180–185 м. Береговые валы четко выражены на склонах Витебской возвышенности. Этот уровень в виде более или менее горизонтальной абразионно-аккумулятивной площадки прослеживается на восточном склоне Невельско-Городокской и северном склоне Оршанской возвышенностей. Над верхним озерно-ледниковым уровнем на высоте 188–196 м расположена хорошо выраженная поверхность флювиогляциального размыва и аккумуляции. Вначале котловины озер были еще не сформированы, а под их дном было много погребенного льда. Летние температуры воздуха были низкими. Поэтому поступление талых вод в озера было невелико, озера были мелководными и полностью исчезали зимой в результате сброса водных масс по сточным долинам. В озерах накапливались преимущественно песчаные осадки.

Во время второго этапа существования озер погребенные льды в основном растаяли и глубины их котловин стали большими. Врез сточных долин отставал от процесса углубления котловин озер. Глубина озер с течением времени последовательно нарастала, из эфемерных разливов они превратились в постоянные водоемы.

Во время третьего этапа существования этих приледниковых водоемов глубины в них становились меньше. Это происходило в результате заполнения озерных котловин осадками и одновременно идущего врезания сточных долин. Когда порог стока и днище озера оказывались на одной абсолютной высоте, озеро превращалось в эфемерный разлив, исчезавший зимой. В озерах накапливался алевритовый и тонкопесчаный материал. Отступание края ледника к северу полностью прекращало существование приледникового озера.

Во время максимального разлива Суражско-Лучесинского приледникового озера край оледенения располагался в пределах Невельско-Городоксой возвышенности в южной части Псковской области. В северной части водоема под озерно-ледниковыми отложениями были погребены многочисленные глыбы мертвого льда. В дальнейшем на их месте возникли участки

холмисто-котловинного рельефа с озерными котловинами и положительными формами, построенными из озерно-ледниковых отложений. Сброс избыточных вод из Суражско-Лучесинского озера в это время осуществлялся по долине р. Оршица в Днепр. В восточной части Суражско-Лучесинского озера на территории Смоленской области избыточные воды стекали также непосредственно в долину Днепра.

После таяния Полоцкого и Двинского ледниковых языков (лопастей) ото льда освободилась Полоцкая котловина. Сток из Суражско-Лучесинского озера стал более свободным, и уровень озера понизился до 165–170 м. На территории Беларуси озеро распалось на два бассейна, сообщавшихся между собой проливами-протоками. Обособившееся Лучесинское озеро превратилось в залив возникшего Полоцкого озера. Сточная долина Оршица–Днепр в первую подфазу разлива озера продолжала функционировать. Во вторую подфазу от обширных озер остались небольшие разливы талых вод с высотой уровня до 160 м, сброс вод из них осуществлялся в Полоцкое озеро, сточная же долина Оршица–Днепр прекратила свое существование.

Полоцкий приледниковый водоем. В пределах Полоцкой низины ледниково-озерные бассейны существовали уже на этапе деградации сожского ледника. В связи с этим можно утверждать, что территория Полоцкого бассейна развивалась унаследовано, начиная с сожского времени.

В формировании Полоцкого водоема значительную роль отыграли характер рельефа ложа антропогенных пород и структурно-тектонические особенности.

В тектоническом отношении территория Полоцкого приледникового водоема приурочена к Двинской ступени Латвийской седловины и частично к северным склонам Белорусской антеклизы.

Рельеф ложа антропогенного покрова в значительной мере оказывал влияние на динамику плейстоценовых ледников и распространение приледниковых водоемов. Ванна Полоцкого озера формировалась под усиливающимся экзарационным воздействием ледников. Выделяется несколько этапов образования приледникового озера: формирование гляциодепрессии – будущей котловины водоема, образование фронтальных краевых комплексов, служивших подпором талых ледниковых вод; подпруживание и питание образовавшегося приледникового озера. Определенную роль в формировании Полоцкого бассейна играл поозерский ледник. В его структуре выделялись Дисненская и Полоцкая лопасти. Активность первой проявилась в формировании напорных краевых Свенцянско-Нарочанских гряд, вторая обладала меньшей активностью, в связи с чем деградация сопровождалась отчленением крупных массивов мертвого льда, обусловив-

ших широкое распространение камового рельефа и звонцев. Своеобразие динамики поозерского ледника проявилось также в обособлении крупных блоков льда по водораздельным законам и в краевых частях лопастей, которые на некоторых этапах развития Полоцкого водоема разделяли его котловину на отдельные бассейны. Эволюция Полоцкого водоема в позднепоозерское время обусловлена особенностями деградации последнего ледникового покрова.

В период отступания ледника до границ браславской стадии на территории Полоцкой низины существовал не единый водоем, а несколько обособленных озер, что нашло отражение в прерывистом регрессивном напластовании нижней части разреза ледниково-озерной толщи. Такие особенности были обусловлены относительно быстрыми темпами деградации ледника и миграцией водоемов вслед за ледниковым краем.

К началу браславской стадии озеро было более глубоким и примыкало к освейской гряде. Представляется вероятным формирование этой гряды до начала стадиальной подвижки ледника. Об этом свидетельствует ряд геологических и геоморфологических данных, важнейшими из которых являются следующие: преобладание насыпных и наслоенных форм в пределах гряды; широкое распространение звонцев; отсутствие предфронтальных дельт и других флювиогляциальных образований в пределах освейской возвышенности; наличие образионных площадок высоких уровней (155–160 м) на южном склоне этой формы.

Стабилизация и активизация ледника в браславское время вызвали массовое поступление талых вод в Полоцкую котловину. Образовался единый ледниково-озерный водоем. Браславское время является эпохой максимального обводнения территории Белорусского Поозерья. В это время уровень воды достигал 160 м.

Сток из Полоцкого озера осуществлялся в южном направлении в бассейн р. Вилии по участку долин рек Голбица и Узлянка и долине прорыва Дягили. Воды поступали также в бассейн р. Березина по уже сформированным путям стока. Сток в р. Днепр был блокирован гляциоизостатическим поднятием.

Начало спуска Полоцкого водоема относится по времени отступания ледника от границ браславской стадии. Дальнейшее отступание ледника привело к падению уровня до 150 м, что привело к перекрытию стока в сторону Вильнюсской прадолины. И началось формирование северо-западного стока в направлении Восточно-Латвийской низменности. Первоначально он осуществлялся преимущественно по поверхности крупного массива мертвого льда, отклинившегося от тела ледника на участке Индра–Краслава.

На севере Полоцкого бассейна вследствие дальнейшего отступания ледника происходило гляциоизостатическое поднятие по субширотной оси Краслава–Невель. Это поднятие северной части бассейна по границе браславской стадии обусловило переориентацию относительного уклона поверхности котловины Полоцкого водоема в противоположном направлении. В расположении береговой линии произошли значительные изменения. Были осушены большие площади на севере и северо-востоке Полоцкого водоема. На южном берегу в это время осуществлялась трансгрессия (за исключением Дисненского суббасейна), что привело к перекрыванию береговых образований более ранних уровней. На трансгрессивном юго-восточном берегу образовалась гляциоизостатическая инверсия террас водоема, в результате которой относительно молодые образования заняли более высокий гипсометрический уровень.

Трансгрессия в дистальной части приледникового озера, вызванная гляциоизостатическими движениями, сопровождалась поэтапным снижением уровня вод вследствие формирования новых путей стока.

Предположительно в конце беллинга осуществился прорыв вод Полоцкого озера в Латгальско-Лубанский бассейн. Уровень понизился до 135 м. Период резкого уменьшения площади водной поверхности совпал с усиливающимся похолоданием и континентальностью климата.

Остаточные озера на Полоцкой низине были мелководными (средняя глубина 5–8 м). Значительная часть обширной прибрежной зоны могла подвергаться субаквальному промерзанию. Поэтому в прибрежной зоне озер образовались многочисленные мерзлотные формы, представленные в совершенной морфологии Полоцкой низины разрушенными пинго и воронками, достаточно уверенно маркирующими уровень 135 м.

Для образования озерно-ледниковой низины характерными формами рельефа являются котловины, занятые остаточными озерами или болотами, и западины различных размеров.

Верхне-Днепровские озера. Верхний Днепр сформировался уже в среднечетвертичное время. Между тем поозерские ледники могли коренным образом преобразовать гидрографию Верхне-Днепровского бассейна, даже не покрывая его. Долина верхнего Днепра, вероятно, сформировалась только после максимальной стадии поозерского оледенения. В микулинское время на этой территории могли существовать небольшие водотоки северо-западного направления. Общий уровень гидрографической сети не превышал современный. Об этом свидетельствует положение микулинского межледникового торфяника, который подмывается р. Днепр выше г. Смоленска в районе д. Новые Немыкары.

Ледники максимальной стадии поозерского оледенения перегораживали сток на северо-запад. В результате возникла целая система небольших при-

ледниковых озер. Современная долина верхнего Днепра представляет собой цепь понижений, занятых прежде озерами, которые соединяют между собой узкие долины прорыва. Ниже по течению находится смоленская долина прорыва, далее к западу – Красноборье, Красненское, Оршанское понижения.

Выше Смоленска верхняя терраса. Примыкающая к Днепру, имеет абсолютную высоту 210–215 м. Терраса, вероятно, сформировалась в период существования здесь приледникового озера с уровнем 215 м, занимавшего три понижения верховьев долины Днепра. Ниже Смоленска верхняя терраса находится на еще большей высоте относительно уровня реки, которая в г. Орше достигает 50–60 м (200–210 м абс.). Такой уровень превышает высоту водоразделов, окружающих этот участок долины Днепра. К северу от г. Орши водораздел имеет высоту только 162 м. Но здесь находился край ледника, представляющий собой ледяной берег водоема. Седловина в истоках р. Баси имеет высоту 180 м. Эта седловина служила порогом стока для приледникового озера, находившегося между городами Оршей и Смоленском. Более высокие террасовые уровни образовались, вероятно, в среднем плейстоцене.

Отсутствие уклона, имеющего то же направление, что и направление течения реки, является характерным признаком, позволяющим отличать озерные террасы от речных.

2.4. Особенности развития территории водосборов озер Беларуси в позднеледниковье и голоцене

Отмечая внешнюю молодость ледниковых котловин *Белорусского Поозерья,* неминуемо можно сделать вывод о том, что в момент максимального развития приледниковых водоемов современные озера на возвышенностях не существовали, хотя их ванны были уже заложены деятельностью ледника и талых вод. Это объясняется тем, что котловины на моренных возвышенностях определенное время были заполнены мощными ледниковыми массами, захороненными слоем рыхлых водно-ледниковых осадков. Таким образом, они оказались законсервированными, т. е. сохраненными от разрушительной деятельности потоков талых вод и от заполнения водно-ледниковыми отложениями.

Последующий этап освобождения котловин от заполняющего их льда – расконсервация был вызван общим потеплением климата в начале голоцена и совпал с окончательным исчезновением приледниковых озер (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Этапы развития территории Беларуси в позднеледниковье и голоцене

Эпоха по Блитту и Сернандеру	Поозерье			Полесье		
	Природные условия глакоров	Режим озер	Озерная седиментация	Природные условия глакоров	Режим озер	Озерная седиментация
Суббореальная	Климат теплый, сухой. Леса сосново-елово-широколиственные	Уровень озер понижается. Преобладает эвтрофный, реже мезотрофный режим	Тонко- и грубодетритовые отложения, реже кремнеземистые и карбонатные	Климат теплый, сухой. Леса сосновые с примесью широколиственных и березы	Быстрое эвтрофирование мелких озер. Продолжение карстовых процессов	Тонко- и грубодетритовые, реже кремнеземистые и обогащенные карбонатами
Атлантическая	Климат теплый, влажный. Леса хвойно-широколиственные и широколиственные с елью (верхний максимум)	Уровень озер высокий. Увеличение проточности. Переход к эвтрофному режиму	Кремнеземистые и тонкодетритовые сапропели, реже карбонатные и смешанные	Климат очень теплый, влажный. Леса сосновые, сосново-широколиственные с березой, широколиственные	Мелководные озерные разливы в древних понижениях. Появление карстовых озер олиготрофного режима	Карбонатные и обогащенные карбонатами кремнеземистые и тонкодетритовые
Бореальная и пребореальная	Климат теплый, сухой. Леса сосново-березовые с примесью широколиственных	Окончание термокарстовых процессов. Образование современных озер с низким уровнем. Режим олиго- и мезотрофный	Карбонатные сапропели, кремнеземистые отложения, обогащенные карбонатами, глинистые илы	Климат теплый, сухой. Леса смешанные сосново-березовые с примесью широколиственных. В конце периода увлажнение климата	Образования озер-разливов и карстовых озер	Торф и отложения пойменно-болотного типа

Окончание табл. 2.2

Эпоха по Блитту и Сернандеру	Поозерье			Полесье		
	Природные условия глакоров	Режим озер	Озерная седиментация	Природные условия глакоров	Режим озер	Озерная седиментация
Верхний дриас	Климат субарктический. Лесотундровые и тундрово-степные ассоциации	Молодые озера замерзают на большую часть года. Олиготрофные	Песок и карбонатный песок, галька	Похолодание климата	Крупные озера отсутствуют	Аллювиальные и элювиально-делювиальные отложения
Аллеред	Потепление климата. Леса березово-сосновые с примесью ели (нижний максимум)	Приледниковые озера спущены. Термокарст. Молодые озера моренных возвышенностей, мелководные, олиготрофные	Карбонантная глина, гумусированная глина, торф	Заметное потепление по-прежнему сухого климата. Сосновые леса с примесью березы	Крупные озера отсутствуют	Аллювиальные и элювиально-делювиальные отложения
Средний дриас	Холодный субарктический климат. Лесотундровые и тундрово-степные ассоциации	Приледниковые водоемы сокращаются в размерах. Озерные котловины на возвышенностях законсервированы льдом	Песок с мелкой галькой, глина	Холодный субарктический сухой климат. Смешанные сосново-березовые леса с участками лесотундры	Крупные озера отсутствуют	Песок

В озерах ледникового происхождения (в пределах Белорусского Поозерья) основание осадочной толщи составляют породы водноледникового происхождения, представленные грубозернистыми песками серого и серо-желтого цвета с мелкой галькой кристаллических и осадочных пород. Выше по разрезу пески становятся более мелкозернистыми, однородными и условно считаются стратиграфическим основанием собственно озерных отложений. На песчаных отложениях чаще всего залегают озерные песчано-глинистые слоистые осадки с несколько повышенным содержанием карбонатных пород. Как правило, они перекрываются глинистыми слоистыми отложениями, образующими резкий контраст с нижележащими песками. Озерные глины отличаются разнообразием по цвету, мощности, составу, обычные светло-коричневые тона нередко сменяются серыми, серо-зелеными, желтыми, ярко-розовыми. Механический состав явно связан с характером водосборной площади. В условиях опесчаненных водосборов к глине примешивается мелкий песок, а во многих разрезах западной части Поозерья состав глин характеризуется относительно высоким содержанием карбонатного материала хемогенного происхождения (карбонатные глины). Что касается мощности глинистых отложений современных озер, то она колеблется от нескольких сантиметров до 2–3 м.

Основу химического состава песчано-глинистых и глинистых отложений составляет кремнезем. Количество SiO_2 (в пересчете на абсолютно сухое вещество) всегда выше 65–70 %. Содержание же полуторного окисла алюминия от 7–8 до 10–15 % в зависимости от содержания физической глины.

Нет сомнения, что описанные кластогенные озерные аккумуляции начали формироваться в арктических и субарктических условиях позднеледниковья – около 13 тыс. лет назад. Во многих остаточных и подпрудных озерах (Нарочь, Шо, Воробьи, Межужол, Глубелька) Белорусского Поозерья они изучены с помощью спорово-пыльцевого и диатомового методов, датируются нижним и средним дриасом (В. П. Якушка, Н. А. Махнач, Г. К. Хурсевіч, 1972; Я. К. Еловичева, 1988, 1992).

На палинологических диаграммах нижние песчаные слои озерных осадков характеризуются флористическими спектрами тундры и лесостепи с широким распространением полыней, злаков, лебедовых, осок. В некоторых разрезах отмечается обилие таких споровых, как плаунок плауновидный (*Selaginella selagenoides*), *Sphagnum*, *Polypodiaceae*. Основу древесных пород почти исключительно составляют сосна (более 80 %) и береза. В песчаных слоях большое количество пыльцы кустарниковых форм березы (*Betula nana* и *B. humilis*), а также ольховника (*Alnaster*). Водно-болотные растения представлены очень бедно. Единично встре-

чаются остатки створок диатомовых, которые относятся к арктическим (бореальным) видам, живущим на мелководьях. В нижнем дриасе еще существовали приледниковые водоемы, котловины же современных озер находились в погребенном состоянии (рис. 2.2).

Короткое потепление климата в беллинге (*BL*) стратиграфически выразилось в накоплении более глинистых осадков по сравнению с нижним дриасом. В начальную фазу термокарста (расконсервации) в мелководных озерах начала развиваться диатомовая флора. Несмотря на краткость потепления, произошли заметные изменения в общем облике ландшафта. Арктическая тундра-степь, характерная для начала позднеледниковья, преобразилась в лесостепь субарктического облика. На спорово-пыльцевых диаграммах увеличилась роль пыльцы древесных (главным образом сосны) за счет кустарниковых и травянистых ассоциаций и пыльцы березы (до 30 %), появляется ель (1–3 %), ольха, ива, орешник. Быстро наступившее вслед за беллингом похолодание среднего дриаса (Dr_2) отразилось на вещественном составе донных отложений. Они стали более опесчаненными. О суровых условиях водоемов, кроме кластогенного характера осадков, свидетельствует бедный состав диатомовых.

Развиваются виды, не требовательные к условиям среды, мелкие, «уродливые». В составе наземной растительности произошли заметные изменения: снова расширилась кустарниково-травянистая растительность тундрового типа. В разреженных лесных ассоциациях преобладала сосна с примесью кустарниковой березы, ольхи и ивы.

Значительные изменения в развитии озер и наземных ландшафтов Белорусского Поозерья произошли в аллереде (*Al*), т. е. около 12 тыс. лет назад в связи с заметным потеплением климата. Под влиянием изостатического поднятия территории усиливалась эрозионная деятельность рек. Приледниковые озера, потерявшие большую часть поверхностного питания, практически перестали существовать. Интенсивные термокарстовые процессы охватили большинство погребенных под слоем льда и водно-ледниковых осадков котловин. На месте современных котловин стали возникать многочисленные, пока еще мелководные озера.

Высокий уровень грунтовых вод в условиях относительно теплого климата стимулировал интенсивность химического выветривания и поступления минеральных солей в первичные озера, которые становятся, таким образом, бассейнами седиментации не только кластогенных, но и хемогенных, обогащенных солями кальция осадков. Поэтому наряду с глинами в озерах накапливаются карбонатные глины, опесчаненные озерные известняки, смешанные карбонатно-кальциевые отложения с некоторым (до 10 %) содержанием органического вещества.

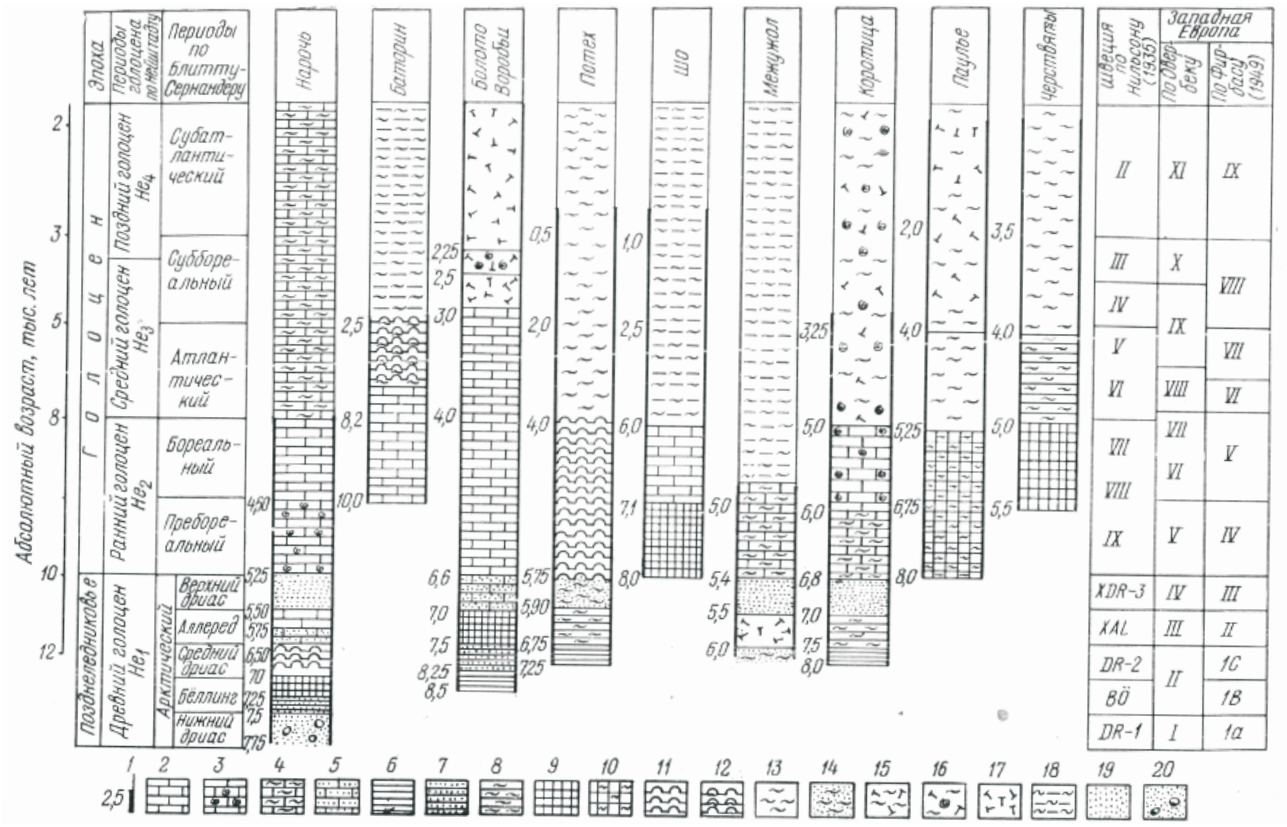


Рис. 2.2. Характер осадконакопления в разнотипных озерах Белорусского Поозерья в голоцене. Условные обозначения: *1* – глубина отбора проб на спорово-пыльцевой анализ; *3* – сапропель карбонатный с ракушками; *4* – сапропель известковистый (карбонатный); *5* – сапропель опесчаненный карбонатный; *6* – глина озерная; *7* – глина озерная опесчаненная; *8* – ил глинистый; *9* – глина карбонатная; *10* – глина карбонатная гумусированная; *11* – сапропель смешанный; *12* – сапропель смешанный гумусированный; *13* – сапропель кремнеземистый; *14* – песок заиленный; *15* – сапропель грубодетритовый; *16* – сапропель грубодетритовый с ракушками; *17* – торф; *18* – сапропель тонкодетритовый; *19* – песок; *20* – гравийно-галечниковые отложения

Ко времени аллередского потепления относятся слои погребенных торфяников, залегающих на кластогенных осадках позднеледникового времени и подстилающих вышележащие сапропелевые образования озер. По-видимому, на поверхности мерзлого песчано-глинистого материала, консервирующего котловину, развивались верховые и переходные торфяники. В аллереде при интенсивном проявлении термокарстовых процессов торф проектировался на дно озера и захоронялся затем под слоем позднейших осадков. Не исключено, что на дне некоторых котловин, лишенных воды, торфяники формировались «*in sity*» и позже при повышении уровня грунтовых вод покрывались осадками озерного типа.

В скважинах современных озер слои погребенного торфа встречаются довольно часто как в мелководных, так и в глубоководных котловинах. Мощность их колеблется в пределах 5–20 см. В составе преобладают растения верховых и переходных болот. В палинологических спектрах значительное место занимает пыльца сосны, березы, споры *Sphagnum*, а также показателей тундрового флористического комплекса – *Betula nana* и *Selaginella selaginoides*.

Озерные водоемы аллереда были еще очень мелководные и располагались на высоком гипсометрическом уровне, так как процесс расконсервации котловин далеко не закончился. Окруженные мерзлотными грунтами, они отличались холодными условиями и олиготрофным режимом. Вместе с тем усиленный привнос минеральных веществ, а возможно, отсутствие значительной конкуренции со стороны других групп водорослей способствовали яркой вспышке в это время диатомовой флоры, которая продолжалась до конца позднеледниковья. В хорошо изученных в этом отношении озерах Нарочь и Глубелька в отложениях этого времени число видов диатомей увеличилось до 200 токсонов (рис. 2.3). Основное место по-прежнему занимают холодолюбивые бореальные и североальпийские виды.

В Белорусском Поозерье в аллереде преобладали сосновые и сосново-березово-еловые леса. Смешанные елово-сосновые ассоциации имели богатый подлесок из ивы, можжевельника, калины, папоротников. Широкое распространение ели характеризует ее нижний максимум на спорово-пыльцевых диаграммах.

Теплый этап аллереда сменился кратковременным, но довольно интенсивным похолоданием молодого дриаса (Dr_3). Стратиграфически похолодание проявилось в накоплении типичного песчаного с галькой слоя, содержащего пыльцу холодолюбивой флоры, свойственной субарктическому климату.

Ранний этап голоцена начался с заметного и неуклонного изменения климата в сторону потепления и ксерофизации. Уже в пребореале (*PB*)

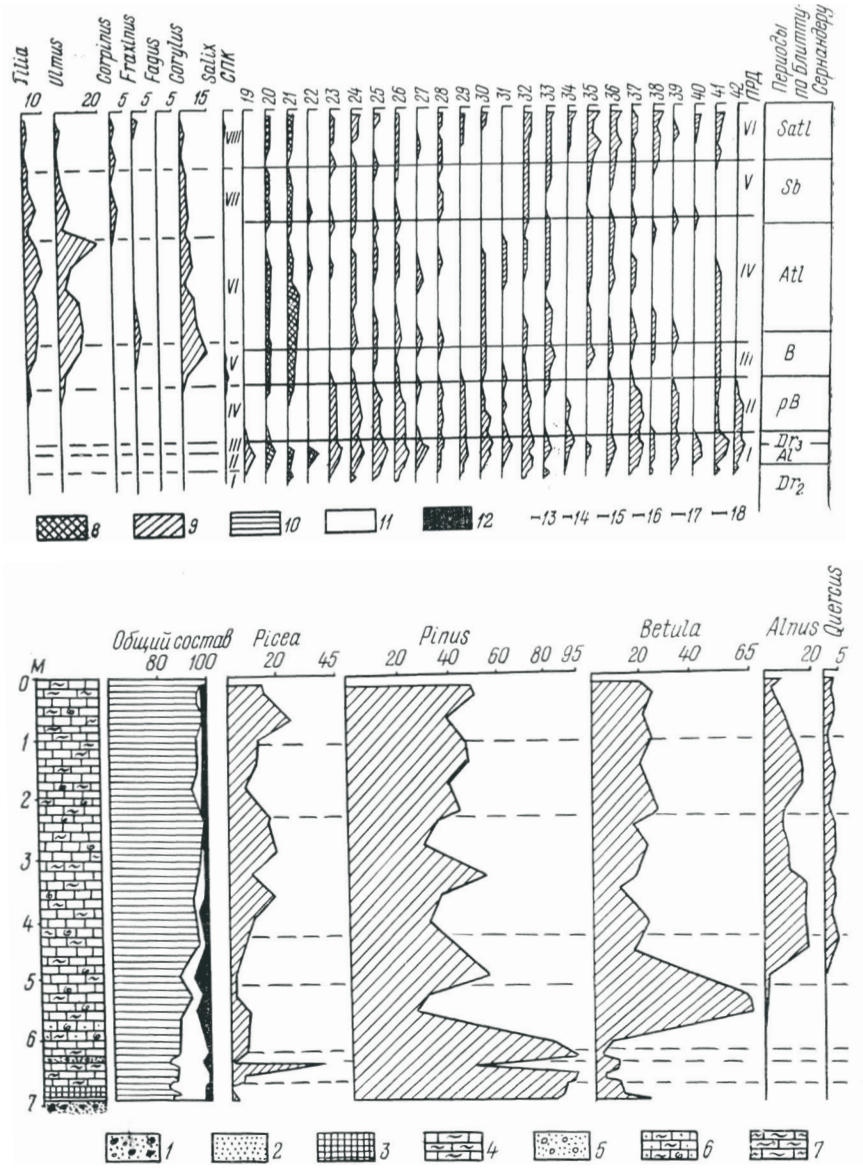


Рис. 2.3. Споро-пыльцевая диаграмма поздне- и послеледниковых отложений оз. Глубелька. Условные обозначения: *1* – гравийно-галечниковые; *2* – песок сложный; *3* – глина карбонатная; *4* – сапропель карбонатный; *5* – песок крупнозернистый с мелкой галькой; *6* – сапропель карбонатный опесчаненный; *7* – сапропель карбонатный с ракушками; СПК – спорово-пыльцевые комплексы; ПРД – периоды развития диатомовых. Экология диатомовых: *8* – планктонные формы; *9* – бентосные и эпифиты; *10* – пыльца древесных пород; *11* – пыльца недревесных пород; *12* – споры. Количественная характеристика диатомовых форм: *13* – единично; *14* – редко; *15* – нередко; *16* – часто; *17* – очень часто; *18* – в массе. Название видов: *19* – Cyclotella antigua W. Sm.; *20* – Cyclotella comta (Ehr.) Kutz.; *21* – Cyclotella kutzingiana Thw. + var.; *22* – Cyclotella ocellata Pant.; *23* – Opephora martyi Herib.; *24* – Fragilaria brevistriata Grun.; *25* – Fragilaria construens (Ehr.) Grun.; *26* – Fragilaria pinnata Ehr.; *27* – Synedra parasitica (W. Sm.) Hust.; *28* – Achnanthes clevei Grun.; *29* – Achnanthes exigua Grun.; *30* – Mastogloia smithii Thw. + var.; *31* – Diploneis ovalis (Hilse) Cl.; *32* – Navicula diluviana Krasske; *33* – Navicula oblonga Kutz.; *34* – Navicula tuscula (Ehr.) Grun. + var.; *35* – Neidium iridis (Ehr.) Cl. + var.; *36* – Amphora ovalis Kutz.; *37* –Amphora ovalis var. pediculus Kutz.; *38* – Cymbella ehrenbergii Kutz.; *39* – Cymbella parvula Krasske; *40* – Gomphonema intricatum var. pumilum Grun.; *41* – Nitzschia denticula Grun.; *42* – Nitszschia fonticola Grun.

начали проявляться специфические для голоцена природные процессы и изменения в структуре ландшафтов. В пребореал-бореальное время в большинстве озер закончился процесс расконсервации и котловины приняли почти современные очертания. В процессе термокарста уровень водоемов понизился, глубина озера заметно увеличилась и многие озера оказались изолированными. Вместе с уменьшением проточности уменьшился привнос терригенного материала, а поступающие с водосбора вещества в растворенном состоянии задерживались в озерах и при благоприятных условиях осаждались (рис. 2.2).

Молодые озера начала голоцена отличались олиготрофным режимом, что выражалось в высокой прозрачности, слабом развитии биоты, постоянно высокой концентрации кислорода, малом количестве углекислого газа. Изменения геохимических условий водной массы и уменьшение проточности сказалось на резком сокращении видов диатомовых. Большую роль в это время начинают играть планктонные виды.

В стратиграфических разрезах озерных отложений пребореал и особенно бореал характеризуются заметным увеличением карбонатной составляющей, появлением типичных карбонатных (известковистых), смешанных (карбонатно-силикатных) или других осадков, содержащих повышенное количество $CaCO_3$. Образование такого типа отложений отражает специфику как внешних (потепление климата, усиленное химическое выветривание, высокая карбонатность морены на водосборах), так и внутренних условий (слабое развитие жизни, недостаток углекислоты в воде).

Образование известкового горизонта пребореал-бореального времени в отложениях современных озер отмечается практически всеми исследователями не только Северо-Запада европейской части СНД, но и Западной Европы, что служит основанием считать слой карбонатных отложений маркирующим горизонтом этого отрезка времени.

Палинологические спектры бореального карбонатного горизонта свидетельствуют о направленном и однотипном изменении растительности на территории Северной Беларуси и стран Балтии. Климат в пребореальном периоде был все еще холодный и континентальный. Основу древесных пород составляет пыльца сосны (около 50 %) и березы (до 35 %) при сокращении кустарниковых форм. Отмечается небольшое количество пыльцы ели, ольхи, дуба. Заметно сокращается пыльца трав, особенно степных и тундровых. Такой состав пыльцы показателен для светлых березово-сосновых и березово-сосново-еловых лесов с примесью широколиственных.

Изменение климатических условий в бореале, связанное с повышением среднегодовых и летних температур, а также с увеличением сухости,

отразилось на составе растительности. На спорово-пыльцевых диаграммах пыльца древесных достигает 90 % и представлена пыльцой хвойных (особенно сосны), мелколиственных (*Betula pubescens*, *B. verricosa, Alnus*) и широколиственных (*Quercus*, *Tilia*, *Ulmus, Acer*). Для Белорусского Поозерья это время распространения смешанных хвойно (сосново)-широколиственных лесов с примесью березы.

Климатический перелом, начавшийся в раннем голоцене, наиболее ярко проявился в среднем его отрезке, в атлантический период (6–8 тыс. лет назад), который принято называть климатическим оптимумом голоцена (*AT*).

Теплому влажному климату атлантического времени соответствует широкое развитие в Северной Беларуси и широколиственных и смешанных широколиственно-елово-сосновых лесов, состав которых зависел от гипсометрического положения и грунтов на каждом конкретном участке территории. На спорово-пыльцевых диаграммах обращает на себя внимание высокое (до 35 %) содержание пыльцы широколиственных (*Quercetum mixtum*), на долю вяза приходится до 20 %, липы – около 7–10, дуба – 5 %, часто встречается пыльца граба и бука. Одновременно отмечается увеличение до 15–19 % пыльцы ели, которая в это время достигает верхнего максимума в голоцене.

В среднем дриасе отмечается интенсивное проявление эрозионных процессов, что отразилось в накоплении глинисто-карбонатных отложений в южной части котловины оз. Долгое (рис. 2.4).

Аналогичен состав спорово-пыльцевых диаграмм в озерных отложениях Северной Польши, Литвы, Латвии, Смоленщины и более северных районов европейской части России, что свидетельствует о распространении климатического оптимума голоцена на большой территории.

Изменение внешних условий отразилось на внутреннем состоянии озерных водоемов, в частности на характере седиментации. Процесс накопления карбонатных отложений, как правило, сменился процессом накопления отложений кремнеземистого типа.

В озерах того времени бурно развивались растительные и животные организмы. Накопление и разложение их остатков сопровождалось потреблением кислорода, выделением свободной углекислоты. Начался процесс естественного эвтрофирования озер. Привнос карбонатных продуктов в это время уменьшился в связи со значительной выщелоченностью морены. Подъем уровня озер сопровождался абразионной деятельностью и усилением привноса кластогенных продуктов силикатного состава. В результате в водной массе нарушилось карбонатное равновесие; начался этап накопления в озерах органо-минеральных осадков с преобладанием

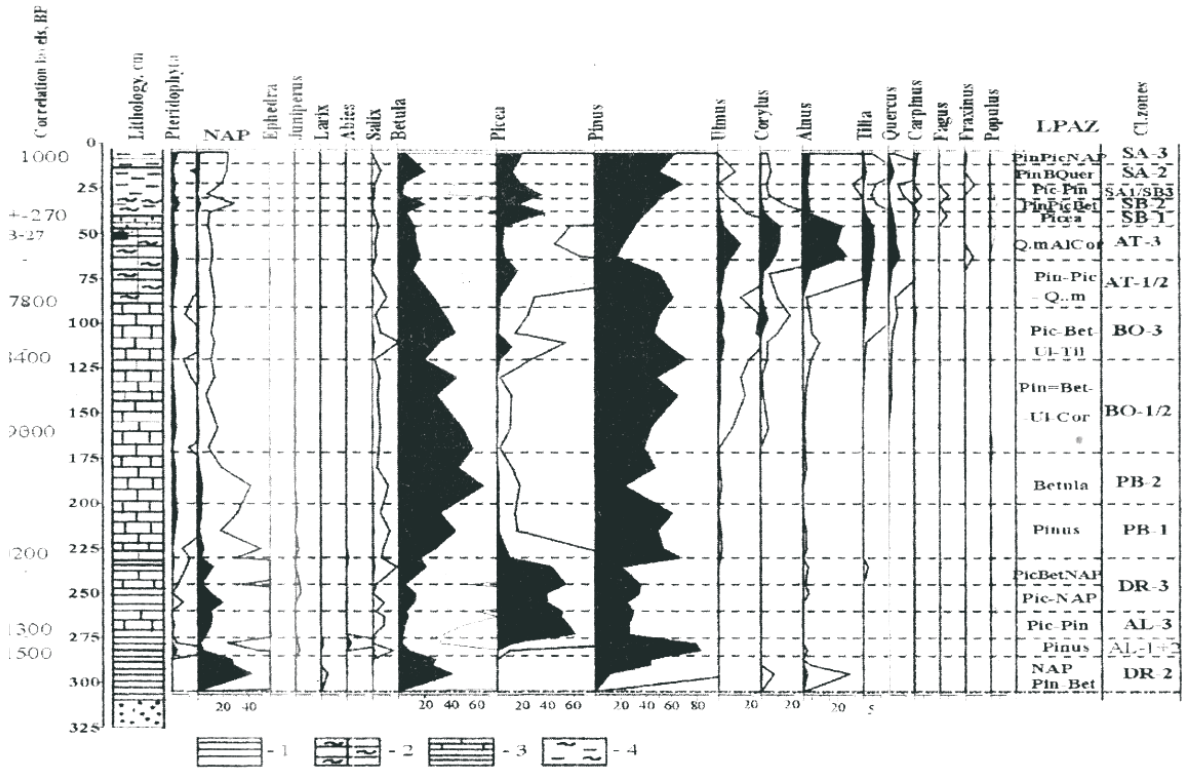


Рис. 2.4. Сокращенная пыльцевая диаграмма отложений оз. Долгое (скв. 2–3, анализ В. П. Зерницкой, 2002). Условные обозначения: 1 – глина; 2 – известь гумусированная; 3 – мергель озерный; 4 – ил гумусированный

SiO_2 и с большим или меньшим содержанием органического вещества. Накопление карбонатных сапропелей продолжалось лишь в некоторых мезотрофных водоемах на западе Поозерья (Нарочь, Мядель, Мястро, Снуды, Долгое, Белое). Одновременно в мелководных озерах, в которых процесс эвтрофирования протекал особенно интенсивно, началось отложение высокоорганических сапропелей.

Усиление притока кластогенного материала и увеличение проточности озер сказалось на резком обогащении диатомовой флоры, количество видов которой достигло 100–170, причем заметное преобладание получили теплолюбивые пелагические виды.

Развитие озер Белорусского Поозерья в последние периоды голоцена – суббореальный и субатлантический носит направленный характер в сторону постепенного эвтрофирования. Суббореальное (*SB*) время отмечено увеличением сухости при сохранении прежнего температурного режима. Изменение климата в первую очередь отразилось на понижении

уровня грунтовых вод и озерных водоемов, что стимулировало сокращение их проточности.

Несмотря на то что внешние условия озерного седиментогенеза в определенной степени приблизились к бореальным, в донных отложениях продолжалось увеличение органической составляющей, что согласуется с процессами эвтрофирования и обеднением пород водосбора карбонатным материалом.

Спорово-пыльцевые спектры начала суббореала еще близки к спектрам атлантического времени. Диаграммы пыльцы древесных пород характеризуются высокими показателями пыльцы сосны (до 45 %) и березы (до 40 %), все еще относительно высокие величины дает пыльца ели при сокращении процента широколиственных. Пыльца травянистых растений представлена бедно и в основном разнотравьем. Из водных часто отмечается пыльца полупогруженных растений (тростник, рогоз), а также рдестов. Все это свидетельствует о возрождении на севере Беларуси сосновых и сосново-березовых лесов, которые на увлажненных участках сменяются еловыми и елово-сосновыми с примесью широколиственных.

Последний этап голоцена (субатлантический) (*SAT*) ознаменовался некоторым похолоданием климата при увеличении влажности. Климатические изменения вызвали подъем уровня грунтовых вод, стимулирующий трансгрессию водоемов и частичное затопление и заболачивание прибрежных участков. В осадках озер продолжалось накопление органического вещества, а в глубоких мезотрофных водоемах шло отложение кремнеземистых и смешанных сапропелей. Изменения режима озер, связанные с климатическими причинами, выразились в новой вспышке диатомовой флоры. В отложениях субатлантического времени обнаружено до 80–100 видов теплолюбивых и планктонных форм.

Анализ спорово-пыльцевых диаграмм характеризует безраздельное господство древесных пород. Основу пыльцевых спектров составляет пыльца сосны, затем березы. Широколиственные играют небольшую роль. Это свидетельствует о распространении сосново-елово-березовых и сосново-березовых лесов с примесью широколиственных.

Подводя итоги истории развития озер Северной Беларуси, следует отметить, что их формирование началось с позднеледниковья и раннего голоцена после расконсервации котловин в процессе термокарста. Дальнейшее развитие сопровождалось небольшими колебаниями уровня, постепенным процессом эвтрофирования и заполнения органо-минеральными осадками, содержащими комплекс руководящих палеоботанических остатков.

2.5. Палеогеография озер Полесья

Специфическими чертами развития в голоцене отличаются озерные водоемы Белорусского Полесья. В их числе выделяют крупные, но мелководные озера полесского типа – разливы (Червоное, Выгонощанское), небольшие относительно глубокие карстовые озера и многочисленные пойменные речные старицы.

Полученные в последние десятилетия аналитические данные позволили рассматривать историю развития полесских озер более детально. Нижний горизонт отложений в скважинах полесских озер представлен среднезернистым песком серого и светло-желтого цвета. Видимый его слой (20–25 см) не содержит гальки, характерной для озер Северной Беларуси. Отсутствуют также прослои глинистого материала. Такого типа осадки могли отлагаться в медленно текущих водных потоках зандрового типа. На песках, как правило, лежит слой слабо разложившегося торфа, образующего резкий контраст с песчаными отложениями. Мощность его варьирует от нескольких сантиметров (оз. Ореховское) до 0,8 м (оз. Мошно) и более (рис. 2.5).

Собственно озерные отложения, залегающие на торфе, чаще всего представлены высокозольными сапропелями с большим содержанием карбонатного вещества, и смешанные – с повышенным содержанием органического вещества (озера Бобровичское, Олтушское, Черное, Луково). Выше слоя, обогащенного карбонатами, отложения становятся высокоорганическими с общим содержанием органического вещества до 80–85 %. Этот тип осадков по мощности составляет большую часть отложений. Они же занимают основную площадь ложа мелководных водоемов-разливов.

Анализ палинологических данных дает основание утверждать об отсутствии в отложениях остатков холодного позднеледникового времени. Состав пыльцы и спор отражает условия теплого времени, начиная с раннего голоцена (пребореал) и кончая современным субатлантическим периодом. Слой торфа, присутствующий в основании разреза, датируется пребореал-бореальным временем и характеризуется пиком березы (до 50 %). Подстилающий песок очень беден пыльцой и условно отнесен к верхнему дриасу. Возраст погребенного торфа из оз. Мошно был определен радиоуглеродным методом и составил 10 060±120 лет; в оз. Червоном такой же горизонт датируется 10 190±140 лет.

Анализ полученных материалов дал возможность представить историю озер Полесья в следующем виде. Холодные приледниковые водоемы эпохи таяния валдайского ледника формировались лишь на востоке

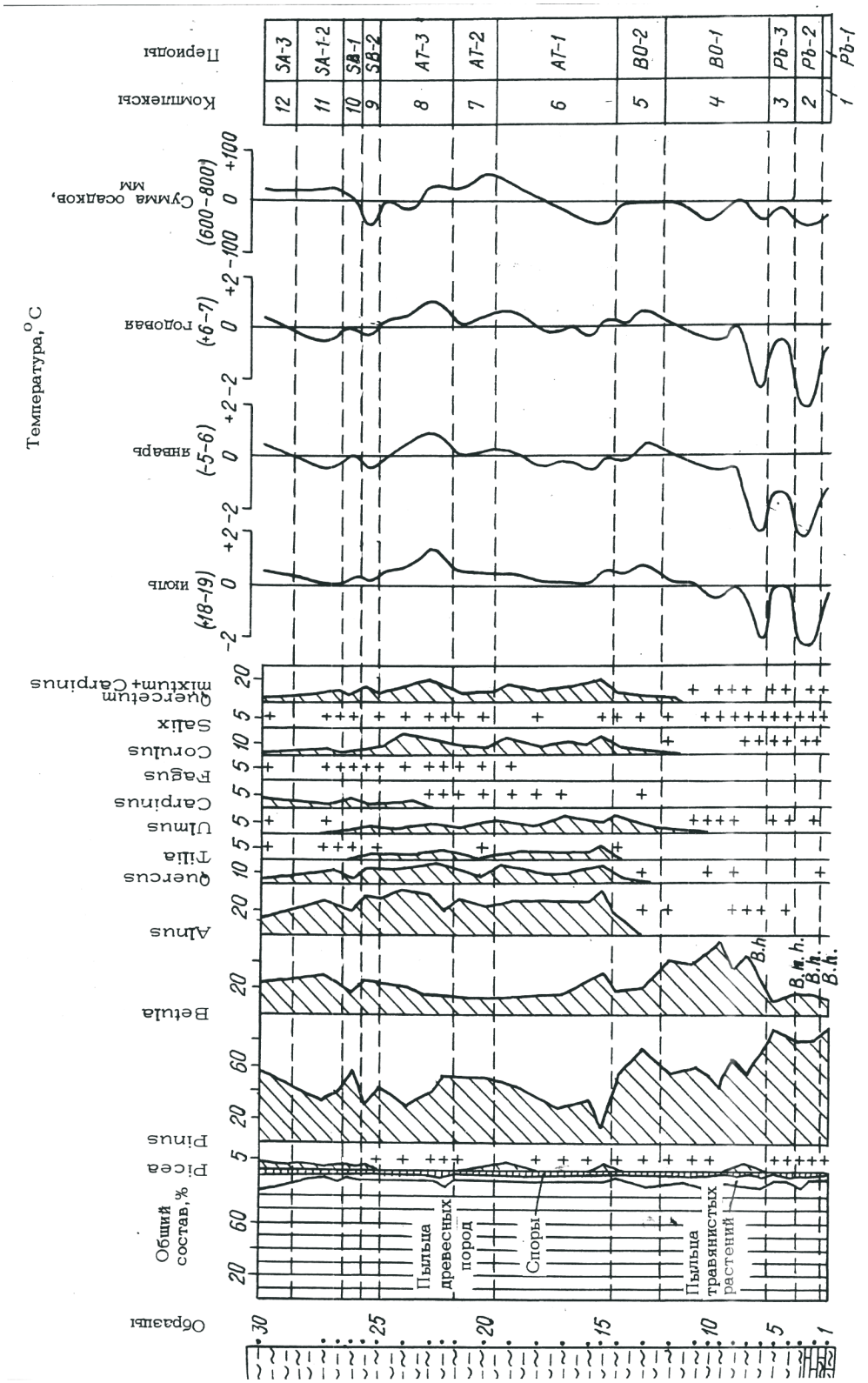


Рис. 2.5. Пыльцевая диаграмма донных отложений оз. Бобровичского (СКВ.1). Анализы Я. К. Еловичевой. Условные обозначения на рис. 2.2 и 2.3

и отчасти в центре Полесской низины, куда талые воды поступали по долинам Днепра и Березины. Существовали такие водоемы короткий промежуток времени, так как в браславскую стадию приток ледниковых вод резко сократился. Спуску озер способствовало также продолжавшееся в эпоху валдайского оледенения изостатическое поднятие Полесья. Уже к середине позднеледниковья приледниковые озера практически исчезли, оставив после себя плоские песчаные пространства, ограниченные цепочками дюн. Поверхность песков покрывалась березово-сосновыми лесами.

Это был период почти полного отсутствия озер в Полесье, тем более что карстовые воронки оказались заполненными водно-ледниковыми песками, а поднятие территории стимулировало понижение уровня грунтовых вод.

С начала голоцена для Полесья наступил этап изостатического опускания, одновременного с поднятием северо-запада Русской платформы. Смена знака изостатических движений на отрицательный оказала весьма существенное влияние на весь ход природных процессов в голоцене, так как повлекла за собой подъем уровня грунтовых вод.

Конец бореального и начало атлантического времени характеризуются не только значительным потеплением, но и увлажнением климата. Последнее в сочетании с подъемом грунтовых вод явилось существенной причиной процесса заболачивания обширной Полесской низины и появления торфяников. В разрезах озерных отложений они образуют горизонты погребенного торфа. Дальнейшее усиление процесса заболачивания в атлантический период привело к появлению мелководных полесских озер-разливов, покрывших поверхность заболоченных понижений. Таким образом, возникли озера типа Червоного. В это же время активизировалась деятельность подземных вод в известняковых породах. Древние карстовые воронки, погребенные под песчаными отложениями, начали проявляться в рельефе вначале в виде блюдцеобразных понижений, заполненных водой, а затем приобретали воронкообразную форму, характерную для карстовых озер. Начался новый, «озерный», этап в истории Полесья.

В условиях олиготрофного режима, свойственного молодым водоемам, и дефицита углекислоты карбонатные соединения выпадали в осадок вместе с глинисто-алевритовыми частицами, создавая нижний высокозольный слой озерных отложений, наиболее богатый в карстовых озерах.

Для мелководных озер этап накопления высокозольных отложений был особенно коротким. Уже к концу атлантического времени он резко и навсегда сменился отложениями органического сапропеля.

2.6. Палеогеография озер центральной части Беларуси

В центральной части Беларуси озер мало. Они отличаются небольшими размерами, нередко значительными запасами сапропелей. Котловины относятся к остаточным, карстовым, суффозионно-карстовым и речным.

Формирование природного комплекса этой территории связано главным образом с деятельностью московского (сожского) ледника, создавшего здесь основные краевые моренные возвышенности, и талых ледниковых вод поозерского оледенения. Окончательное формирование ландшафтов относится к голоцену. В эпоху таяния московского ледника территория центральной части Беларуси была богата ледниковыми озерами, подобно современному Белорусскому Поозерью. Однако позже в связи с развитием эрозионной сети и процессом зарастания многие озера были спущены, заполнены торфом или водно-ледниковыми песками.

Многие озера центральной части республики стали возрождаться в эпоху таяния поозерского ледника и в позднеледниковье в результате таяния мерзлых грунтов (термокарстовые), усиления химического выветривания в известняковых и лессовидных породах (суффозионно-карстовые) и развития боковой эрозии рек. К настоящему времени в них накопился значительный (5–6 м) слой осадков.

Палинологические исследования свидетельствуют о позднеледниковом возрасте нижнего слоя осадков в озерах Свитязь, Колдычевское, Песочное, Судобле, Кромань и др. (рис. 2.6). Нижний слой осадков обычно представлен песчано-глинистыми отложениями или глинистыми илами с повышенным содержанием $CaCO_3$, относящимися главным образом к аллереду. Изменения в отложениях верхнего дриаса выразились в опесчаненности глинистых илов, на которых чаще всего залегает слой карбонатного или смешанного сапропеля (озера Колдычевское, Малое, Лочинское). Верхние слои стратиграфических колонок, как правило, представлены кремнеземистыми и тонкодетритовыми сапропелями. В озерах суффозионно-карстового генезиса обнаружены подсапропелевые слои торфа (озера Крушиновское, Святое), возраст которых определяется пребореал-бореальным периодом. Судя по рисунку спорово-пыльцевых диаграмм, очевидно, что накопление нижних песчаных и песчано-глинистых отложений происходило в суровых условиях позднеледниковья. В составе спор наблюдается полное преобладание пыльцы древесных пород (до 80 %), прежде всего сосны и березы. Обращает на себя внимание высокое содержание пыльцы травянистых растений (25–40 %), среди которых господствуют полыни, злаки, лебедовые. Таким образом, в начале позднеледниковья центральная часть Беларуси представляла собой холодную тундростепь перегляциального типа.

2.7. Генезис и типы котловин современных озер

Котловины современных озер Беларуси относятся в значительной степени к группе ледникового происхождения, сформировавшиеся под влиянием деятельности ледника и его талых вод. Котловины этого типа сосредоточены на северо-западе Европы в районах Балтийских поозерий (рис. 2.7) в пределах моренных возвышенностей и равнин последнего оледенения. Многочисленные озера в пределах поозерий отличаются определенными чертами геоморфологической молодости и сохранности признаков ледниковой деятельности. Это выражается в значительных глубинах, распространении форм ледникового выпахивания, экзарации, выдавливания, эворзии, термокарста, заметном переуглублении котловин по сравнению с соединяющими их протоками. По количеству озер в Беларуси преобладают котловины гидрогенного происхождения, широко представленные

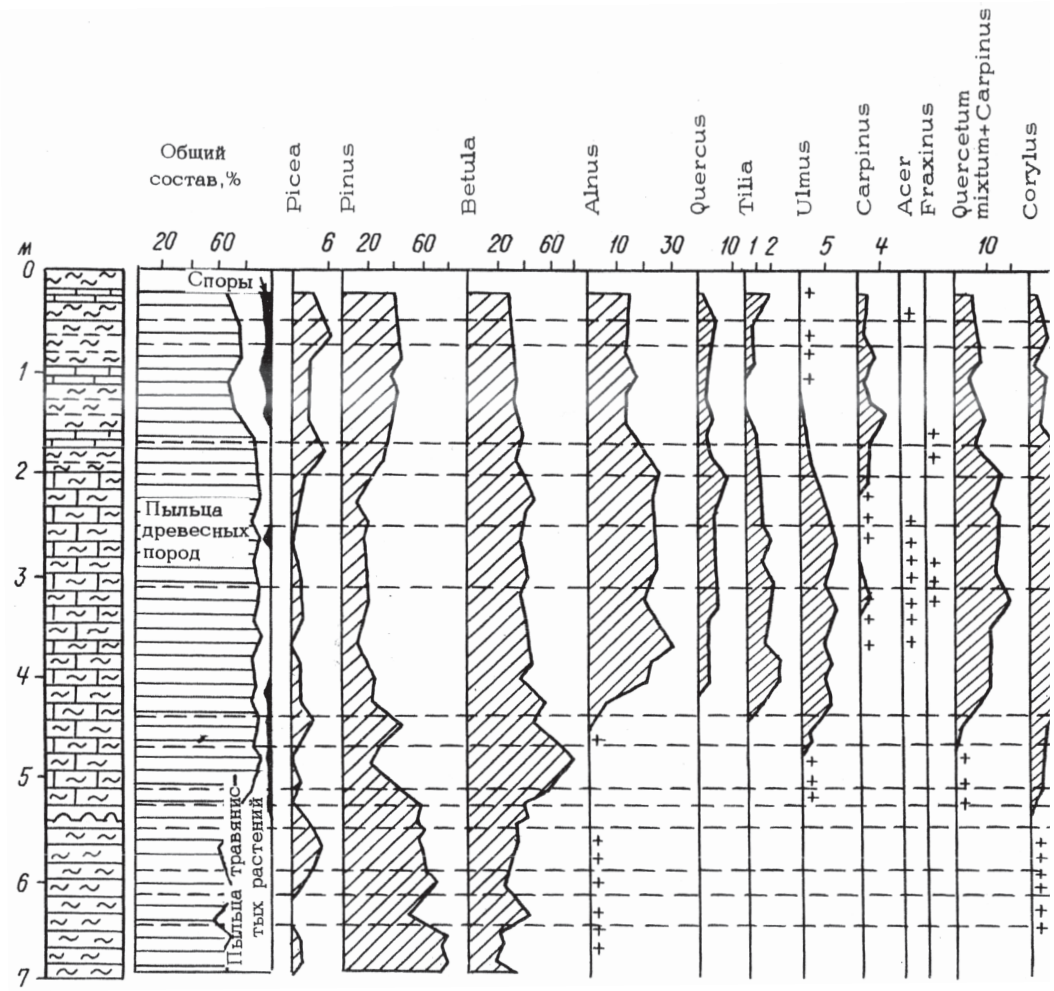


Рис.2.6. Пыльцевая диаграмма донных отложений оз. Колдычевского. Анализ И. И. Богделя

в Полесье. Кроме перечисленных встречаются котловины карстового, суффозионного, остаточного генезиса.

История вопроса о генезисе ледниковых озерных котловин имеет свое начало со второй половины Х1Х в. Один из основателей русской лимнологии Д. Н. Анучин в своих работах неоднократно ссылается на классификацию немецкого ученого В. Пенка, построенную на основе исследования озер Северо-Германской низменности и американских Кордильер. Пенк выделил три основных типа озерных ванн (котловин): неправильно ограниченные лопастные широкие и плоские впадины со слабоволнистым дном и отдельными глубокими ямами; длинные узкие вытянутые ложа в виде более или менее глубоких борозд или рытвин; округлые котлообразные углубления или ямы – результат эворзионной деятельности воды.

В XX в. в географической литературе появляются работы, посвященные генезису ледниковых озерных котловин. Признанием пользовалась классификация немецкого ученого П. Вальдштедта, которая объединяла котловины подпрудные, рытвинные, эворзионные, донно-моренные, выдавленные, реликтовые, озовые, термокарстовые, друмлиновые и озера «очки».

Определенный интерес представляет классификация польского ученого С. Майдановского. В типе рытвинных котловин он выделяет субгляциальные, субаэральные и интергляциальные.



Рис. 2.7. Картосхема озерности Европы, по А. Хоинскому, %
(*1* – 0, 0–0,5; *2* – 0,5–1,0; *3* – 1,0–2,0; *4* – 2,0–5,0;
5 – 5,0–10,0; *6* – более 10)

В середине 1950-х гг. ряд работ, связанных с изучением ледниковых котловин, выполнен в Литве. В 1960 г. появилась публикация, в которой все ледниковые котловины Литвы делятся на подпорные (подпруженные), глыбы мертвого льда и термокарстовые, куда включаются ложбинные, эворзионные, сложные. В особую группу объединены речные и карстовые котловины.

В Белорусском Поозерье каждый тип ледниковых котловин приурочен к определенной части ледникового геоморфологического комплекса и сформировался при участии ледника, его талых вод и термокарстовых процессов. В соответствии с этим выделяются следующие типы ледниковых ванн: подпрудные, ложбинные, эворзионные, термокарстовые, сложные, остаточные. Б. Б. Богословский разделил котловины ледникового происхождения на *эрозионные* и *аккумулятивные*.

К югу от границы валдайского оледенения озерные котловины разделяются на типы: «полесские» (озера-разливы), суффозионные, карстовые и пойменные, или гидрогенные (старицы). Каждый тип отличается вполне определенными внешними и генетическими характеристиками. Что касается немногочисленных водоемов центральной части Беларуси, расположенных в зоне московского оледенения, то их котловины относятся к типу суффозионно-карстовых, пойменных и остаточных.

Подпрудные озерные котловины Белорусского Поозерья связаны со скоплением ледниковых вод в понижениях между моренными грядами и в гляциодепрессиях. Наиболее значительные из них располагаются в краевой зоне ледникового комплекса, небольшие котловины образуются на участках неравномерной аккумуляции моренного материала. При общих небольших и малых глубинах ложе таких озер представляет сочетание поднятий и впадин, в наиболее глубокой части нередко хорошо выражена древняя ложбина стока. Подпрудные котловины обычно асимметричны, а склоны их осложнены террасами. К котловинам такого типа относятся котловины озер Нарочь, Дривяты, Освея, Лукомское (рис. 2.8).

Ложбинные котловины (*гляцигенные рытвины, ринны*) размещаются в зоне ледниковых языков на границе с дистальным склоном краевых образований. Расположение и строение рытвин свидетельствует об участии в их возникновении эрозионных процессов. К этому типу относятся наиболее глубокие озера Беларуси. Однако существуют различия в определении основного фактора эрозии. Многие ученые считают их водно-эрозионными, другие доказывают возможность проявления в этом случае ледниковой экзарации. Водоемы этого типа следует отнести к котловинам *полигенетического типа* (Долгое, Гиньково, Сарро, Болдук, Лесковское; А. Новик, 2004) (рис. 2.9). Один из ярких внешних признаков ложбинных котловин – вытянутость в направлении движения ледника.



Рис. 2.8. Котловина подпрудного типа

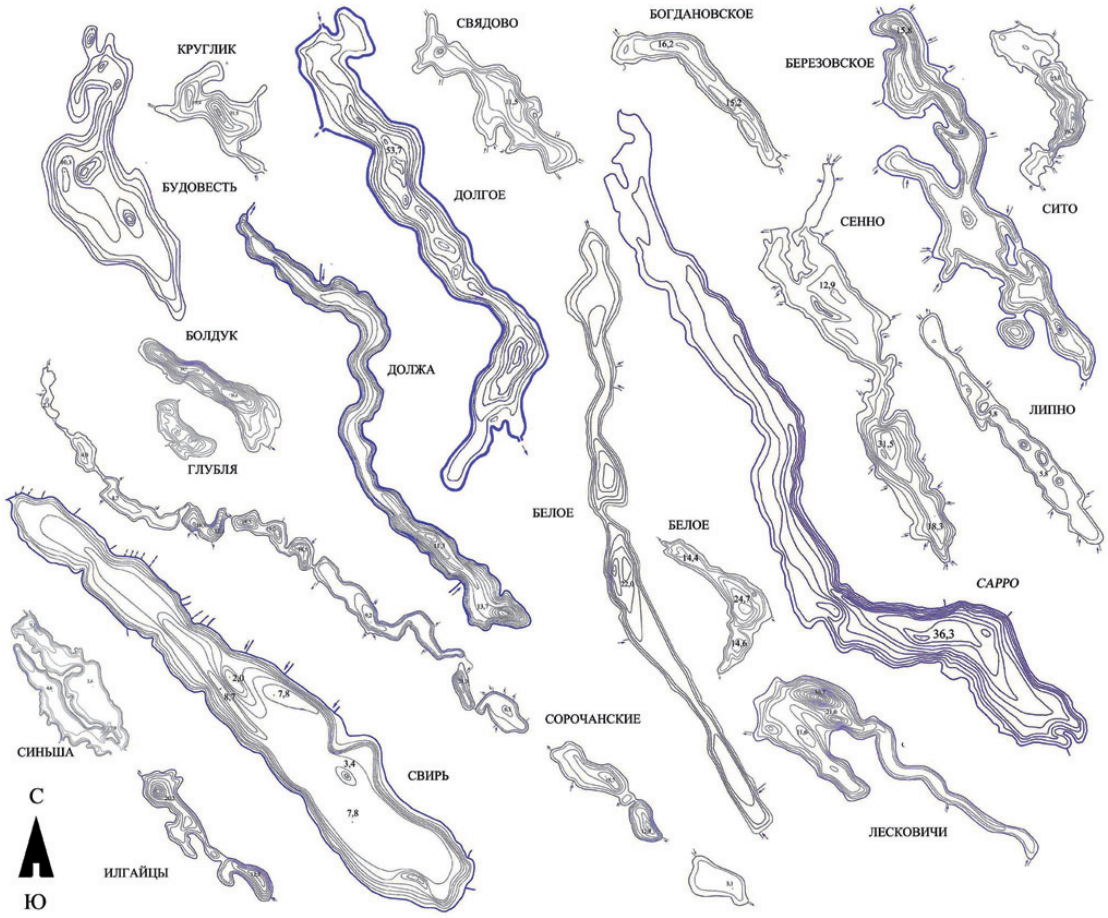


Рис. 2.9. Схема ориентации ложбинных озер Белорусского Поозерья (по А. А. Новику)

Эта конфигурация может в одинаковой степени отражать деятельность ледника и его талых вод Для решения вопроса о преобладании того или иного фактора интерес представляет форма продольного и поперечного профилей ринновых котловин. В линии продольного профиля бросается в глаза частая смена впадин, занятых озерами, и перешейков между ними. Такая особенность проявляется не только в общей ложбине, но и в отдельных озерах. Форма поперечного профиля также скорее напоминает трог, чем речную долину (рис. 2.10). Для него характерны плоское широкое днище, крутые выпуклые склоны, хорошо выраженная линия перегиба – бровка. В некоторых случаях (оз. Будовичи) на дне прослеживается продольная ложбина, напоминающая форватер речного русла.

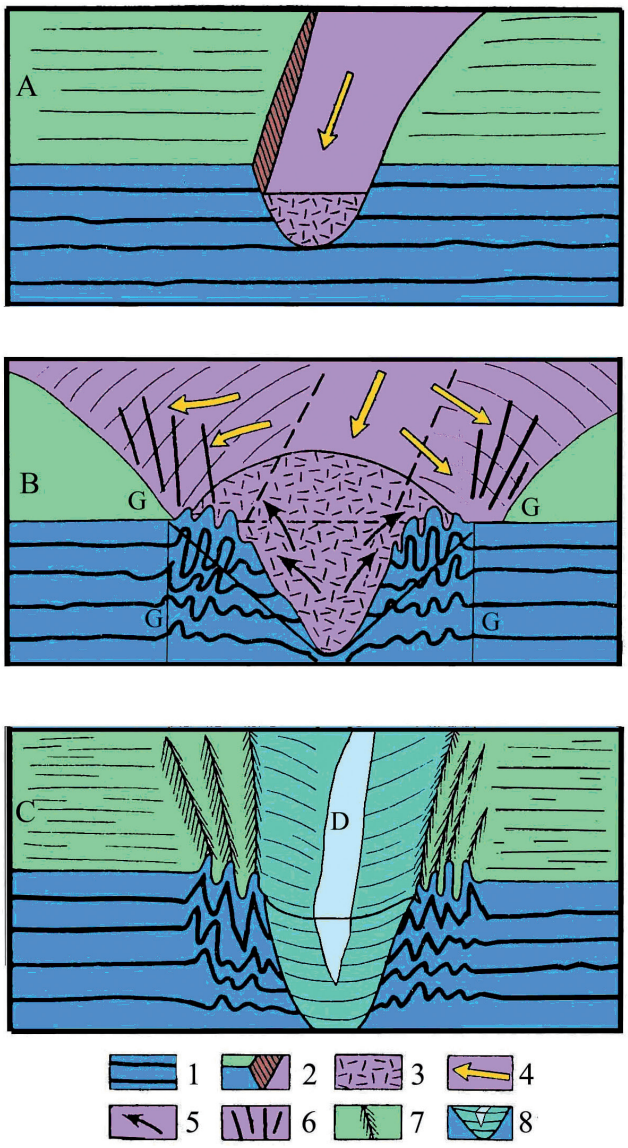


Рис. 2.10. Схема формирования котловин полигенетического типа (гляцигенной рытвины, по А. А. Новику): *1* – схематическое изображение стратификации субстрата; *2* – эрозионные склоны долины; *3* – лед; *4* – направление движения льда; *5* – направление растекания льда в стороны от центра долины; *6* – радиальные трещины, образовавшиеся под ледником; *7* – озовые гряды на поверхности после исчезновения ледника; *8* – ледниковые отложения, выполнившие гляцигенную рытвину: *A* – язык ледника движется по долине; *B* – лед переполняет долину; *C* – гляциодислокация после исчезновения ледника; *D* – экзарационная (гляцигенная) рытвина с ложбинным озером над погребенной долиной, выполненной ледниковыми отложениями; *G* – возрастание градиента давления ледника на субстрат склонов долины

Показательным признаком ринновых котловин может служить их выровненность в плане и сужение к югу, что не свойственно речным долинам. Следует отметить также размещение максимальных глубин в частях ложбин, что типично для депрессий ледникового выпахивания. Многие котловины ложбинного типа имеют характер глубоких врезов в толщину тяжелых водонепроницаемых суглинков (озера Долгое, Сарро, Гиньково). В других случаях (Свирская ложбина) они окружены песчаными отложениями типа водно-ледниковых.

Ложбинные озера в гляцигенных рытвинах имеют важное значение в палеогеографии и геоморфологии Поозерий Европы и Северной Америки, что о них следует сказать более подробно. Эти озера и их котловины на плоско-волнистой поверхности моренных равнин создают необыкновенное сочетание молодых форм рельефа, созданных деятельностью последнего оледенения. Вытянутые в субмеридиональном направлении, узкие, как правило, глубокие водоемы занимают понижения (ринны) и объединяются гляцигенной рытвиной. В пределах Белорусского Поозерья таких рытвин насчитывается 60, а число озер, заключенных в них, насчитывается около 330. Наиболее значительные рытвенные системы: Долгинская (озера Долгое, Гиньково, Свядово, Псуя, Ивесь, Белое, Шо), Будовичская (7 озер), Сорочанская (8 озер), Сарро (8 озер), Ушачская (6 озер), Браславская (9 озер) и др.

Гляцигенные рытвины, как правило, врезаны в тяжелые моренные суглинки. Отношение их ширины к длине составляет 20 : 1. Длина самой длинной Будовичско-Лесковской рытвины достигает 40 км при средней ширине 800 м. Глубина эрозионного вреза достигает 60–80 м, а крутизна склонов около 25–36°. Влияние ледниковой экзарации и подледниковых потоков в создании гляцигенных рытвин несомненно. Об этом свидетельствуют формы продольного и поперечного профилей и их отличия от речных долин. Известно, что развитие речной долины зависит от скорости течения и положения или изменения базиса эрозии. В результате водоток стремится выработать продольный профиль параболической кривой (профиль равновесия). В медленно двигающемся ледниковом «потоке» проявление эрозии связано не со скоростью, а с массой тела ледника. Поэтому в понижениях профиля ледяные массы выпахивают глубокие впадины, разделенные поднятиями – ригелями, а рисунок продольного профиля остается сложным. Что касается поперечного профиля, то он также характерен для ледниковых долин-трогов (фиордов), широко представленных на северо-западе Европы (рис. 2.11).

Гляцигенные рытвины и включенные в них ложбинные озера оказались генетически связанными с ложбинами ледникового выпахивания и

размыва, учение о которых разработано Г. И. Гарецким (1980). Расположение древних ложбин, образованных в эпохи днепровского и сожского оледенений на больших глубинах и заполненных мощными ледниковыми и озерно-ледниковыми отложениями, нередко совпадает с длинными осями современных гляцигенных рытвин, что является показателем преемственности геологических и геоморфологических процессов.

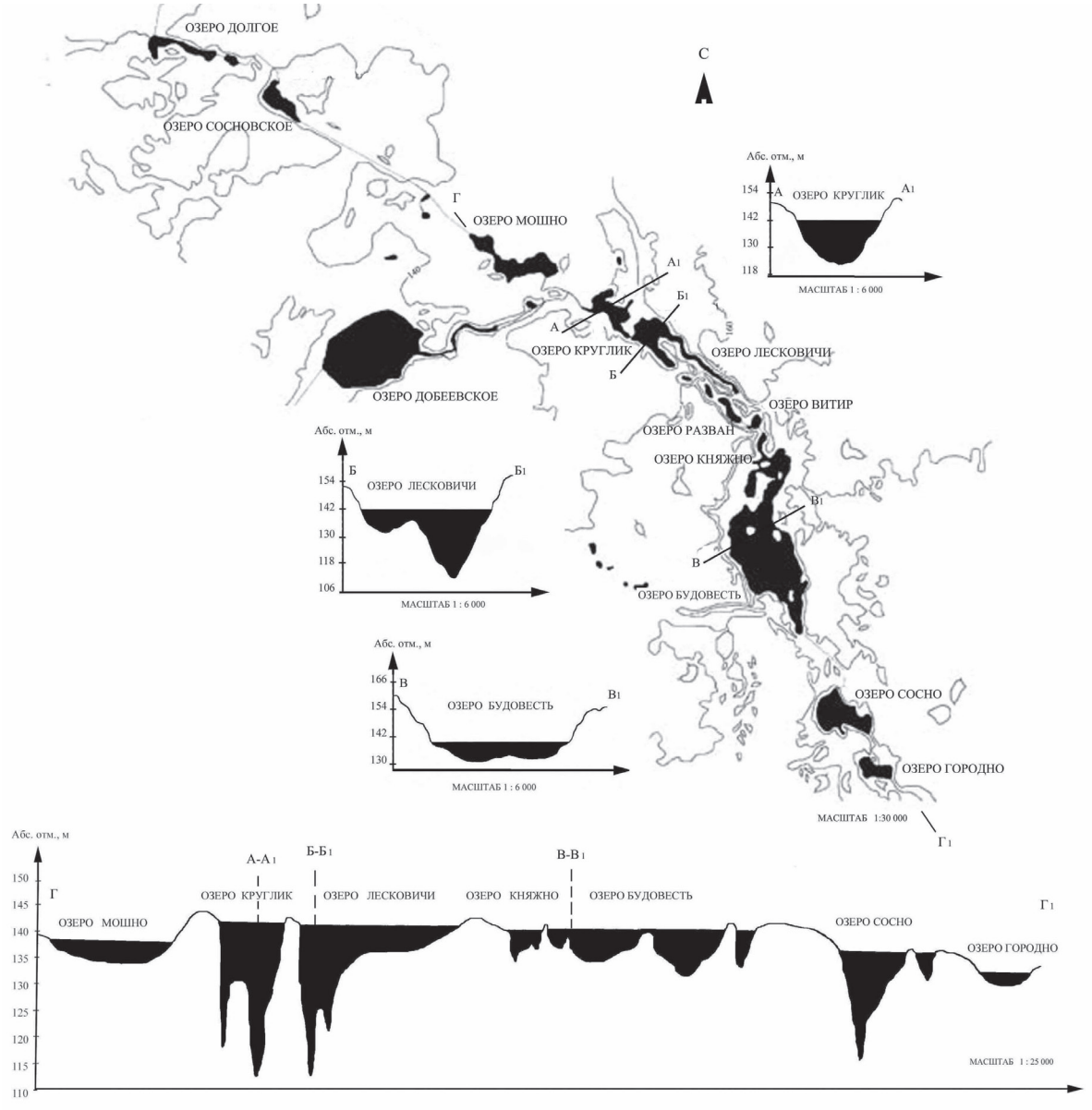


Рис. 2.11. Картосхема продольного и поперечных геоморфологических разрезов через Будовичскую гляцигенную рытвину

Следующая особенность заключается в связи современных гляцигенных рытвин с линиями тектонических разломов. Морфологическая типизация гляцигенных рытвин по форме представлена на рис. 2.12. Котловина оз. Селява расположена на пересечении двух сходящихся разломов, что обусловило значительную его максимальную глубину. Характерным в этом отношении является Двинско-Днепровский разлом. Эта особенность проявилась в геологическом понятии недавно в антропогене и связана с изостатическими (гляциоизостатическими и гидроизостатическими) движениями земной коры и активизацией процессов в разломных зонах. По-видимому, в эпоху поозерского оледенения северная часть Беларуси испытывала гляциоизостатическое погружение, а южная часть (Полесье), лишенная ледяного покрова, наоборот – поднятие. Таяние ледников в позднеледниковье и в начале голоцена вызвало изостатическое поднятие севера и опускание Полесья. Последнее выразилось в подъеме уровня грунтовых вод, заболачивании и появлении мелководных озер-разливов в Полесье. Различные типичные связи гляцигенных рытвин с линейными тектоническими нарушениями демонстрирует рис. 2.12 (Долгое, Селявское, Белое, Сорочанские озера и др.).

Эворзионные котловины весьма многочисленны в Белорусском Поозерье. Они распространены как в полосе краевых образований, так и в языковой части ледника. При очень небольшой площади озера этого типа отличаются значительными глубинами (20–30 м) и котлообразной формой. Происхождение озер связано с падением поверхностных ледниковых вод

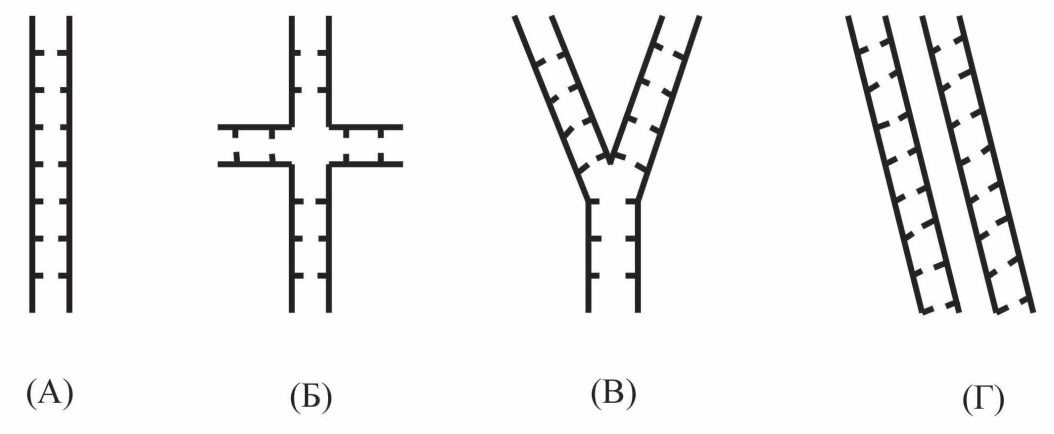


Рис. 2.12. Морфологическая типизация гляцигенных рытвин по форме: (А) – типичные; (Б) – крестообразные; (В) – сходящиеся; (Г) – параллельные

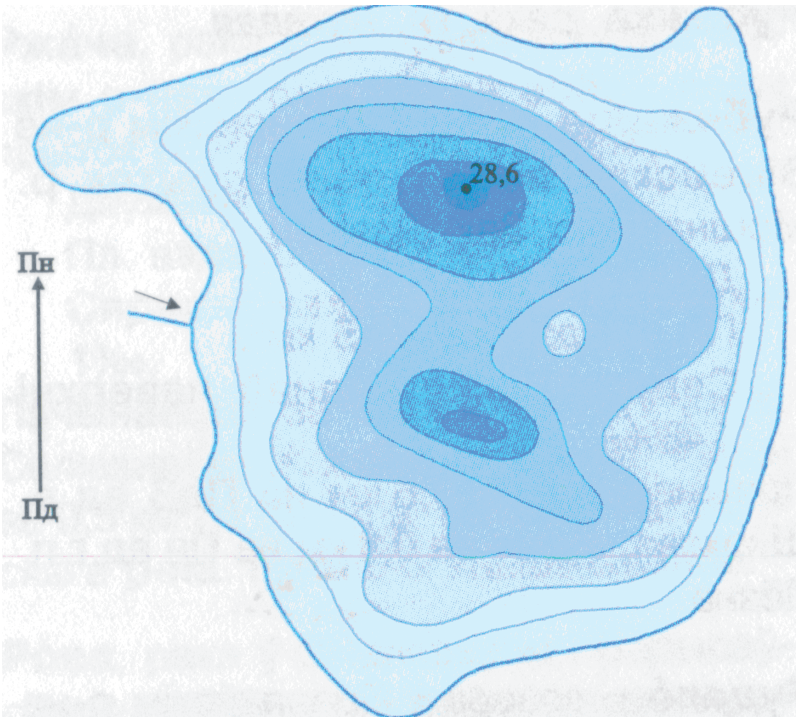


Рис. 2.13. Батимметрическая схема озера эворзионного типа (оз. Рудаково)

со значительной высоты по трещинам или с уступа ледника, подобно водопадам на реках. Эворзионные котловины могли возникать при активном движении ледника, но чаще – в стадии его омертвления. К северу от свенцянских краевых образований многочисленные озера этого типа разбросаны среди холмисто-моренного ландшафта (Рудаково, Воронец, Веркуды, Женно, Камайское, Светлое и др.) (рис. 2.13).

Термокарстовые котловины своим происхождением обязаны просадке рыхлых грунтов при оттаивании находящихся в их толще глыб погребенного льда. Озера этого типа, как правило, неглубокие, округлых очертаний. Особенности строения ложа зависят от неравномерного протаивания и оседания грунтов. Многие озера к настоящему времени спущены, однако котловины сохранили присущие им черты. Наибольшее распространение термокарстовые явления получили в эпоху дегляциации ледника. Термокарстовые котловины встречаются в разных частях ледникового комплекса, в их размещении отсутствует строгая закономерность, так как сохранение ледяных глыб и крупных ледяных линз в морене не имеет определенной закономерности.

Сложные котловины формировались при участии эворзии, термокарста, эрозии в условиях неподвижного льда и проявления инверсии ледниковой поверхности. Неровное ложе ледника способствует образо-

ванию в его теле системы трещин, которые в начальные стадии таяния заполняются песчано-глинистым слоистым материалом. При дегляциации этот материал проектируется на ложе, образуя озовые и камовые формы. На месте же бывших участков цельного льда появляются глубокие плесы сложных озерных котловин, приуроченных чаще всего к зонам краевых образований (оз. Отолово, Кривое, Неспиш, Недрово) (рис. 2.14).

Котловины озер полесского типа получили распространение среди заболоченных пространств Полесской низменности. Они занимают плоские понижения рельефа и носят характер мелководных разливов, возникающих в депрессиях поверхности вследствие поднятия уровня грунтовых вод в условиях изостатического погружения или увлажнения климата. Котловины этого типа выражены в рельефе не очень четко, хотя озера в них могут достигать значительных площадей (Червоное, Выгонощанское, Ореховское, Олтушское) при максимальных глубинах около 5–6 м.

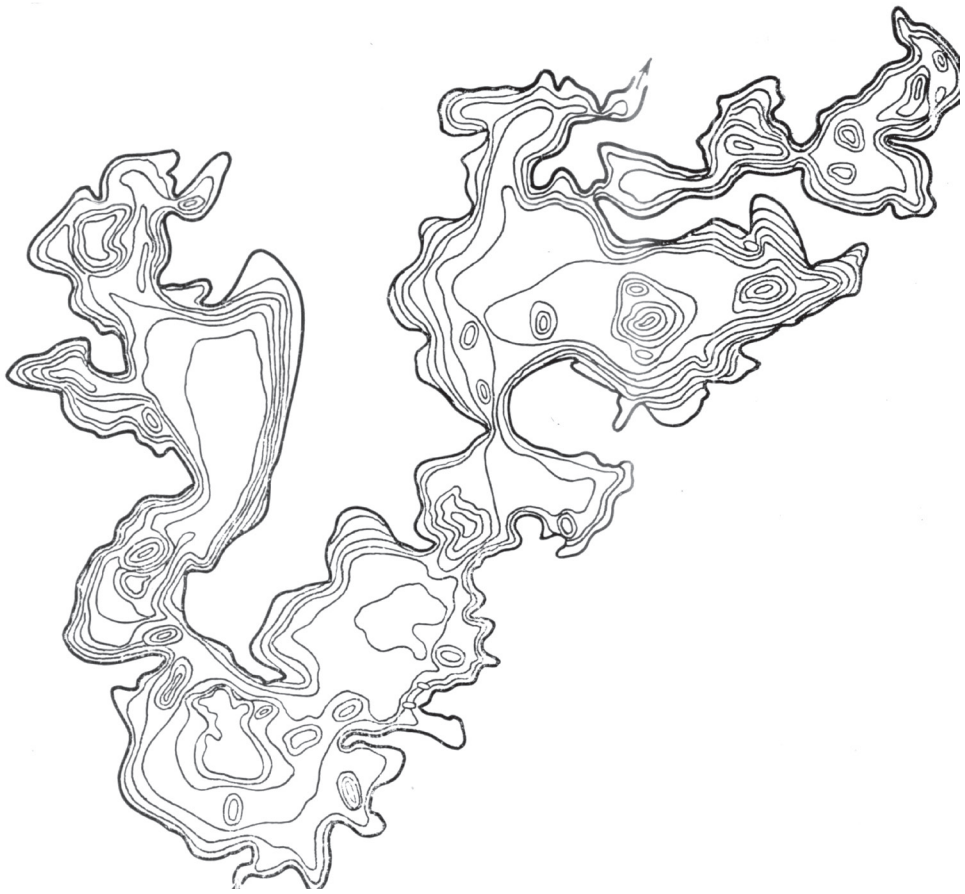


Рис. 2.14. Котловина сложного типа

Карстовые котловины распространены главным образом в Брестском Полесье и связаны с близким залеганием меловых карстовых пород и длительным периодом изостатического погружения территории, стимулировавшего деятельность подземных вод в карстовых пустотах. Котловины этого типа заметно отличаются от озер полесского типа значительными глубинами (10–20 м), воронкообразной формой, повышенной минерализацией воды. Карстовое происхождение подтверждается их связью с линиями разломов в доантропогеновых породах (озера Сомино, Вулька, Луковское). Типичной котловиной карстового происхождения является котловина оз. Свитязь (центральная часть Беларуси).

Суффозионные котловины формировались в результате просадки рыхлых пород, богатых карбонатами (лессовидные суглинки). Они характеризуются мелководностью, небольшими размерами и распространены на Городокско-Мстиславской возвышенности, в центральной части республики.

Котловины гидрогенного типа получили широкое распространение в поймах рек Днепровской и Неманской систем. Озера этого типа возникают в результате *свободного* (*завершенного и незавершенного*) *меандрирования* русел. Форма гидрогенных котловин зависит от типа свободного меандрирования: при незавершенном меандрировании старичные озера имеют серповидную форму, при завершенном – полуокруглую. При отчуждении от основного русла отдельных рукавов реки в случае пойменной многорукавности формируются, как правило, длинные вытянутые озера – староречья, или «старики», «старуха», другие озера местного названия.

Особое место в Полесье занимают пойменные озера «вертебы», которые имеют небольшую площадь и округлую котловину, образованную в результате размыва поймы при выходе речного потока в половодье в многоводный год.

ГЛАВА 3

МОРФОЛОГИЯ И МОРФОМЕТРИЯ ОЗЕРНЫХ КОТЛОВИН

3.1. Морфология озерных котловин

Озерные котловины (ванны) представляют собой отрицательные формы земной поверхности. В период возникновения морфология котловины зависит главным образом от происхождения и специфики протекания геолого-геоморфологических процессов в данном регионе.

С момента заполнения котловины водой основную роль в ее преобразовании играет динамика водной массы (волны, течения, колебания уровня) в сочетании с внешними климатическими и гидрологическими факторами (приток и сток из озера, ветры). Процесс преобразования (переработки) котловины происходит в течение более или менее продолжительного времени в зависимости от параметров водоема, геологического строения склонов. В целом он направлен на перераспределение вновь образованных рыхлых пород по принципу: разрушение – перенос – отложение – накопление – трансформация. Разрушительная деятельность проявляется преимущественно в прибрежной зоне. Образованный при этом материал переносится (смещается) и аккумулируется как на дне на месте разрушения, так и в глубь озера, дифференцируясь по величине и глубине водоема. Перенос рыхлого материала сочетается с его отложением (аккумуляцией) в определенных участках прибрежной зоны. Наконец, процесс накопления вещества (стабилизация) свойствен главным образом глубоководным частям котловин, где происходит не простая механическая аккумуляция наиболее тонких глинистых частиц, а их преобразование и формирование органо-минеральных новообразований.

В каждой озерной котловине выделяются надводные (склоны и береговые отмели) и подводная (литораль, или подводная аккумулятивная терраса) части, а также ложе (профундаль).

Склоны определяются по преобладающим процессам (абразионные и аккумулятивные), по форме и высоте над урезом воды. Последние показатели характеризуют внешние признаки и особенности происхождения не только котловины, но и конкретного геоморфологического района. Для абразионных

склонов характерны оползневые и даже обвальные процессы. Вдоль аккумулятивных склонов в приурезовой части котловины формируются пляжи.

Наиболее высокие и крутые абразионные участки широко развиты на моренных возвышенностях и донно-моренных равнинах, где котловины врезаны в толщу водоупорных суглинков. Значительные высоты отмечаются и в карстовых котловинах. Пологие склоны обычны для озер, расположенных среди низинного рельефа, и отличаются преобладанием аккумулятивных процессов.

По форме различают склоны выпуклые и вогнутые, прямые и ступенчатые. Преобладание процессов абразии способствует выработке вогнутого склона, в то время как задернованные, укрытые делювием склоны имеют выпуклый характер. Равное участие абразии и аккумуляции свойственно прямым склонам.

Многие озера отличаются развитием ступенчатых, террасированных склонов. На оз. Нарочь, например, ширина низкой (первой) террасы у д. Черевки 100–70 м, на оз. Паульском у д. Передовые – 80 м, а на оз. Черствяты вблизи д. Слобода ширина второй террасы превышает 100 м.

Низкие террасы – аккумулятивные. Они возвышаются над уровнем озера на 1,5–2 м и менее и сложены песчано-супесчаными и иловатыми отложениями бывшей литорали. В редких случаях в разрезе террасовых отложений обнаруживаются слоистые и даже ленточные глины (оз. Женно), прослойки озерного мергеля и включения болотной руды (оз. Черствяты).

Образование низких террас обусловлено понижением уровня озер в недавнее, по-видимому, суббореальное время. Нередко террасы появляются при искусственном понижении уровня озер. Например, в результате спрямления и углубления одной из проток оз. Сарро обнажилась значительная часть его южной литорали. Яркий пример в этом отношении представляет терраса на склоне оз. Веркуды высотой около 5 м, возникшая при углублении протоки, соединяющей это озеро с оз. Паульским. В оз. Пазушном терраса высотой около 3 м появилась после частичного спуска его в 1929 г. в оз. Отолово. На рис. 3.1 представлены различные варианты террасированных склонов разнотипных озер Поозерья.

Естественная высокая терраса имеет пребореал-бореальный возраст и формировалась в результате резкого падения уровня озер, переживших этап расконсервации котловин. Поверхность террасы расположена на высоте от 4–5 до 10–12 м над современным уровнем. Она совпадает с поверхностью выравнивания, в которую врезаны озерные ванны. Высокую (вторую) террасу слагают не только озерные пески, но и ленточные глины, а также моренные завалуненные супеси (оз. Нарочь). В этом случае террасу следует отнести к типу цокольных, или эрозионно-аккумулятивных. Типичные цокольные террасы отмечены на склонах озер Снуды (высота 15 м), Гомель (8,5 м), Лесковичи (8,9 м), Будовичи (10 м) и др.

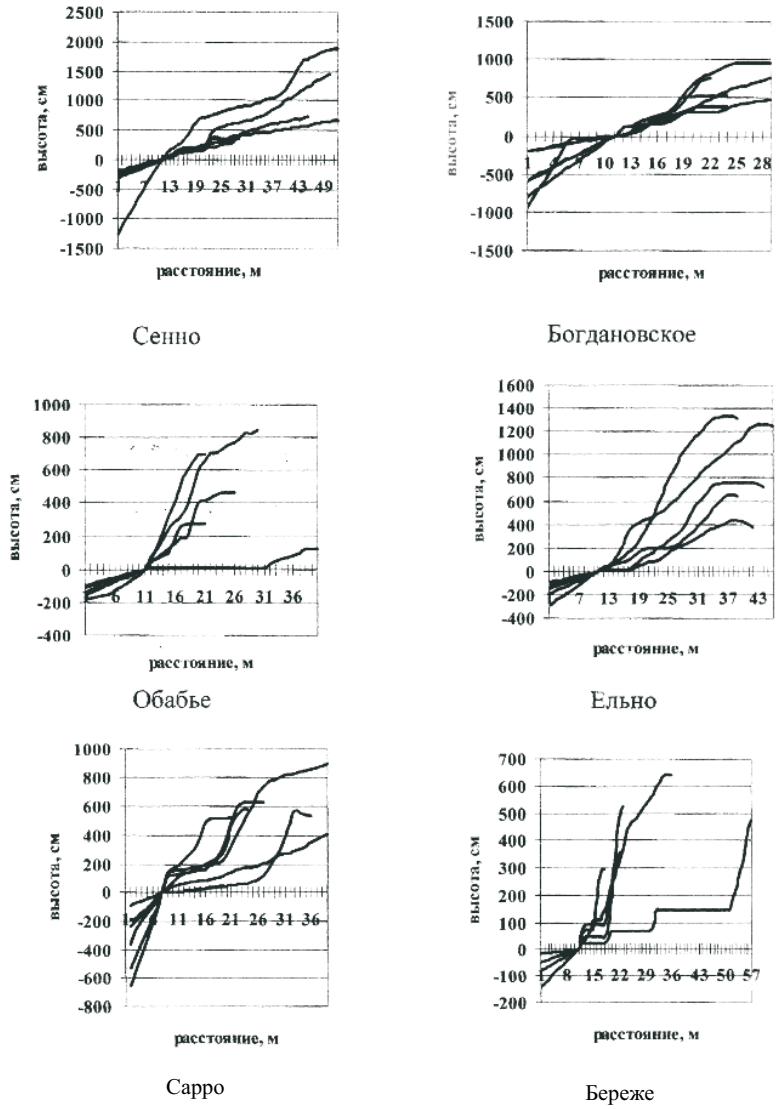


Рис. 3.1. Гипсометрические профили террасового комплекса различных озер (по Б. П. Власову, 2002)

В субатлантический период озера обнаруживают признаки трансгрессии (затопленные устья рек, заболоченные поймы, высокие береговые валы). В озерах Нарочь, Снуды, Струсто признаком трансгрессии может служить развитие абразионных процессов, а также древние затопленные каменистые береговые валы. В оз. Мястро затопленные торфяники древней поймы обнаруживаются на глубине около 1,5 м.

Особый объект изучения представляют прибрежные отмели и берега, т. е. части котловины, прилегающие к урезу воды и находящиеся в условиях переменного затопления и действия прибоя и течения в период высокого уровня. В формировании берегов значительную роль играют направление

и сила ветра, работа впадающих и вытекающих рек, развитие прибрежной растительности. Следует учитывать также деятельность человека (распашка, строительство гидросооружений, мелиоративная сеть и пр.).

В каждой озерной котловине можно выделить характерные элементы, которые зависят от генезиса котловины, истории ее развития, и особенностей гидродинамических процессов, происходящих в ней.

Озерное побережье – часть склонов котловины, непосредственно примыкающей к озеру, в пределах которой наблюдаются древние и современные формы рельефа, сформированные под воздействием водных масс.

Берег – часть побережья, в пределах которого идут процессы взаимодействия водных масс водоема с примыкающей к нему полосой суши.

Береговой уступ – крутой оголенный или прикрытый обвалами (осыпью) обрыв.

Береговой обвал (осыпь) – прилегающее к береговому уступу тело, образованное при обвале или осыпании грунтов с берегового уступа и склонов котловины.

Береговая отмель – отмель, непосредственно примыкающая к берегу озера и сформированная под воздействием ветровых волн и течений. Прибрежная отмель озер именуется литоралью, состоит из абразионной и аккумулятивной частей. Соотношение ширины абразионной и аккумулятивной частей литорали свидетельствует о степени устойчивости берега. Береговая отмель играет важную роль в жизни озер. Она является местом заселения высшей водной растительности и отличается породами грунтов, которые ее слагают. Абразионная часть литорали представляет часть первоначального профиля склона котловины, образованной в результате его абразии. Аккумулятивная часть береговой отмели лежит выше первоначального профиля берега и образовалась при аккумуляции продуктов абразии. Типы прибрежных литоралей по составу слагающих их пород рассматриваются в разделе донных отложений.

Пляж – часть абразионной отмели, которая образуется при наслоении аккумулятивного материала на урезе воды в месте обрушения волн. Он сложен слабосортированным материалом и представлен песком и гравием. Пляж имеет определенный уклон и меняется в зависимости от гидродинамической активности водоема. Наиболее существенные изменения происходят на пляже в период волнения и шторма.

Основание (подошва) берегового уступа – нижняя граница берегового уступа.

Внешний склон береговой отмели – наиболее крутая и отдаленная от уреза воды часть береговой отмели (литорали), которая находится ниже границы размывающего воздействия ветровых волн. Внешний край береговой отмели более или менее отраженная верхняя граница внешнего склона

береговой отмели, которая лежит на глубине, до которой распространяется воздействие волн на донные отложения при минимальном уровне воды озера. В озерах Беларуси обычно она находится на глубине 2 м и соответствует границе литорали. На Нарочи она соответствует глубине 5 м и отражает гидродинамические особенности этого озера.

Ширина береговой отмели – расстояние между основанием берегового уступа и внешним краем береговой отмели.

Бровка берега определяется как точка по профилю берега, которая фиксирует границу между примыкающими к берегу склонами и зоной активного воздействия береговых волн.

Перемещение береговой линии – горизонтальный отрезок между современным основанием берегового уступа и точкой уреза при одном и том же уроне воды на первоначальном профиле берега. Такая характеристика является количественным показателем интенсивности береговой абразии и может оцениваться отступанием бровки берега, м/год. На искусственных водоемах применяется объемный показатель, $м^3$/год.

Кроме литорали, в озерах выделяют сублитораль и проундаль. В сложившейся практике профундаль и литораль объединяют в пелагиаль. В литературе имеет место достаточно сложное толкование морфологических элементов подводной части ложа озера (табл 3.1), которые соизмеримы с морскими.

3.2. Типы берегов

Разработка единой системы классификации берегов является начальным этапом для выбора правильной методики их изучения и прогноза их формирования. Однако берега озер изучены недостаточно. Более детально береговые процессы изучались на больших (Россия) и малых (Беларусь) водохранилищах. Сам принцип классификации следует понимать как процедуру разделения рассматриваемого множества береговых объектов на подмножества по характерным признакам (И. А. Печеркин, В. И. Каченов, 1979). Степень подробности принятой классификации зависит от уровня наших знаний об изучаемых береговых процессах.

Впервые разделения берегов на типы были проведены Ю. С. Кашиным (1952). Последующие разработки носили региональный характер и отражали все более возрастающую степень изученности береговых процессов. Были разработаны также классификации и для прогнозирования на крупных равнинных и сибирских водохранилищах. На основании исследований и обобщения опубликованных материалов в основу

Таблица. 3.1

Подводные прибрежные зоны в трактовке разных авторов (по Тимм, 1986, с трактовкой С. П. Китаева)

Зона	Зона озерного берега и бентали	Forel, 1901, 1912	Thienemann, 1925; Тимм, Тимм, 1986	Wesenberg-Lund, 1917; Ekman, 1917; Зернов, 1934, 1949	Lundbeck, 1926	Lenz, 1928, 1930	Ласточкин, 1930	Brundin, 1949; Герд, 1949, 1965	Богданов, 1979	Ruttner, 1940	Литинский, 1960	Гусаков, Тержевник, 1992	Naumann, 1928	Dussart, 1966	Hutchinson, 1967	Andersson, 2001	Китаев	Аналоги в море
Слои озерной пелагиали	Побережье										Супралитораль	Зона пелагиали и бентали	Эпилитораль	Супралитораль	Эпилитораль		Супралитораль	Супралитораль
	Смачиваемое брызгами прибоя												Супралитораль		Супралитораль			
	Затопляемое побережье									Эулитораль	Литораль		Эулитораль		Эулитораль	Эулитораль	Эулитораль	Литораль
Эпилимнион	Полуводные растения	Отмель	Литораль	Литораль	Литораль	Литораль	Штранд	В.Н. литораль	Литораль	Сублитораль	Сублитораль	Прибрежная 0–15 м	Сублитораль	Литораль	Инфралитораль	Инфралитораль	Эпилитораль Металитораль Гиполитораль	Сублитораль
	Плавающие растения						Сублитораль											
	Погруженные растения			Сублитораль														
Металимнион	Переходная зона	Осыпь	Сублитораль	Профундаль	В. и Н. сублитораль	Эпрофундаль	Переходная зона	В.Н. профундаль				Декликальная, 15–52 м	Элитораль	Сублитораль	Литориопрофундаль	Сублитораль	Эпи-, мета-, гипосублитораль	Элитораль
Гиполимнион	Глубинная зона Верхняя	Глубинная область	Профундаль		Профундаль	Эупрофундаль	Профундаль		Профундаль	Профундаль	Профундаль	Профундальная 52–89 м	Профундаль	Профундаль	Профундаль	Профундаль	Эпипрофундаль Метапрофундаль Гипопрофундаль	Батиаль
	Нижняя								Батиаль			Ультрапрофундальная >89		Абиссаль	Абиссаль			Абиссаль

классификации берегов водохранилищ был положен характер береговых процессов и определяющих их факторов по схеме: генетическая группа – генетический тип – вид берега. Вопросы классификации берегов водохранилища рассматривались и другими исследователями (В. М. Широков, П. С. Лопух и др.,1986; В. М. Широков и др.,1992; 1995; В. М. Широков, П. С. Лопух, 1986; В. М. Широков, А. М. Макрицкий, 1988; и др.).

Характерной чертой исследований последних лет является разработка комплексных классификаций, предназначенных для решения практических задач с учетом генетических, литологических, морфометрических и других признаков формирования берегов. Термин «генезис берега» иногда отождествляется с генезисом слагающих его пород, или типом берегового процесса. В последнее время дискуссионным является выделение «нейтрального типа берега», хотя его выделял еще А. Гумбольдт при изучении морских побережий.

В отличие от крупных водоемов процессы формирования берегов на малых имеют свои особенности. Так, практика исследований процессов формирования берегов водохранилищ в Беларуси и Прибалтике свидетельствует о необходимости разделения берегов на группы волнового и неволнового происхождения. Такое разделение вызвано наличием на малых водохранилищах значительных по протяженности устойчивых к абразии берегов, формирующихся в условиях почти полного отсутствия волнового влияния. Такие динамические пассивные районы в пределах водохранилища имеются в первую очередь в верхней и средней его частях. Берега, минуя абразионный тип развития, стабилизируются еще при их заполнении, а затем иногда полностью зарастают. Берега волнового происхождения концентрируются в динамически активной прибрежной зоне, что и характерно для озер. На основании проведенных исследований береговых процессов, а также опубликованных материалов выделено пять генетических групп, объединяющих 10 типов берегов озер и водохранилищ (табл. 3.2). Основным критерием для выделения генетических групп является общность единых признаков развития берегового процесса, а для отдельных их типов процесс формирования берега идет в близких по литологическим признакам породах.

Среди берегов антропогенного происхождения выделяются закрепленные берега (бетонированные и земляные дамбы, плотины, укрепленные берега), а также берега каналов дорог, совпадающих с береговой линией озер. В отдельных случаях их протяженность может быть значительной. Так, для водохранилищ полесского типа при создании искусственных водоемов закрепленные дамбами берега могут достигать 70–80 %, а иногда и 100 % общей протяженности береговой линии.

3.3. Стадии развития размываемых (абразионных) типов берегов

Выявление цикличности в развитии берегов имеет не только теоретическое, но и практическое значение. Преобладающая часть берегов озер динамически устойчива и практически не размывается. Наиболее детально изучены берега водохранилищ. Для берегового процесса стадийность его развития является одной из основных характеристик водоемов. Для практических целей особенно важно, что интенсивность проявления берегового процесса на разных стадиях различна.

В целом для малых водохранилищ Беларуси установлены 3 стадии развития берегов: становления, стабилизации и отмирания (П. С. Лопух, 1983). Длительная эксплуатация малых водохранилищ показала, что практическую значимость имеют первые две стадии формирования берегов. На первой стадии происходит ежегодный интенсивный процесс обрушения берегов, заложение и развитие прибрежных отмелей. Идет постепенное выравнивание береговой линии, срезка мысов и заполнение наносами заливов, формирование пересыпей. Наиболее интенсивное отступание бровки берега, сложенного легкоразмываемыми породами, отмечается в первую фазу этой стадии, особенно первые 3–5 лет, а иногда и 7 лет. Ежегодное отступание бровки берега водохранилищ в эту фазу составляет 1,0–1,2 м. Обрушение берега может достигать 4 $м^3$ в год.

Во вторую фазу развития берегов процесс медленно затухает. К середине второго десятилетия эксплуатации малых водохранилищ становление берегов завершается, а на сформировавшихся отмелях начинают расселяться водные растения. На участках эрозионных берегов в верховье водохранилища склоны тоже закрепляются растительностью. В пределах территории Беларуси выделяется шесть районов с различной шириной переработки склонов (рис. 3.2). Для ее составления использовались материалы зарегулированных озер. Берега озер практически повсеместно, за исключением абразионных, закреплены растительностью, а это является завершающим этапом формирования равновесной береговой линии в плане. Основным процессом является вдольбереговое перемещение наносов, формируются сложные береговые динамические системы с зонами питания, транспорта и аккумуляции наносов. У ранее размываемых берегов с достаточно широкой литоралью появляется полоса погруженных и надводных растений, которые в известной степени снижают воздействие на берег штормовых волн. Стабилизация берегов и отмелей и выработка равновесной береговой линии может прерываться фазами активизации процесса формирования отмелей с кратковременной слабой переработкой берега на отдельных участках, вызванной повышенной водностью, изменениями, из-за антропогенных факторов.

Таблица 3.2

Типы берегов водоемов Беларуси и основные факторы, обуславливающие их формирование

Гидродинамическая группа	Генетическая группа	Тип берега	Преобладающий береговой процесс	Основные факторы	Литологический состав пород, слагающих берега
Волнового происхождения	Абразионные	Обвальный	Обвальные явления	Ветровое волнение	Пески, суглинки, супеси
		Осыпной	Осыпи	Ветровое волнение	Эоловые пески
		Оползневый	Оползневые явления	Подъем уровня грунтовых вод, атмосферные осадки, ветровое волнение	Озерные (ленточные) глины, суглинки
	Абразионно-аккумулятивные	Абразионно-аккумулятивный	Размыв отмелей	Ветровое волнение, вдольбереговые течения, понижение уровня	Аллювиальные, флювиогляциальные пески и супеси
	Аккумулятивные	Экзарационно-аккумулятивный	Аккумуляция наносов, экзарация	Ветровое волнение, экзарационная деятельность льда	Аллювиальные пески, намывные разнозернистые пески
		Аккумулятивный	Аккумуляция наносов	Ветровое волнение, вдольбереговые течения	Аллювиальные флювиогляциаьные пески
Неволнового происхождения (водохранилища)	Речные	Денудационный	Обвальные явления, плоскостной смыв наносов	Выветривание, стоковые течения	Глины, моренные суглинки
		Эрозионный	Эрозия склонов	Эрозия, плоскостной смыв	Аллювиальные пески, супеси
	Нейтральные	Заболачивания	Болотный процесс	Повышение уровня грунтовых вод, застой поверхностных вод	Пески, моренные суглинки, супеси
		Подтопления	Подтопление, оглеение и ожелезение	Повышение уровня грунтовых вод	Пески, моренные суглинки, супеси

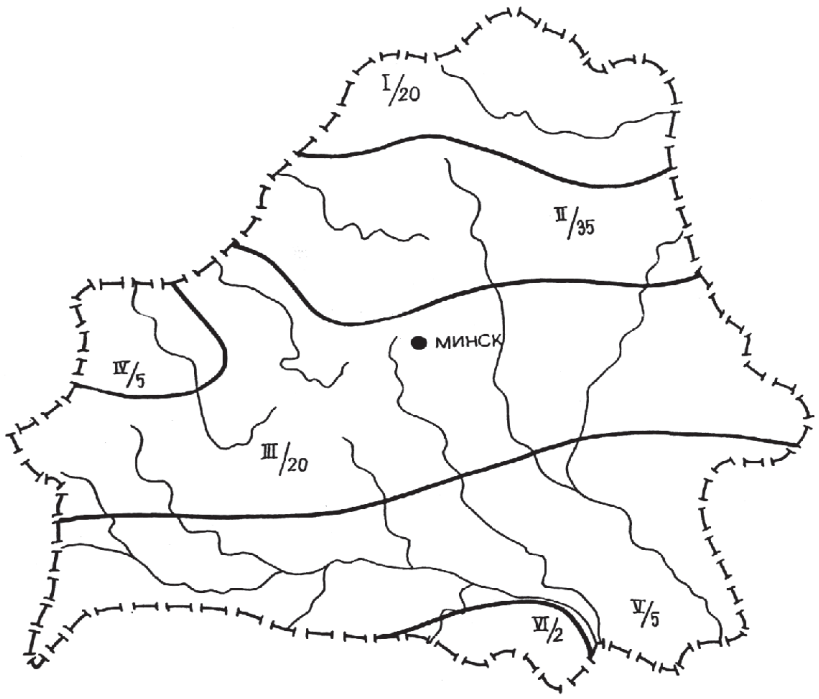


Рис. 3.2. Районирование территории Беларуси
по величине размыва берегов озер и водохранилищ

На третьей стадии при полной стабилизации берегов происходит полная стабилизация основных склоновых процессов. Берег и прибрежные отмели зарастают высшей водной растительностью. При их отмирании идет накопление органических отложений на отмелях и в открытой части, что приводит к последующему заболачиванию прибрежной зоны. В это время здесь преобладают аккумулятивные процессы.

Обрушение берегового склона и размыв грунта находятся в тесной связи. Это приводит к синхронному развитию надводной и подводной частей склона. Изменение ширины отмели находится в зависимости от интенсивности переработки берега. В большинстве случаев берега отделяются от коренных склонов плоской, иногда заболоченной озерной поймой, которая покрывается водой во время высокого уровня. Берега чаще всего сложены заиленными песками, иногда с примесью галечного материала или глины. Реже встречаются берега, сложенные торфом.

Абразионные берега типичны для молодых озер. Значительные глубины и площади, а также принудительное изменение уровня способствуют переработке берегов и установлению равновесия между силами разрушения и созидания. Крутые абразионные берега, совпадающие со склонами, служат свидетельством активности береговых процессов. Таков характер берега на значительном протяжении у озер Нарочь и Мястро. Абразионные

берега получили распространение на озерах Долгом, Болдук, на крупных озерах Браславской группы, но в связи с искусственным понижением уровня абразионный уступ у последних отделяется от озер полосой поймы.

Аккумулятивные берега относятся к числу неустойчивых, формирующихся при наличии источника рыхлого материала. В зоне береговой полосы образуется песчаный или песчано-галечниковый пляж. В период высокой воды он может на короткий срок покрываться водой, а ранней весной подвергаться разрушительному действию льда. Прибойная волна на берегах аккумулятивного типа быстро теряет свою динамическую силу, растрачивая ее на трение и перенос рыхлого материала. Последний медленно передвигается вдоль берега, одновременно дифференцируясь по механическому составу.

3.4. Характеристика береговой линии озер на стадии устойчивой береговой линии

Для аккумулятивных береговых отмелей характерны песчано-гравелистые береговые валы. Они образуются на некотором расстоянии от уреза воды вблизи тылового шва пляжа. Материал, слагающий береговые валы, приносится во время штормов и накапливается в виде асимметричной формы вала шириной в несколько метров у основания и до 2,0 м высотой. Такие образования на берегу оз. Нарочь сложены песком, галькой и обломками раковин и образуют на отдельных участках две параллельные полосы. Вдоль берегов озер Снуды и Волос береговые валы образуют одну, а иногда и три полосы.

Большинство береговых отмелей озер Белорусского Поозерья относится к третьему типу – нейтральных, характеризующихся состоянием равновесия аккумуляции и абразии. В их формировании большую роль играет полоса прибрежных макрофитов, служащая мощным фактором защиты от разрушения и контролирующая распределение аккумулятивных отложений.

Выделяется еще один тип береговых отмелей, сложенных породами органического происхождения. Это сплавинные и торфяные берега. Первые особенно широко распространены в Полесье и свойственны озерам-разливам (Выгонощанское, Черное, Червоное, Олтушское). Торфяные берега типичны для озер, расположенных среди верховых и переходных болот. Это высокие обрывистые берега, слабозакрепленные растительностью (Ельня, Межужол, Стержень).

Подводная аккумулятивная терраса обычно отождествляется с понятием литорали. Она формируется в результате размыва склонов (первоначаль-

ного профиля) – абразионная часть, и накопления продуктов разрушения на границе затухания прибойной волны (аккумулятивная часть), ее генезиса и типа берега. Ширина литорали различна и зависит от морфометрических характеристик котловин. Это же касается строения (крутизны и глубины распространения) склона подводной террасы (сублиторали). Обычно округлые котловины с плоскими склонами имеют более широкую литораль и пологую сублитораль. На участках абразионных берегов ширина литорали определяется стадией развития берега. Максимальная ширина литорали устанавливается на равновесной береговой линии.

Условно глубина литорали не превышает 2 м (на свале глубин). В оз. Нарочь, например, площадь с глубинами до 2 м составляет 14,8 % площади озера, в оз. Дривяты она равна 15,3 %, в Снуды – 14,4 %. В небольших, но глубоких озерах площадь литоральной зоны узкая, а склон сублиторали круче. В оз. Долгом глубины до 2 м составляют лишь 4,2 % площади озера, в оз. Рудакове – 5,6 %. Угол наклона подводной осыпи в этих случаях достигает 20–25°, при этом интенсивность нарастания глубин превышает 10 м на каждые 20–25 м по горизонтальной плоскости. Морфологические особенности котловины оз. Нарочь дают основание считать литоралью часть ложа с глубинами до 5 м.

Строение прибрежной зоны и ее элементов, особенно подводных, имеет существенное значение для развития живых организмов. Именно в мелководной, наиболее освещенной и прогретой литорали создаются благоприятные условия для жизнедеятельности планктонных и бентальных (донных) организмов, а также высших водных растений, формируются нерестилищные и кормовые угодья.

Определенная закономерность обнаруживается и в строении глубоководной части озера – профундали. При всем разнообразии намечается несколько основных типов. К первому относятся плоские, однообразные профундали с незначительными колебаниями глубин. Распространение получили корытообразные профундали, характерные для котловин ложбинного типа. В этом случае само ложе может осложняться эворзионными котлами и поднятиями типа ригелей, следующих друг за другом по длинной оси озера (рис. 3.3). В принципе характер профундали определяется стадией развития озерной котловины. При заполнении котловины донными отложениями она выполаживается, профундаль постепенно сливается с литоралью, котловина принимает плоскую блюдцеобразную форму, а ее основные морфологические части становятся неразличимыми.

Третий тип объединяет сложные профундали. Для них характерно сочетание поднятий и углублений без определенной закономерности. Углубления имеют характер эворзионных котлов, ложбинообразных понижений,

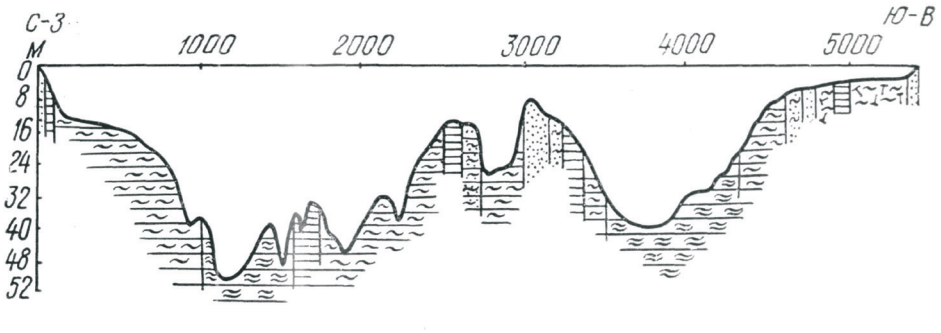


Рис. 3.3. Продольный профиль озерной котловины оз. Долгое

вдоль которых нередко прослеживаются гряды в виде системы вытянутых друг за другом мелей и островов. Таково строение профундалей озер Северной Беларуси: Нарочь, Мястро, Мядель, Струсто, Снуды, Отолово и др. Границы морфологических элементов в котловинах этого типа выражены четко. Отличительные особенности имеют профундали карстовых котловин, распространенных в Полесье. Вся котловина воронкообразной формы, а профундаль подобна усеченному опрокинутому конусу с плоской вершиной и крутыми склонами (озера Вулька, Сомино, Белое, Черное).

В подводной части озерной котловины наибольшей мобильностью отличается мелководная зона. В ней идет активное перемещение вещества и распределение рыхлых отложений по законам гравитации. Примесь химических и органических компонентов обычно невысокая. О скорости формирования литорали и сублиторали можно судить на основании конкретных примеров озер с искусственно измененными уровнями. В Браславских озерах, где в 1930 г. уровень был спущен на 3 м, уже в середине 1950-х гг. сформировались аккумулятивные подводные террасы с типичными для них песчаными отложениями. В озерах группы Обстерно в результате подъема уровня на 1 м началась переработка берегов, и уже через 4 года в прибрежной зоне можно было различить свежую литораль.

Аналогом озер с искусственно нарушенным уровнем могут служить водохранилища. По данным В. М. Широкова (1975 г.), период формирования береговой отмели малых водохранилищ составляет менее 10 лет.

Профундальная зона озерной котловины служит в основном областью седиментации наиболее тонких частиц минерального, органического и химического происхождения. Этот процесс может продолжаться в течение всей жизни озера, изменяясь только по составу слагающих компонентов и представляет собой единую систему. Наиболее изученным является в этом отношении профундаль оз. Нарочь (рис. 3.4).

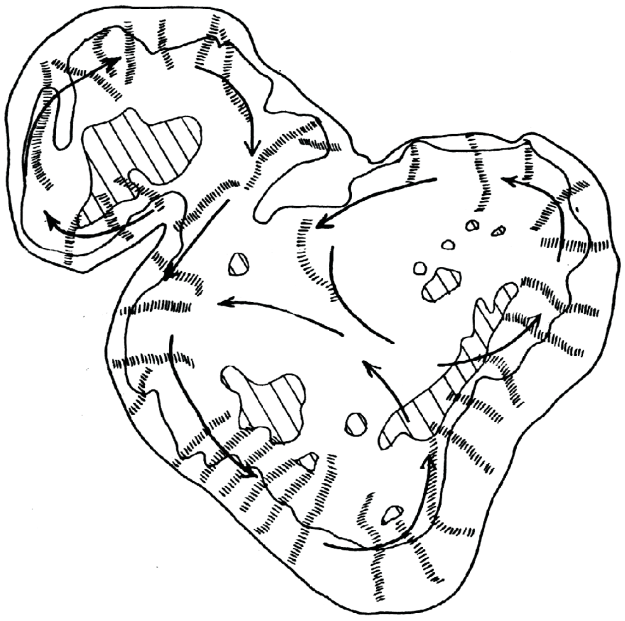


Рис. 3.4. Схема глубоководных (сублиторальных) ложбин оттока оз. Нарочь. Условные обозначения:
1 – глубоководные ложбины оттока;
2 – преобладающие направления течений и переноса материала в глубоководной части ложа;
3 – глубоководные котловины профундали

По истечении первых двух стадий развития берегов береговая линия в целом переходит в равновесное состояние в плане и по конкретным створам, направленным перпендикулярно линии уреза. На первой стадии развития берегов происходит окончательная отработка отмели и создаются сложные динамические береговые системы с зонами питания, транспорта и аккумуляции наносов. Наиболее общим условием динамического равновесия береговой линии является постоянство вдольберегового потока энергии ($э_\tau$) по длине берега (ι) или расхода наносов (q_H) вдоль нее:

$$\frac{\mathrm{d}э\tau}{\mathrm{d}_l} = \frac{dq_H}{dl} = const.$$

Первым признаком завершения процесса отработки отмелей является выработка профиля надводной и подводной частей с устойчивыми уклонами и параметрами. Абразионное выравнивание переходит в аккумулятивное выравнивание береговой линии.

Развитие надводной и подводной частей профиля абразионного берега происходит сопряженно. Изменение ширины отмели (В) находится

в зависимости от линейной переработки берега (S). При этом изменение в интенсивности переработки сказывается на росте размеров отмели.

Вместе с увеличением ширины отмели происходит уменьшение ее уклонов. Отмель становится более пологой. На конечной стадии развития процесс стабилизируется, а уклоны отмелей изменяются в пределах 0,03–0,06.

Подтверждением процесса отработки отмелей является установление профиля с относительно устойчивыми глубинами на свале их аккумулятивной подводной части. Стабильная глубина на свале глубин свидетельствует об выполаживании отмели и дальнейшем формировании ее микрорельефа.

Ввиду наличия переменных направлений волнения на отмелях с шириной более 15 м выделяются повышения и понижения, увеличивающиеся с нарастанием фронтальной длины разгона волн. На глубине 0,5–1,5 м формируются ложбины и подводные валы с относительными отметками 10–30 см. Аналогичные образования являются критерием устойчивого равновесного берега малых водоемов. Это положение подтверждают и лабораторные исследования (P. Zhang, T. Sunamura,1993; T. Sunamura, 1994; P. Zhang, 1994). При значительной длине разгона волн до 8–10 км и ширине прибрежных отмелей 50–800 м, как это отмечается на оз. Нарочь и на других озерах, частота образования подводных валов колеблется от 3 до 6 единиц на 100 м ширины отмели. При этом понижения на их гребне образуют четкую систему ложбин оттока. При дешифрировании аэрофотоснимков выявлена расходящаяся система их ориентации, характерная для абразионных берегов, что свидетельствует об отрицательном балансе вдольбереговых потоков наносов. Сходящаяся система характерна для аккумулятивных участков (рис. 3.5).

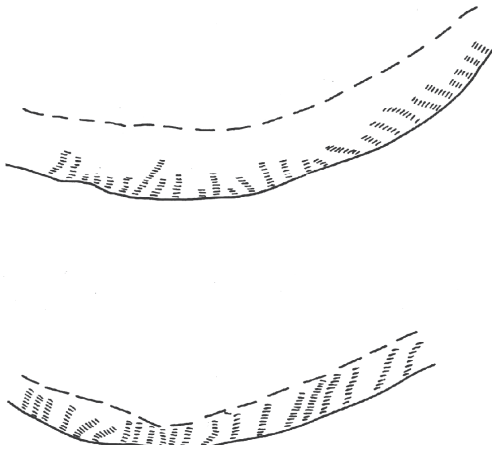


Рис. 3.5. Характерные типы систем ложбин оттока на разных участках берегов оз. Нарочь

Таблица 3.3

Характеристика ветровой деятельности в районе акватории оз. Нарочь

Скорость ветра, м/с	0–1	2–3	4–	6–7	8–9	10–11	12–13	14–15	16–17
Число случаев за многолетний период, %	28,7	41,1	22,0	5,7	1,6	0,3	0,2	0,02	0,02

Благодаря округлой форме котловины оз. Нарочь следует рассматривать в качестве естественной природной лаборатории для познания природы берегового процесса, имеющего место на малых водоемах. С уменьшением размеров озер многие особенности и черты этого процесса более скрытые или становятся совсем неразличимы.

За время своего существования оз. Нарочь приобрело черты, присущие равновесной гидродинамической системе. Наиболее частыми ветрами в условиях Нарочи являются ветры со скоростью 2–5 м/с (табл. 3.3). Они составляют более 60 % от всех ветров за безледный период и формируют береговую линию.

Как показывают исследования, ложбины между валами являются основными трассами перемещения наносов в зоне литорали. Однако роль ложбин и валов меняется в зависимости от интенсивности ветрового волнения. Для условий штиля характерны рифели. При значительном волнении формируются валы и идет вдольбереговое перемещение наносов. Количество надводных валов и их параметры зависят от ширины прибрежной отмели (табл. 3.4), являющихся признаком стабилизации берега.

Под воздействием волнения в зоне литорали образуются сгонно-нагонные явления. При этом на гребне подводных валов возникают понижения, по которым идет отток воды в придонном слое из зоны литорали. Ложбины оттока хорошо дешифрируются на аэрофотоснимках (табл. 3.4). В плане на отдельных участках озера они образуют различные системы оттока. Детальные исследования показывают, что для волн, подходящих к берегу под углом 55–105°, т. е. близким к фронтальным направлениям, ложбины оттока ориентированы к берегу под углом 90–95°. Таким образом, при фронтальном подходе волн отток воды происходит в придонном слое в направлении, противоположном фронтальным волнам.

Таблица 3.4

Характеристика подводных валов в зоне литорали оз. Нарочь по данным аэрофотосъемки

Номер створа	Ширина литорали, м	Количество валов	Средняя ширина вала	Количество валов на 100 м литорали
1	240	11	21,8	4,5
2	300	18	16,6	6,02
3	375	23	16,3	6,1
4	405	25	16,2	6,1
5	450	22	24,5	4,1
6	570	30	19	5,2
7	570	35	16,2	6,1
8	810	45	18	5,5
9	690	21	32,8	3,04
10	360	17	21,2	4,7
11	450	25	18	5,5
12	480	26	18,5	5,4
13	390	18	21,5	4,6

На участках с максимальной длиной разгона волн, подходящих к берегу под острым углом, ложбины оттока сориентированы под углом значительно большим 90°. По краям береговой дуги ложбины оттока отходят под углом 50–70°. Возникает сходящаяся система оттока. На этом участке озера преобладает аккумулятивный тип берега (участки берега у д. Никольцы и истока р. Нарочанка). При этом максимальная длина разгона волн больше фронтальной ($L_{max} > L_{фронт}$).

В случае, когда максимальная и фронтальная волны совпадают, т. е. равны по длине, возникает расходящаяся система оттока водных масс в прибрежной зоне, а на урезе идут преимущественно абразионные процессы (участок берега к востоку от Нарочанской косы). Подобные системы характерны для стыка береговых дуг, где более активны абразионные процессы.

На достаточно протяженных участках берега озера с преимущественно одной системой оттока можно отметить и некоторые нарушения общей

схемы. Это позволяет выделить более дробные участки берега с разнонаправленным типом берегового процесса.

Сходящиеся системы оттока воды характерны для вогнутых участков берега или береговой дуги. Расходящиеся системы оттока характерны для выпуклых участков берега или участков со значительной протяженностью берега (до 5 км). В последнем случае формируется односторонняя система оттока воды.

Участки берега с расходящейся системой оттока и абразионными процессами завершаются образованием аккумулятивных форм в виде аккумулятивных выступов одностороннего питания. Они хорошо выражены в рельефе в случае, когда волна с максимальной длиной разгона образует тупой угол.

Характерной особенностью берегового процесса является образование надводного берегового аккумулятивного вала. Его возникновение связано с совпадением направления волн с максимальной длины разгона с фронтальной.

Важное значение для формирования равновесной или динамически устойчивой береговой линии имеет рельеф ложа котловины глубоководной открытой части акватории водоема. Как свидетельствует детальная батиметрическая карта ложа озера, склоны подводной части имеют микропонижения, подобные морским каньонам. По ним концентрируется отток воды от берега и, вероятно, преимущественно в шторм и происходит «питание» глубоководной части ложа тонкодисперсными частицами. Сублиторальные ложбины оттока завершаются глубоководными котловинами в ложе и на стадии равновесия береговой линии являются заключительным звеном в системе разгрузки для подводного оттока вод.

Следует предположить, что в озерах со значительно меньшей площадью рельеф ложа также играет важную роль в развитии их берегов. Однако его влияние осложняется геологическим строением и территорией склонов.

В плане береговая линия озера округлой формы и представляет собой равновесную систему береговых дуг различного радиуса (рис. 3.6). Она сформировалась в процессе длительного геологического времени с максимальным прогибом (табл. 3.5). Следует предположить, что на стадии равновесного динамически устойчивого состояния берегов при радиусе дуг, близким к 1/2 L, намечается разделение водоема на более мелкие обособленные водоемы. Развитие котловины переходит в свою завершающую стадию. Однако, учитывая параметры озера (площадь, глубину), эта стадия продлится достаточно длительный период. Динамически устойчивая система вдольберегового перемещения наносов и их разгрузки в глубоководную часть ложа способствует этому.

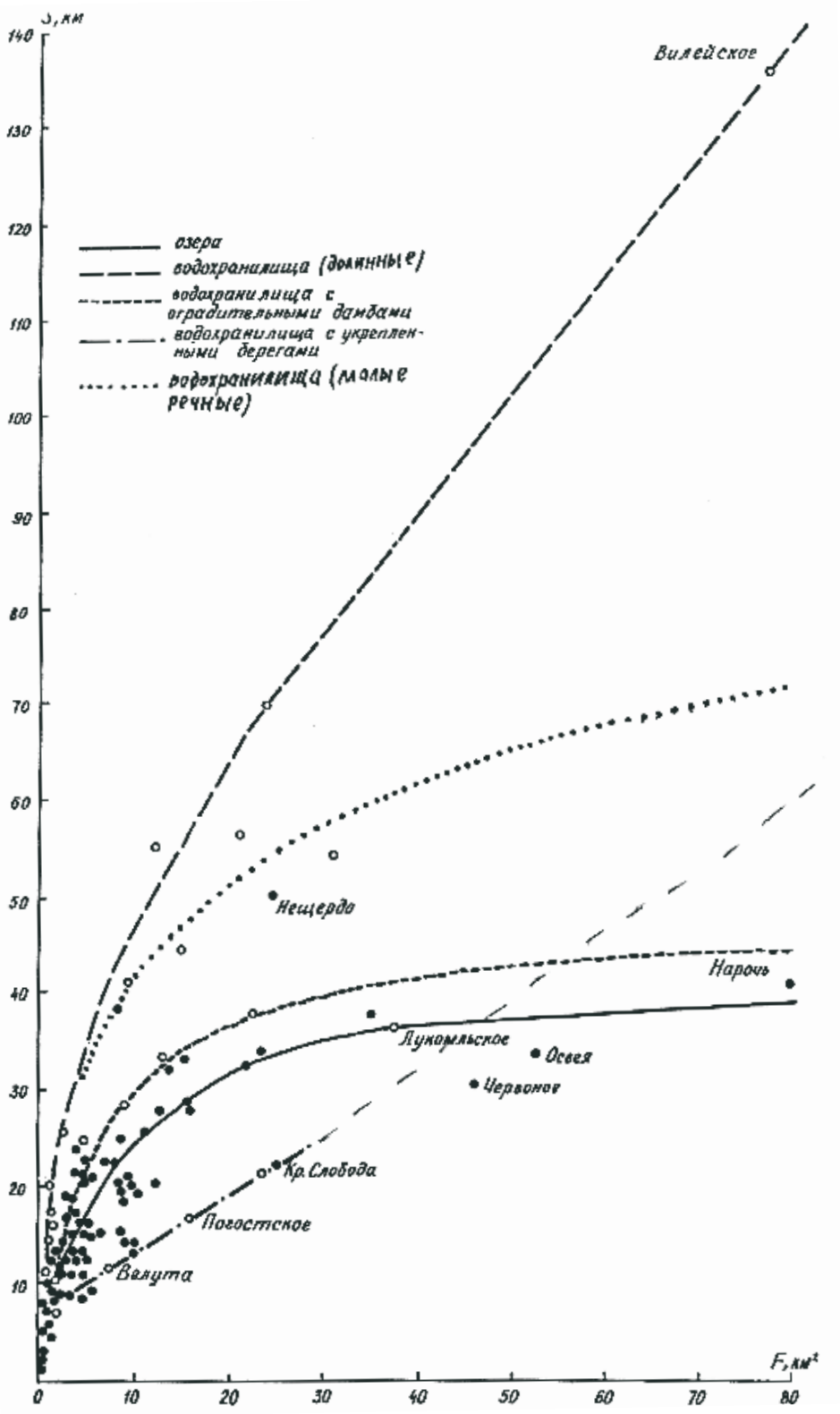


Рис. 3.6. График зависмости длины береговой линии и площади озер и водохранилищ Беларуси

Таблица 3.5

Характеристика береговых дуг оз. Нарочь

Номера дуг	1	2	3	4	5
Радиус, км (R)	2,82	2,82	2,82	1,66	2,82
Длина между опорными мысами, км (L)	5,39	5,68	5,15	3,36	5,60
Величины опорных мысов, км (Y)	3,53	2,82	1,58	1,82	2,20
Степень прогиба, С	0,63	0,50	0,31	0,54	0,39

В процессе длительного развития береговой линии озера приходят в равновесное состояние. В данном случае длина береговой линии соответствует определенной площади озера. Наболее оптимальное соотношение складывается для озер различной площади. О значительном несоответствии берегов и площади характерно для искуственных водоемов (рис. 3.6).

3.5. Морфометрия озер

В итоге необходимо отметить, что различные сочетания подводных элементов котловины, их конкретные параметры оказывают весьма существенное влияние на облик и развитие озера и выявляются в морфометрических показателях.

Морфометрией озеровидных водоемов называется совокупность методов и приемов количественного выражения элементов формы и размеров котловин и объема заполняющих их вод. Для составления морфометрической характеристики любого озера необходимо иметь батиметрическую карту крупного масштаба, вычерченную в изобатах (изогипсах) с возможно большей точностью. Площадь озера вычисляется с помощью планиметра. По карте находится длина и ширина озера. Длина (ось) – кратчайшее расстояние между двумя наиболее удаленными друг от друга точками береговой линии. На карте этот показатель изображается прямой или ломаной линией.

Таблица 3.6

Количество и распределение озер по градациям площади

Размер озер	Площадь, км^2	Количество озер, в %
Очень малые	Менее 0,1	49,2
Малые	0,11–1,0	40,2
Небольшие	1,01–5,0	8,1
Средние	5,01–10,0	1,3
Большие	10,01–15,0	0,4
Очень большие	15,01–20,0	0,2
Наиболее крупные	Более 20	0,6

Ширина озера определяется как максимальная ($B_{макс}$) – наибольшее расстояние между берегами по перпендикуляру к длине водоема. Показатель средней ширины ($B_{ср}$) представляет частное от деления площади зеркала (F) на длину озера (L).

Таблица 3.7

Количество и распределение озер по градациям максимальной глубины

Градация глубины	Максимальная глубина, м	Количество озер, %
Очень малая	Менее 2,50	12,7
Малая	2,51–5,0	27,3
Небольшая	5,01–10,0	26,6
Средняя	10,01–15,0	14,1
Повышенная	15,01–20,0	7,6+
Большая	20,01–25,0	6,1
Очень большая	Глубже 25,0	5,6

Длина береговой линии, или линии уреза воды, по которой водная поверхность соприкасается с сушей, находится по карте с помощью курвиметра или циркуля-измерителя.

Степень изрезанности (развития) береговой линии представляет отношение длины береговой линии (l) к длине окружности круга, равновеликого поверхности озера, и вычисляется по формуле

$$K_u = \frac{l}{2\pi\sqrt{F}}.$$

Таблица 3.8

Количество и распределение озер по изрезанности береговой линии (извилистость)

Степень изрезанности береговой линии	Коэффициент изрезанности	Количество озер, %
Слабоизрезанные	Менее 1,5	42,8
Среднеизрезанные	1,5–2,0	32,3
Сильноизрезанные	Более 2,0	24,8

Объем воды в озере (V) вычисляется обычно в кубических метрах аналитическим или графическим способом. В первом случае определяются объемы слоев воды озера, ограниченные плоскостями изобат, принимаемые за правильные геометрические фигуры (чаще всего усеченный конус или призма). Сумма объемов слоев – это общий объем воды в озере. Расчет объемов слоев по формуле усеченного конуса дает более точные результаты: $V = \frac{h}{3}(f_1 + f_2) + \sqrt{f_1 \cdot f_2}$, где h – сечение изобат; f_1, f_2 – площади, ограниченные изобатами. Для приближенных расчетов применяется формула призмы $V = \frac{h}{2}(f_1 + f_2)$.

Таблица 3.9

Количество и распределение озер по градациям объема

Градация объема	Объем озера (млн м^3)	Количество озер (%)
Очень малые	Менее 1,0	32,6
Малые	0,11–5,0	42,5
Средние	5,01–10,0	10,6
Большие	10,01–20,0	6,9
Крупные	20,01–100,0	6,3
Очень крупные	Более 100,0	1,2

Графически объем воды в озере можно рассчитать с помощью батиграфической кривой. Последняя отображает зависимость между глубинами и площадями, оконтуренными изобатами на соответствующих глубинах. На вертикальной оси графика откладываются глубины или уровни, на горизонтальной – шкала площадей, оконтуренных изобатами. Каждая из этих площадей ($f_1, f_2, ..., f_n$) откладывается на горизонтальной линии соответствующей глубины. Полученные точки соединяются плавной кривой.

По батиграфической кривой можно найти объем водной массы в целом и объем слоев при различных уровнях.

В числе морфометрических показателей интерес представляет зависимость между объемом водной массы озера и его глубиной (уровнем) – объемная кривая. Для ее построения по вертикали откладываются глубины (уровни), по горизонтали – объемы вод, заключенные под соответствующими изобатами. На линии нулевой глубины (отметки зеркала) откладывается объем всей массы воды (V), на линии 1 м – тот же объем, за вычетом объема первого метра ($V–V_{0\text{-}1}$) и т. д. Полученные точки соединяются плавной кривой. В точке наибольшей глубины объемная кривая всегда пересекает ось глубин (V = 0).

Батиграфические и объемные кривые имеют большое практическое значение при проектировании гидросооружений, расчете теплового и кислородного запаса. Они дают возможность прогнозировать объем и площадь озера при колебании уровня, проектировании озерного водохранилища, планировании объемов заборов воды, не нарушая экологического состояния лимносистемы.

Морфометрические характеристики обязательно включают определение средних и максимальных глубин. Последние вычисляются по данным промеров. Средняя глубина – это отношение объема к площади:

$$H_{\text{ср}} = \frac{V}{F} \quad .$$

Наиболее важные морфометрические показатели приводятся для всех озер республики по данным Б. П. Власова.

Таблица 3.10

Количество и распределение озер по градациям средней глубины

Градация глубины	Максимальная глубина (м)	Количество озер (%)
Очень малая	Менее 2,50	35,6
Малая	2,51–5,0	39,4
Средняя	5,01–10,0	22,2
Большая	10,01–15,0	2,1
Очень большая	15,01–20,0	0,7

Форму озерной котловины, наряду с другими морфометрическими показателями, характеризует коэффициент удлиненности, т. е. отношение длины к средней ширине ($\frac{L}{H_{ср}}$) по надводной конфигурации озерной котловины. С достаточной степенью условности выделяются озера по форме котловины: округлые, овальные, удлиненные.

Таблица 3.11

Количество и распределение озер по форме котловины

Форма котловины	Коэффициент удлиненности	Количество озер (%)
Округлая	<1,5	18,0
Овальная	1,5–2,0	44,8
Удлиненная	>2,0	37,2

Морфометрические особенности каждого озера создают сложные взаимоотношения между строением котловины и водной массой, что находит отражение в гидрологических и биохимических характеристиках водоема, а в некоторых случаях имеет типологическое значение.

Важным показателем является коэффициент относительной глубины озера (показатель глубинности), который выражается формулой $\frac{H_{ср}}{\sqrt[3]{F_{оз}}}$, где $H_{ср}$ – средняя глубина; $F_{оз}$ – площадь озера. Глубинности характеризует укрытость озерной котловины, степень стратифицированности водной массы, мощность гиполимниона, различия гидрохимических показателей поверхности и придонных слоев. Наибольшей величины (10–25) коэффициент относительной глубины достигает в небольших озерах: Долгое, Волос Южный, Гиньково, Болдук; в крупных и менее глубоких он сокращается до 2–2,5 (Нарочь, Мядель, Дривяты); наименьшее значение его 1–1,5 (Шо, Баторин, Черствяты).

Таблица 3.12

Количество и распределение озер по градациям относительной глубины (глубинности)

Коэффициент относительной глубины	Количество озер (%)
<1	6,3
1–5,0	58,2
5,1–10	27,5
>10	8,0

Своеобразным показателем формы озерной котловины, ее емкости может служить отношение средней глубины к максимальной $\frac{H_{ср}}{H_{макс}}$, а также отношение площади к средней глубине – показатель открытости $\frac{F}{H_{ср}}$.

Таблица 3.13

Количество и распределение озер по степени открытости

Степень открытости котловины	Показатель открытости	Количество озер (%)
Слабо открытые	<0,1	44,8
Умеренно открытые	0,1–0,5	31,9
Открытые	0,51–0,5	21,5
Хорошо открытые	>5,0	1,8

Последний особенно наглядно характеризует своеобразие крупных с округлыми открытыми котловинами водоемов. В оз. Нарочь, например, показатель открытости наибольший в Беларуси – 8,8, в озерах Лукомском – 5,5, Дривяты – 5,9. Коэффициент емкости в этих водоемах равен соответственно 0,36; 0,58; 0,50. В глубоких, но небольших озерах показатель открытости резко снижается. В озерах Долгом и Волос Южный он составляет 0,73 и 0,96 при коэффициенте емкости 0,35 и 0,33.

Показатель формы озерной котловины свидетельствует о характере озерной котловины (рис. 3.7). Для цилиндра $C_ф$ равен 1, для полуэллипсоида 2/3, для параболоида 1/2, для конуса 1/3. Форма котловины оказывает большое влияние на внутриводоемные процессы (перемешивание, газовый режим и др.).

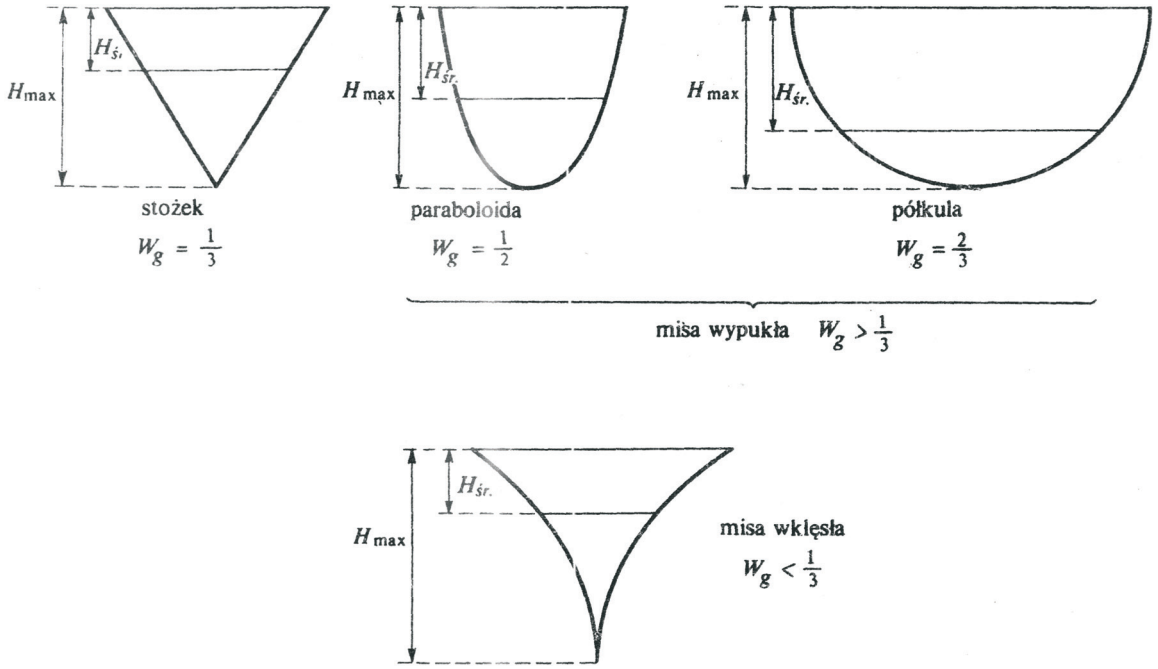


Рис. 3.7. Типы разных форм озерных котловин
(по E. Bajkiewicz, A. Magnuczewski, Z. Mikulski, 1993)

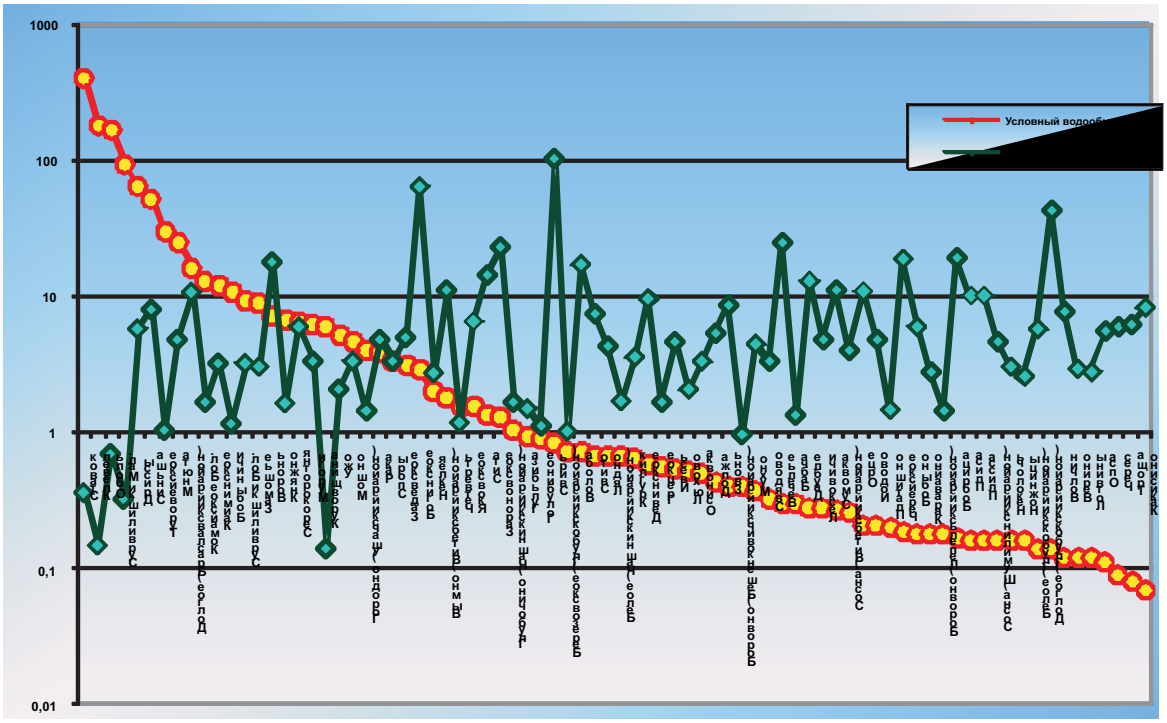


Рис. 3.8. График связи условного водообмена
озер водной массой

Морфометрические особенности водоемов оказывают существенное воздействие на их режим. Так, при прочих равных условиях в мелком озере с большой площадью поверхности вода сильнее перемешивается ветром, чем в глубоком, физико-химические показатели распределяются по глубине равномернее.

Соотношение размеров водоема и водосбора играет важную роль в формировании гидрологического режима. В качестве показателя этого соотношения принят удельный водосбор – отношение площади водосбора (F) к площади зеркала водоема (f_0): $\Delta F = F / f_0$. Чем больше площадь водосбора по сравнению с площадью зеркала, т. е. чем больше удельный водосбор, тем сильнее влияние водосбора на режим водоема. График на рис. 3.8, например, свидетельствует о тесной связи условного водообмена озер с их водной массой.

ГЛАВА 4

ВОДНЫЙ БАЛАНС И УРОВНЕВЫЙ РЕЖИМ

4.1. Водный баланс озер

История регулярных гидрологических наблюдений на водоемах Республики Беларусь насчитывает свыше 50 лет. В этот временной промежуток укладываются как глобальные изменения природной среды, обусловленные всеобщим экономическим кризисом второй половины XX в. (общее увеличение уровня загрязнения), глобальным потеплением климата, так и локальными изменениями, вызванные чрезвычайно бурным возрастанием антропогенной активности. Все это не могло не повлиять на ситуацию на водоемах и не вызвать ряд серьезных экологических проблем, решение которых может быть успешно осуществлено только при условии достоверной оценки имеющихся водных ресурсов и их изменения во времени и пространстве.

В 60-х гг. XX в. достаточно подробно был рассчитан водный баланс оз. Нарочь и некоторых водохранилищ Беларуси. В связи с недостаточным количеством гидропостов на озерах в ряде случаев некоторые величины баланса вычисляются косвенно. А. Г. Булавко (1954 г.) разработал методику расчета потери на испарение. К. А. Клюева (1961 г.) составила первую карту стока территории Беларуси, которая позволяет приближенно определить роль стока в общем значении водного баланса. Позже Г. М. Базыленко был рассчитан водный баланс наиболее крупных водохранилищ Беларуси.

По Б. Б. Богословскому (1960 г.), уравнение водного баланса для сточных озер выглядит следующим образом:

$$X + У_{пр} + У_{гр} + К - У_{ст} - У_{ф} - Z = \pm\Delta V,$$

где X – осадки на зеркало; $У_{пр}$ – поверхностный приток в озеро; $У_{гр}$ – подземный приток в озеро; $К$ – конденсация водяных паров на водное зеркало; $У_{от}$ – поверхностный сток из озера; $У_{ф}$ – фильтрация (подземный сток); Z – испарение с зеркала озера; ΔV – изменение объема воды в озере за расчетный период. Для каждого бессточного озера это уравнение примет вид:

$$X + У_{пр} + У_{гр} + К - Z = \Delta V.$$

Из всех составляющих водного баланса непосредственно определяются осадки на зеркало, поверхностные приток и сток, испарение с площади зеркала. Остальные показатели включаются в невязку баланса.

Наиболее полная классификация озер по роли приходной и расходной частей водного баланса озер была разработана Б. Б. Богословским (рис. 4.1). При выделении подтипов озер атмосферные осадки на зеркало (X) и приток с бассейна ($Y_{пр}$) выражен в процентах от приходной части баланса, а испарение с зеркала (Z) и сток из озера ($Y_{ст}$) – от расходной части.

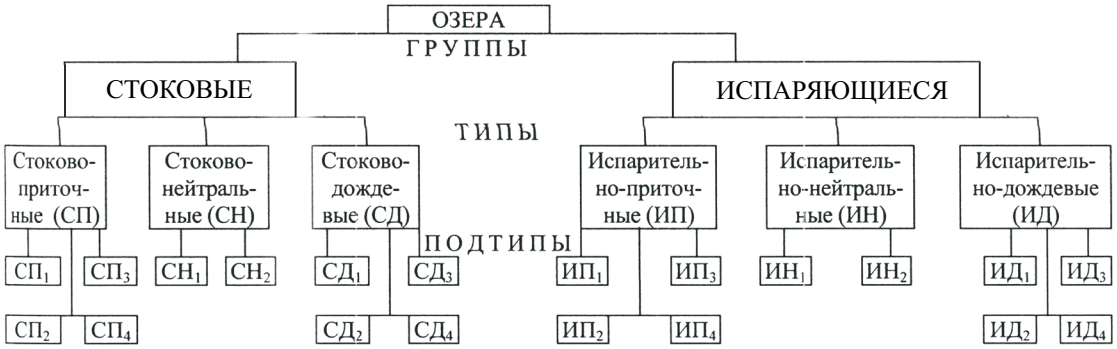


Рис 4.1. Схема классификации озер по водному балансу (по Б. Б. Богословскому)

Наиболее точно рассчитан водный баланс оз. Нарочь, а также некоторых водохранилищ (табл. 4.1). Расчет производился по формуле

$$\Sigma_{пр}-\Sigma_{р}=\Sigma A \pm H,$$

где $\Sigma_{пр}$ и $\Sigma_{р}$ – соответственно суммы приходных и расходных составляющих; H – невязка баланса (главным образом подземное питание).

Современное состояние гидрологической изученности водоемов позволило составить водный баланс для 4-х водоемов. В основу расчета составляющих водного баланса были положены материалы наблюдений сети станций и постов Департамента Гидрометеорологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды. Исходный материал был подвергнут анализу и там, где представлялось возможным, отсутствующие данные за отдельные месяцы были восполнены расчетным путем.

Главными компонентами водного баланса озер и водохранилищ являются: приток поверхностных вод с водосборной площади, осадки, выпадающие в жидком и твердом виде на зеркало водоема, поверхностный сток и испарение. Роль остальных слагаемых водного баланса значительно меньшая.

Водный баланс озер и водохранилищ составлен лишь по тем его компонентам, которые изучались. Такие составляющие водного баланса, как подземный приток или отток из водоема, односторонняя фильтрация из водохранилищ и подземная аккумуляция в грунтах, слагающих их берега и ложе, не учитывались. Все неучтенные компоненты отнесены к невязке баланса.

В связи с довольно устойчивым уровнем воды озер и очень небольшой сработкой водоемов в зимний период временные потери воды в осевшем на берегу ледяном покрове и поступление этой воды обратно в водоем за счет всплывшего льда при повышении уровня воды незначительны, а в отдельные годы совершенно отсутствуют. Поэтому в водном балансе водоемов эти слагаемые не нашли отражения.

Поступление воды с водосборной площади происходит через сеть постоянно и временно действующих водотоков, а также включает в себя склоновый сток с межустьевых пространств.

Общий приток со всего бассейна определялся суммированием расходов, учтенных на гидрометрических створах, и рассчитанного стока с неосвещенной измерениями части водосбора.

Наиболее освещен непосредственными измерениями сток с водосборной площади оз. Нарочь. Совершенно отсутствуют гидрометрические измерения притока в водохранилище Лукомское (р. Цитранка и впадающие ручьи), оз. Дривяты (реки Усвица, Дружнянка, Окуневка), оз. Нещердо (р. Нещерда). Поэтому приводимые по нему данные являются расчетными.

Осадки, выпадающие на поверхность водоема в жидком и твердом виде, при воднобалансовых расчетах приняты как среднее арифметическое по показаниям береговых станций и постов (рис. 4.2). В связи с тем что дождемерными приборами, приемная поверхность которых расположена на некоторой высоте над поверхностью земли, не полностью учитываются выпадающие атмосферные осадки, в показания осадкомеров вводятся поправочные коэффициенты.

Оценка поверхностного стока дана по материалам его учета на вытекающих из водоемов реках. Из-за отсутствия гидрометрических данных по стоку из оз. Дривяты (р. Друйка) и оз. Нещердо (р. Атлайская и ручьи) его величина была получена по методу аналогии и по карте модулей стока. Постом-аналогом послужила для оз. Дривяты р. Прорва (с. Дрисвяты).

Испарение с поверхности водоемов определено путем расчета по наиболее распространенным формулам, основанным на данных гидрометеорологических наблюдений.

Расчет аккумуляционной составляющей баланса, характеризующей изменение водной массы озера, выполнен по кривым зависимости объема озера от среднего уровня воды на первое число каждого месяца.

Средний уровень водоемов определен как среднее арифметическое из показаний водомерных постов, расположенных на берегу водоемов.

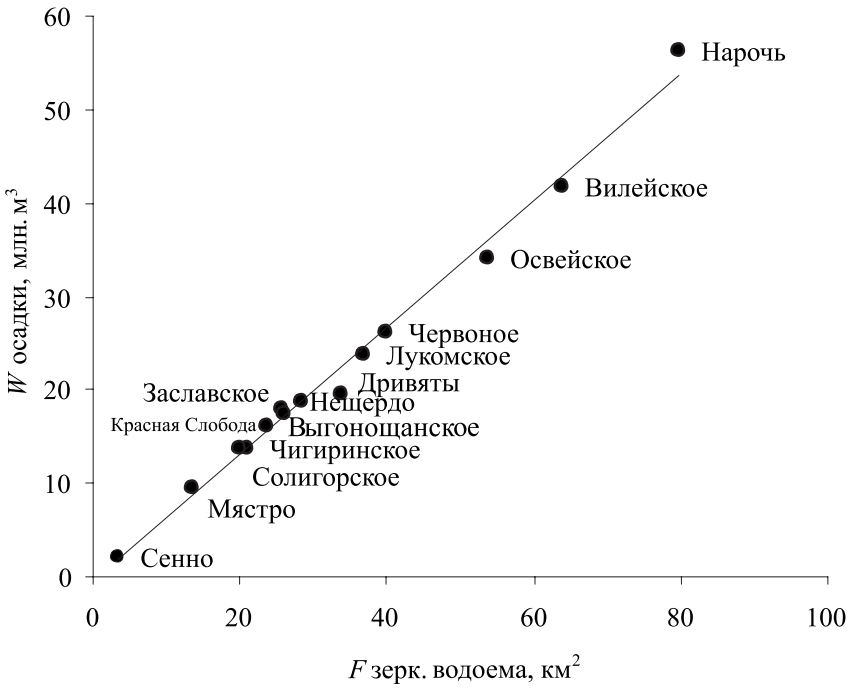


Рис. 4.2. График связи величины атмосферных осадков на водоем и его площади акватории

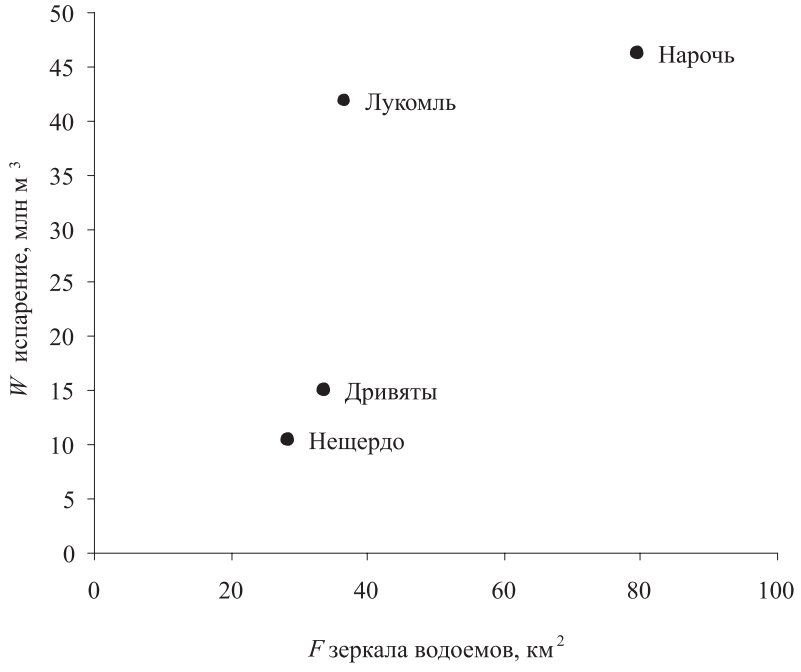


Рис. 4.3. График зависимости величины испарения с зеркала озер от их площади

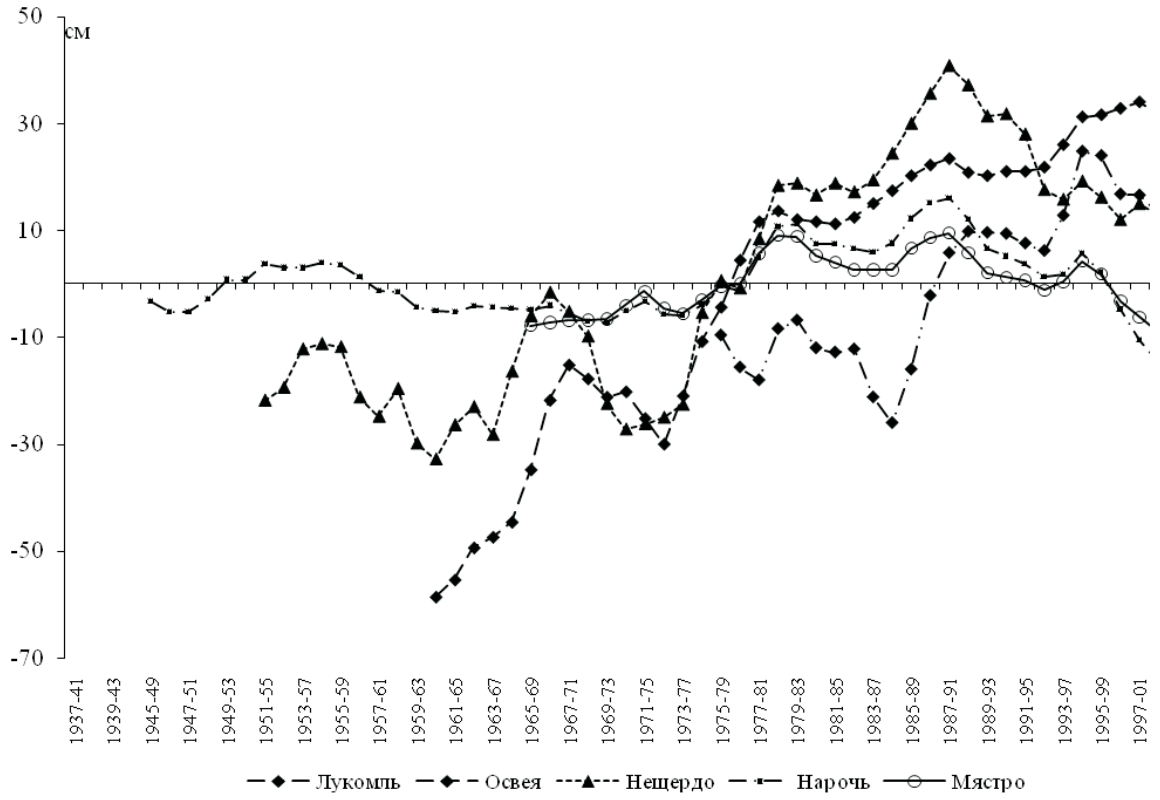


Рис. 4.4. Величина стока из озер Беларуси

Анализ водного баланса показал, что соотношение между отдельными компонентами различно для водоемов. С увеличением проточности водоема, т. е. с уменьшением коэффициента удельной водообменности, определяющими в балансе становятся поверхностный приток и сток, а при больших значениях возрастает удельный вес испарения и осадков по сравнению с водосбором.

Осадки на зеркало водоемов по величине различаются незначительно, однако доля в питании водоемов неодинакова. Наибольшее значение осадки имеют для водоемов Нарочь и Лукомское – 59 и 58 % от приходной части (следует отметить, что коэффициент удельной водообменности равен 0,29 и 0,17 соответственно), несколько меньше доля осадков в балансе оз. Нещердо – 48 % (коэффициент удельной водообменности 0,17), а на озере Дривяты, где коэффициент удельной водообменности равен 0,07, доля осадков составляет 20 % от приходной части (рис. 4.3).

Доля притока в питании оз. Дривяты равна 80 %, на водохранилище Лукомском и оз. Нарочь – 41–42 %, несколько выше на оз. Нещердо – 52 %.

В расходной части водного баланса испарение играет главную роль для водохранилища Лукомское, вследствие теплового загрязнения водоема температура воды значительно выше по сравнению с другими водоема-

ми, соответственно испарение с водной поверхности очень высокое. На остальных водоемах значение испарения значительно меньше: Нарочь – 43 %, Нещердо – 23 % Дривяты – 12 %.

Доля стока в балансе оз. Дривяты также велика и равна 80 %, оз. Нещердо – 77 %, оз. Нарочь – 52%. Сток из водохранилища Лукомское отсутствует (рис. 4.4)

Водный баланс оз. Лукомское. Основными источниками поступления воды в озеро служат небольшие речки, а также осадки на водную поверхность. По данным расчетов (1945–2002), на водную поверхность выпадает 60 % атмосферных осадков от приходной части водного баланса, а за счет притока – 40 %. Сооружение дамбы на р. Лукомка и повышение температуры воды в озере за счет теплового загрязнения изменило направление расходной части водного баланса в пользу величины испарения. Максимум испарения приходится на летние месяцы (июнь – сентябрь) (рис. 4.5).

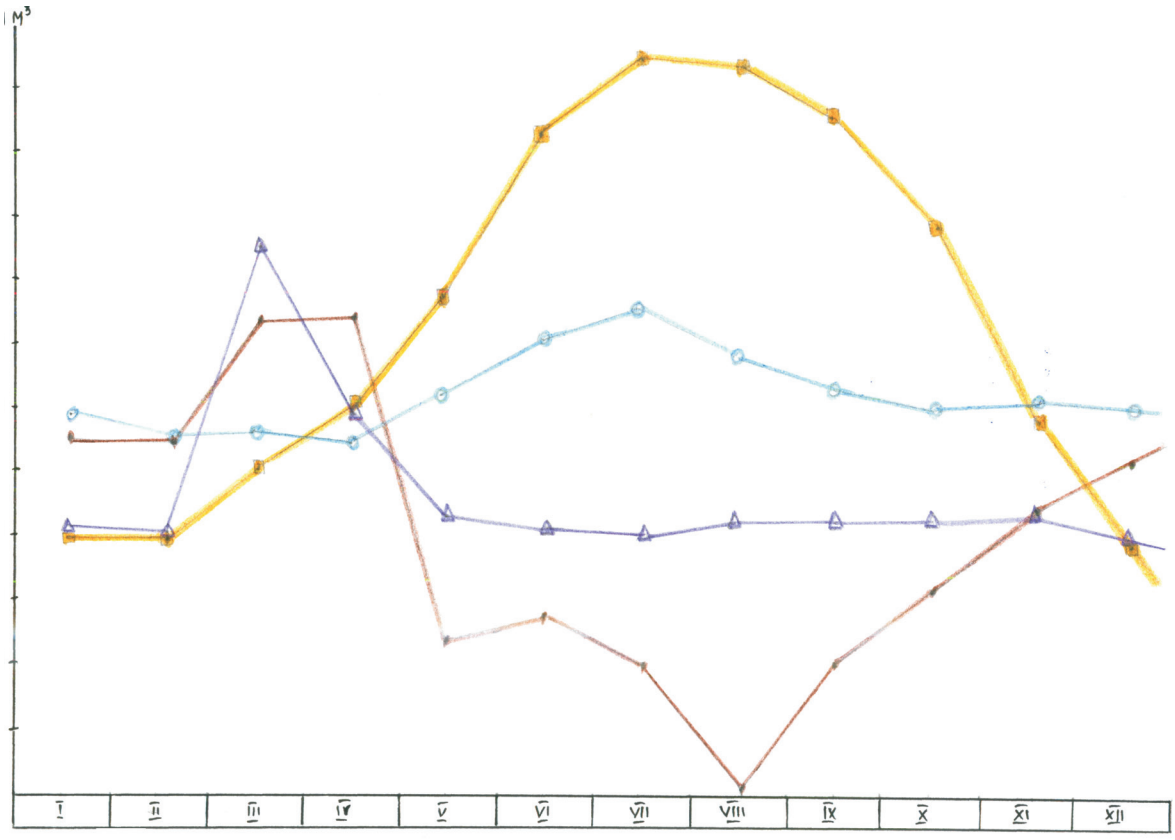


Рис. 4.5. График хода элементов водного баланса оз. Лукомского. Условные обозначения: *1* – атмосферные осадки; *2* – приток с водосбора; *3* – испарение с водной поверхности; *4* – аккумуляция в озере

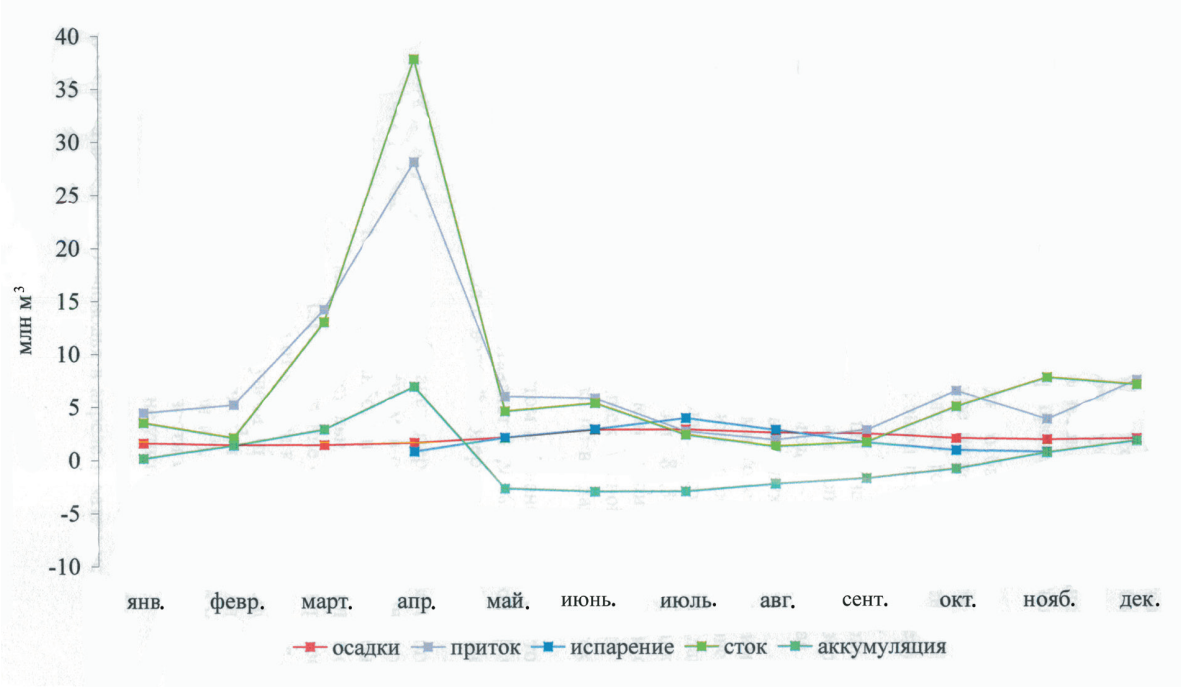


Рис. 4.6. Динамика составляющих водного баланса оз. Дривяты за многолетний период (1957–2002 гг.)

Оз. Дривяты. Расчеты водного баланса проточных озер, находящихся в естественном состояни, свидетельствуют о существенной роли величины стока с водосбора и незначительной роли величины испарения с поверхности (рис. 4.6). В приходной части водного баланса определяющую роль играет поверхностный приток по рекам Дружнянка, Окуневка, Усвица, протоке Рака и впадающим ручьям, который составляет 78,8 % от приходной части, или 89,39 млн м^3. Осадки на водную поверхность составляют 21,2 %, или 24,08 млн м^3. Главным расходным компонентом в водном балансе является сток из озера, осуществляемом по р. Друйка, и составляет 85,9 % расходной части, или 91,01 млн м^3.

Анализ структуры водного баланса оз. Дривяты за многолетний период показал изменения месячных объемов осадков в течение года отличаются незначительными колебаниями. Наибольшее количество осадков выпадает с мая по октябрь (1,92–2,8 млн м^3), в остальные месяцы годовые объемы изменяются в пределах 1,4–1,9 млн м^3. Испарение с водной поверхности озера также характеризуется плавным ходом от месяца к месяцу. Начиная с апреля испарение с водной поверхности заметно увеличивается по сравнению с зимними месяцами и в апреле составляет 0,81 млн м^3, постепенно увеличивается, достигая наибольших значений в июле (3,39 млн м^3), а затем плавно уменьшается к ноябрю (0,65 млн м^3).

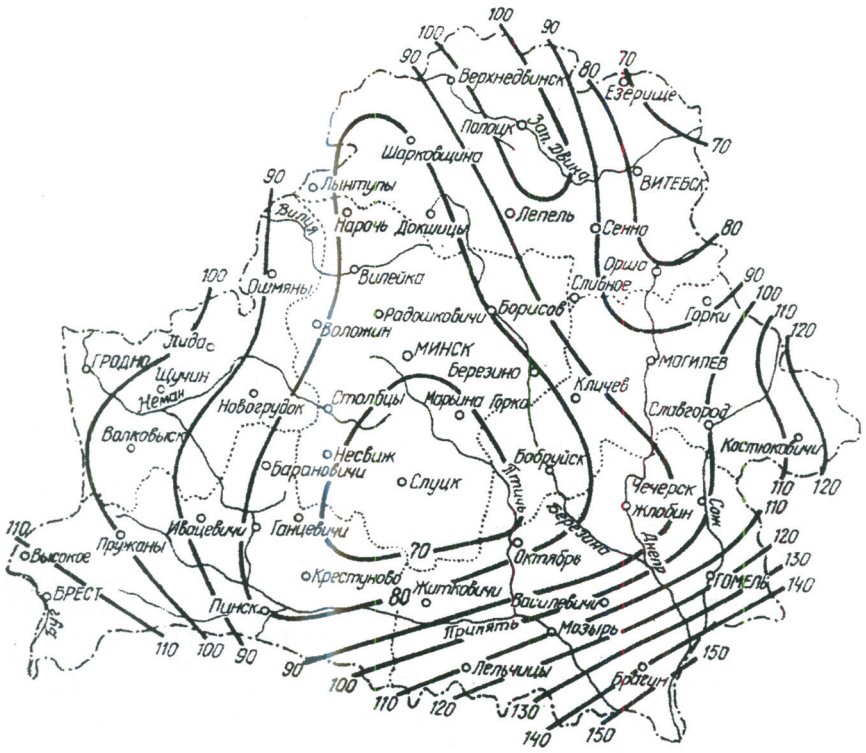


Рис. 4.7. Нормы дополнительной величины испарения (мм) с поверхности прудов и водохранилищ Беларуси

В практике расчетов водного баланса для определения величины испарения с водной поверхности рекомендуется использовать картосхему дополнительной величины испарения (мм) с поверхности искусственных водоемов (рис. 4.7).

Таблица 4.1

Водный баланс крупнейших озер Беларуси (%)

Составляющие водного баланса	Оз. Нарочь, 1945–2002 гг.	Оз. Дривяты, 1970–1999 гг.	Лукомское, 1975–2002 гг.	Оз. Нещердо, 1972–2002 гг.
Приход				
Осадки	58	20	59	48
Поверхностный приток	42	80	41	52
Расход				
Испарение	43	12	90	20
Сток из озера	52	81	0	78
Невязка баланса	5	7	10	2

Оз. Нарочь. Водный баланс самого крупного озера Беларуси рассчитан за многолетний период (1945–2002 гг.). По сравнению с другими озерами в водном балансе оз. Нарочь большую роль играет его площадь, определяющая величину испарения с поверхности водоема и осадки на его зеркало (табл. 4.1). Соотношение между отдельными компонентами водного баланса для исследованных водоемов различна. С увеличением проточности, т. е. коэффициента удельной водообменности, определяющими составляющими в балансе становятся поверхностный приток и сток из озер, а при больших значениях площади возрастает удельный вес испарения и осадков. В расходной части баланса с увеличением коэффициента удельной водообменности увеличивается значение величины испарения.

Данные наблюдений за уровнем грунтовых вод по наблюдательным скважинам указывают на наличие подземного потока с уклоном в сторону оз. Нарочь. Многочисленные выходы ключей по его берегам свидетельствуют о значительном питании озера подземными водами. На наличие подземного питания указывает систематическая односторонняя невязка баланса, которая для всех месяцев расчетного периода имеет отрицательный знак. Годовая величина ее колеблется в небольших пределах, составляя в среднем 5 % от уравненного баланса. Поэтому, несмотря на погрешности расчетов, невязка баланса включает в себя и неучтенный приток подземных вод.

4.2. Уровневый режим

Колебания уровня воды в озерах, как известно, определяются соотношением приходных и расходных статей водного баланса – осадков, испарения, стока, объем которых зависит от площади зеркала водоемов. В отличие от рек, уровень которых весьма быстро реагирует на изменение климатических условий, озера обладают значительной гидрологической инерцией. В то время как уровень воды в реках зависит, прежде всего, от притока воды в их русла в данный момент, уровень воды в озерах определяется не только приходно-расходным балансом данного года, но на нем отражаются климатические условия предшествующего сезона. Чем больше крутизна берегов и размер котловины озера по сравнению с объемом притока воды, тем выше его регулирующая способность. Влажным и холодным климатическим периодам соответствуют высокое стояние уровня и разливы озер и, наоборот, засушливым, маловодным и жарким – падение уровня и сокращение площади зеркала.

Водный режим озер и впадающих в них рек представляет собой единую саморегулирующуюся систему. Поэтому многолетний ход уровня в озерах вызывает большой научный интерес и имеет важное гидроклиматическое значение, поскольку в нем отражаются естественные и возможные антропогенные изменения климата и водоносности рек.

Водный режим водоемов тесно связан с общими климатическими изменениями и местными особенностями развития каждого отдельного водоема в совокупности с геоморфологическими особенностями его расположения.

Анализ хронологических графиков колебаний уровня воды в водоемах показывает, что им свойственны чередования фаз повышенной и пониженной водности, т. е. колебания носят цикличный характер. При этом наблюдается сложная картина наложения циклов различной продолжительности. Однако очевидны определенные закономерности, свойственные различным водоемам, расположенным в различных физико-географических условиях.

По данным расчетов и спектрально-временного анализа уровневого режима (В. Ф. Логинов, В. Ф. Иконников, 2003), картина колебания уровня озер достаточно сложная и она меняется от сезона к сезону и по месяцам (табл. 4.2). Практически на всех СВАН-диаграммах, кроме озер Освея, Червоное и Выгонощанское, присутствуют циклы 2–2,5, 4 и 7 лет, а в некоторых случаях и большее количество преобладающих циклов. На многих диаграммах присутствуют циклы 17 и 9–12,5 лет. Современный анализ СВАН-диаграмм и временных распределений параметров «хаотизации» показал, что устойчивость циклов в колебаниях уровня воды озер наблюдается для озер Освея, Выгонощанское и Нещердо.

Таблица 4.2

Цикличность временных рядов уровневого режима озер (СВАН-анализ)

Озеро	Периоды, (год)
Нарочь	2,27; 3,57; 4,54; 9–10; 16,6; 25,0
Дривяты	2,63; 6,25; 4–7; 10; 16,0
Нещердо	4,16; 7,0; 16,6
Выгонощанское	8,33; 12,5; 16,6
Езерище	2,0; 2,5; 4,16; 4,54; 6,25; 12,5
Червоное	10,0; 16,6; 25,0
Освея	10,0, 20,04; 25,0

Анализ графиков колебаний уровней воды по скользящим пятилеткам позволил разделить озера на две группы (табл. 4.3). Первоначальным критерием для разделения озера на группы послужил показатель удельной водообменности. К группе с высоким показателем отношения площади зеркала и площади водосбора относятся озера Лукомское, Нещердо, Освейское, Нарочь, Мястро (К = 0,107–0,285). Малым показателем удельной водообменности отличается оз. Сенно (0,039). Для северной части территории Беларуси характерны озера с высоким показателем коэффициента (исключая оз. Сенно), для южной – с низким.

Географические закономерности влияют на характер колебаний уровней воды в водоемах, поскольку водообмен озер во многом зависит от увлажненности бассейнов. Проведенные исследования и расчеты показали зависимость продолжительности циклов колебаний уровня воды от показателя удельного водообмена.

Таблица 4.3

Периоды повышенной и пониженной водности озер

Водоем	Удельная водообменность	Периоды понижения водности		Периоды повышения водности	
		по скользящим пятилеткам	по годам	по скользящим пятилеткам	по годам
вдхр. Лукомское	0,17	1975–1986	1975–1988	1987–2002	1989–2002
оз. Нещердо	0,17	1951–1975	1951–1976	1976–2002	1977–2002
оз. Освейское	0,21	1960–1975	1960–1977	1976–2002	1978–2002
оз.Нарочь	0,29	1945–1976, 1999–2002	1945–1977, 1999–2002	1977–1999	1978–1998
оз. Мястро	0,11	1965–1975, 1996–2002	1962–1974, 1976, 1984, 1992, 1996–2002	1976–1995	1975–1999
оз. Червное	0,09	1966–1974, 1980–1986, 1994–1994	1966–1974, 1983–1988, 1992, 1996	1975–1980, 1987–1991, 1995–2002	1960–1963, 1975–1982, 1983–2000
оз. Дривяты	0,07	1957–1984	1960, 1962, 1974, 1984	1985–2002	1985–2002

Для группы водоемов с высоким показателем удельной водообменности уровни находятся в фазе повышенной водности, которая отмечается с 1975–1977 гг., исключая Лукомское озеро-водохранилище, режим которого искажается заборами воды ГРЭС, и продолжается до настоящего времени. Исключение составляют озера Нарочь и Мястро, для которых характерно значительное понижение уровня воды начиная с 1999 г.

Аналогичная закономерность характерна и для водоемов с малым показателем удельной водообменности, однако циклы отличаются по формированию и продолжительности (оз. Сенно).

Несмотря на сложную зависимость составляющих водного баланса, в формировании уровневого режима большое значение имеют атмосферные осадки. Для озер Поозерья и Полесья характерна тенденция сопряженного изменения величины осадков и положения уровня воды (рис. 4.8, 4.9). Данную тенденцию нарушает зарегулированность озер.

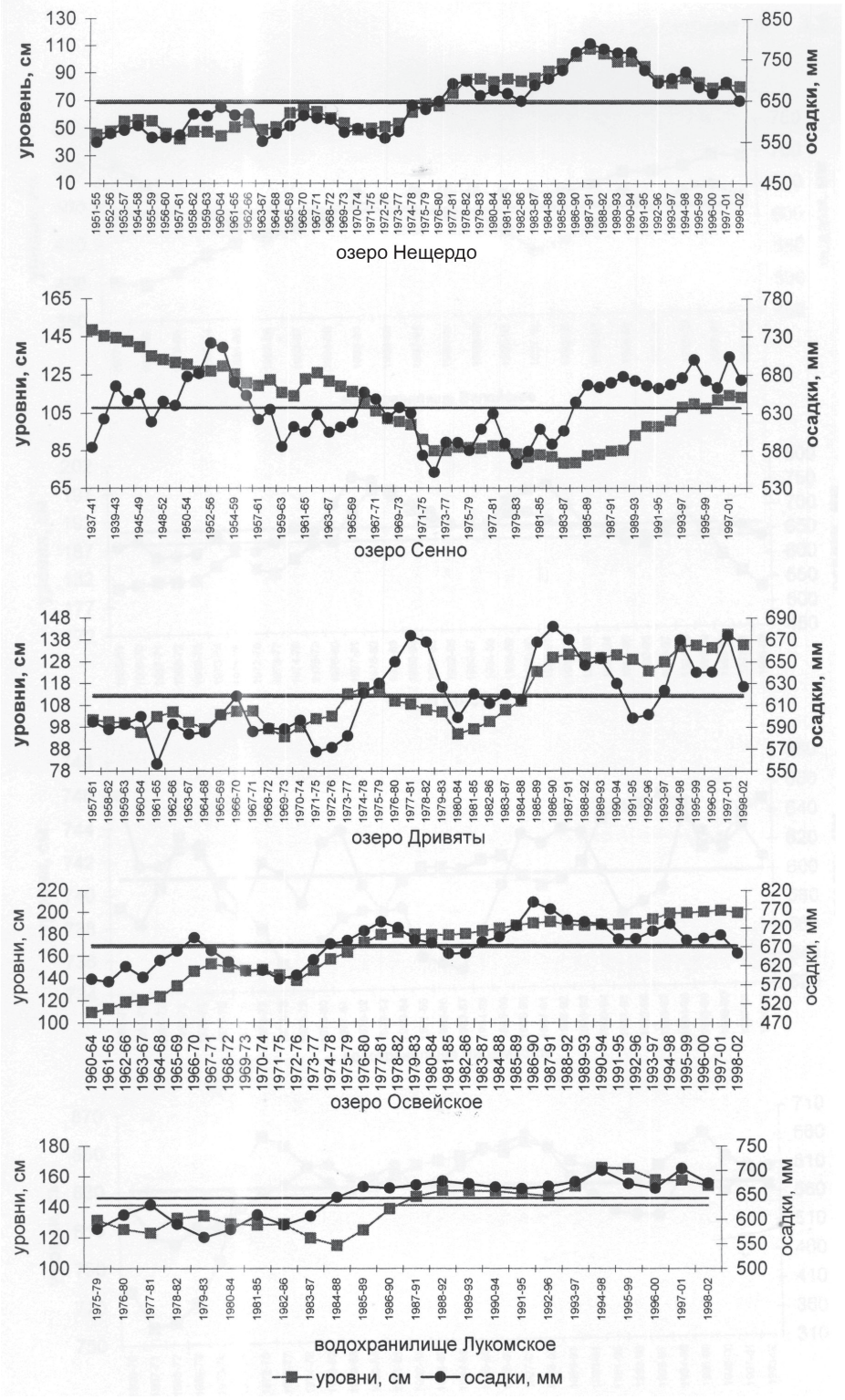


Рис. 4.8. Изменение средних годовых уровней воды озер Белорусского Поозерья и годовых сумм осадков по скользящим пятилеткам

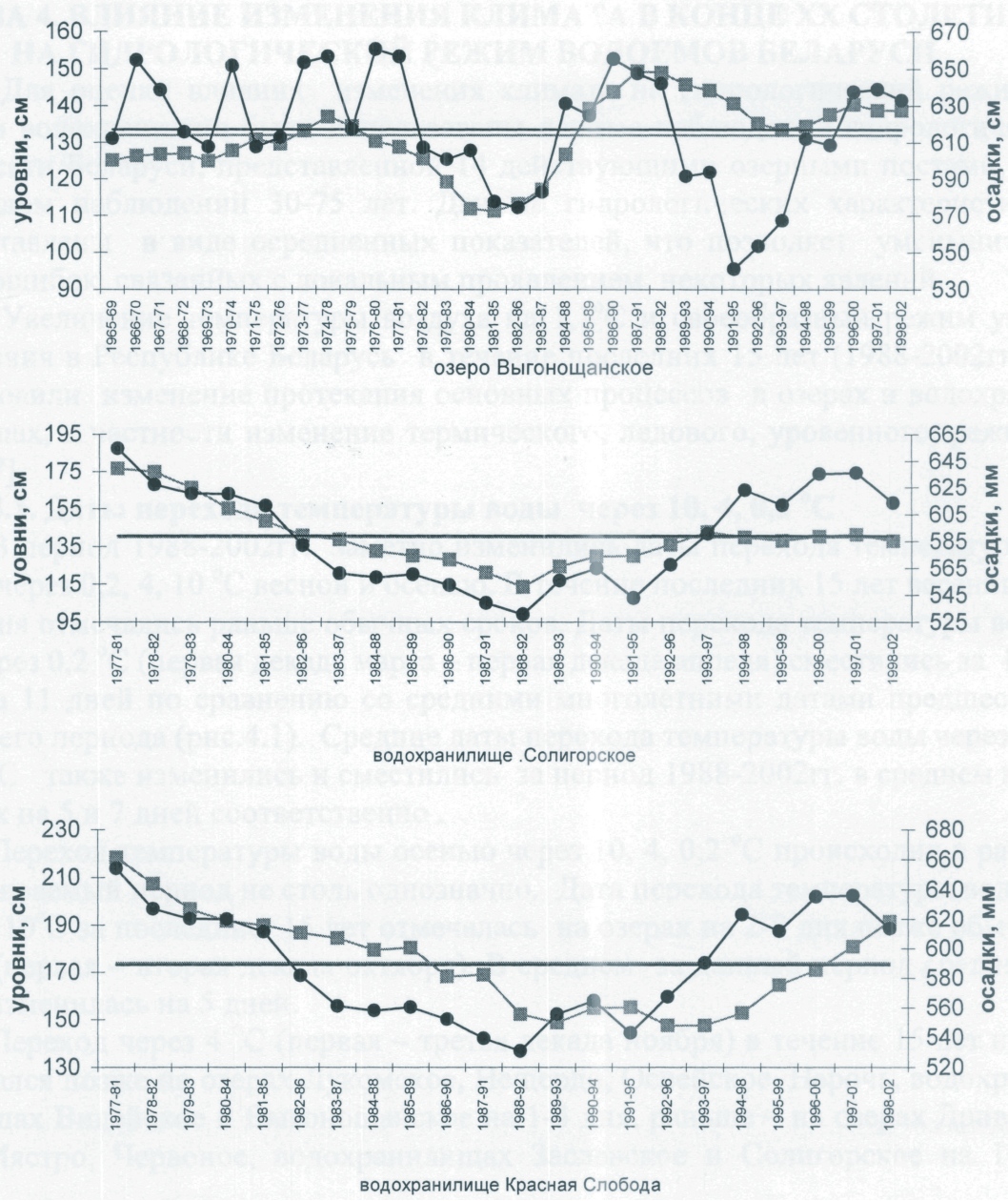


Рис. 4.9. Изменение средних годовых уровней воды озер Белорусского Полесья и годовых сумм осадков по скользящим пятилеткам

До начала периода потепления (до 1988 г.) на водоемах отмечалась повышенная водность. Особенность периода потепления на уровневом режиме отразилась через режим увлажнения и увеличение испарения с водной поверхности в период открытого водоема. Примером увеличения испарения с водной поверхности в результате наблюдаемой повышенной температуры воздуха и воды является оз. Нарочь, для которого был рас-

считан водный баланс за многолетний период и 2002 г., когда наблюдался самый низкий уровень воды в озере за весь период инструментальных наблюдений. Резкое увеличение испарения с водной поверхности явилось одной из причин резкого понижения уровня воды в летне-осенний период.

В целом за рассматриваемый период (15 лет) сумма осадков находилась в пределах нормы для республики (99 % от средней многолетней величины). В рассматриваемый период с 1988 по 2002 г. преобладали годы с недобором осадков (исключая 1989, 1990, 1994 и 1998 гг.). Повышенная водность сохранялась и к началу XXI в., кроме Нарочи и Мястро. Однако, начиная с 1999 г., на всех водоемах отмечено понижение уровня воды. Таким образом, в соответствии с удельным водообменом и динамикой климатических параметров происходит формирование циклов повышенной и пониженной водности, различных по продолжительности.

Конечно, структура рядов среднегодового уровня озер во многом отличается от рядов речного стока, осадков и других гидрометеорологических элементов. Основной причиной, вызывающей эти различия, служит замедленный водообмен озер, уменьшение которого приводит к возрастанию инерционности в колебаниях уровня воды. В связи с этим отмечаются устойчивые тренды в изменении уровня воды озер в многолетнем разрезе (рис. 4.10).

Анализ также показал зависимость продолжительности циклов колебания уровня воды от показателя площади.

Для группы водоемов с высоким показателем площади уровни воды находятся в фазе повышенной водности, которая отмечается с 1975–1977 гг. (кроме Лукомского, режим которого искажается работой ГРЭС) и продолжается до настоящего времени (кроме озер Нарочь, Мястро, для которых характерно значительное понижение уровня воды начиная с 1999 г.).

Аналогичная закономерность прослеживается и на водоемах с малым показателем площади, однако циклы существенно отличаются по формированию и продолжительности. Возможно, для полного обобщения не достаточно материалов наблюдений, но нельзя не заметить определенную тенденцию. Как уже упоминалось выше, к группе с малым показателем площади относятся Сенно, Чигиринское, Солигорское, Красная Слобода. Для этой группы озер (кроме оз. Сенно) характерно начало фазы повышенной водности с 1977–1980 гг., которая продолжалась по 1985–1986 гг., затем наблюдалось понижение уровня воды до 1993–1994 гг. С начала 1990-х гг. отмечается фаза повышенной водности, которая продолжается до настоящего времени (повышение характерно для всех водоемов республики).

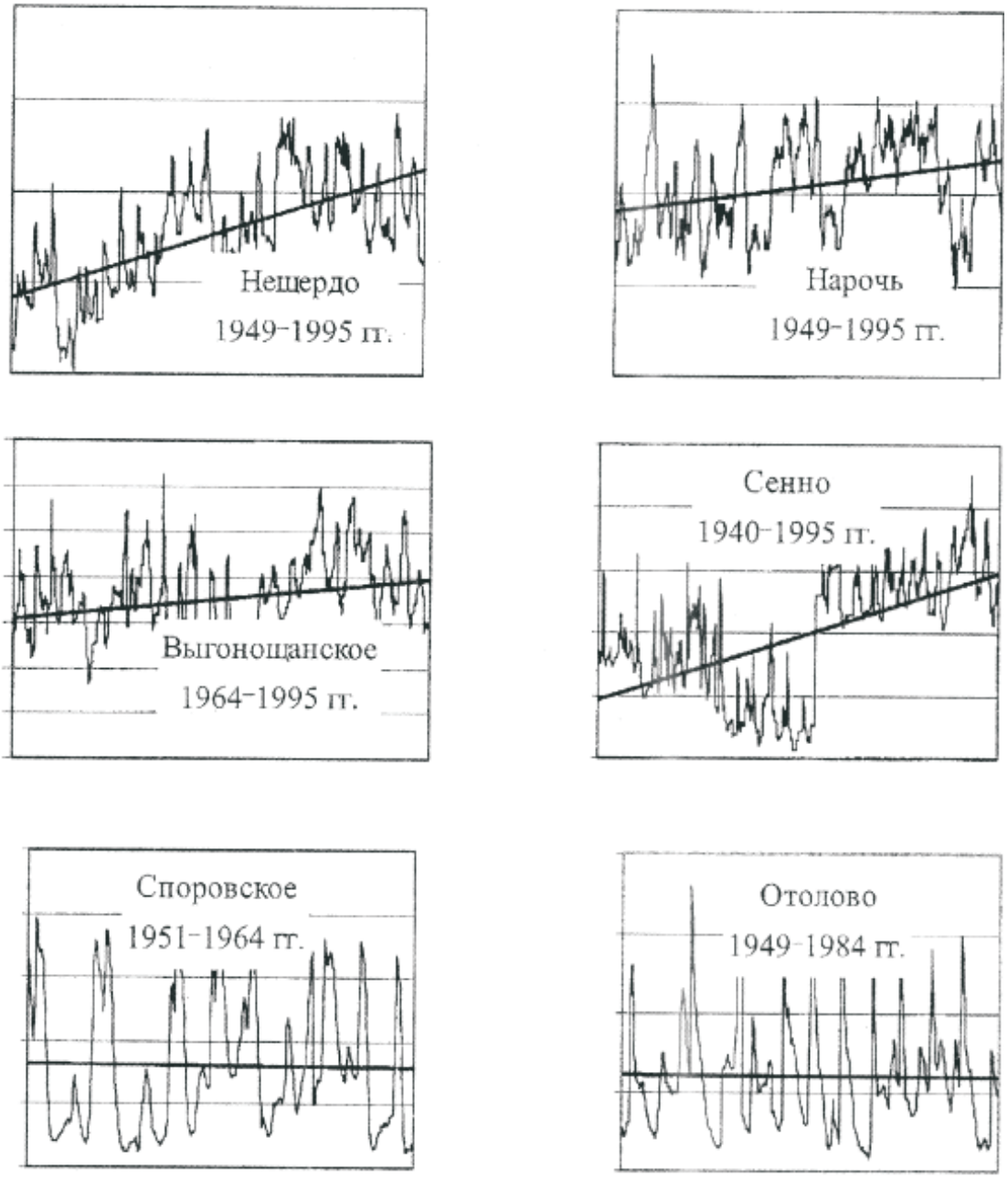


Рис. 4.10. Многолетняя динамика и тренды
изменения уровня разнотипных озер

Независимо от морфометрических показателей все водоемы в настоящее время характеризуются повышенной водностью. Условия формирования водного баланса и водообмена водоемов определяются их морфометрическими показателями. Изменение водообмена озер зависит от климатических условий, которые определяют главные компоненты водного баланса – приток-сток водоемов, осадки и испарение с

водной поверхности. Внешним выражением водного баланса является положение уровня воды в водоеме. В зависимости от соотношения площади зеркала водоема к площади его водосбора и в соответствии с динамикой климатических параметров происходит формирование циклов пониженной и повышенной водности различной продолжительности. Проведенные расчеты имеют прикладное значение, представленный материал может быть использован при составлении водохозяйственного баланса.

Для оценки уровневого режима озер показательным является степень его устойчивости. Понятие устойчивости уровневого режима водоемов тесно связано с амплитудой его колебания, интенсивностью их водообмена в различные гидрологические сезоны (рис. 4.11).

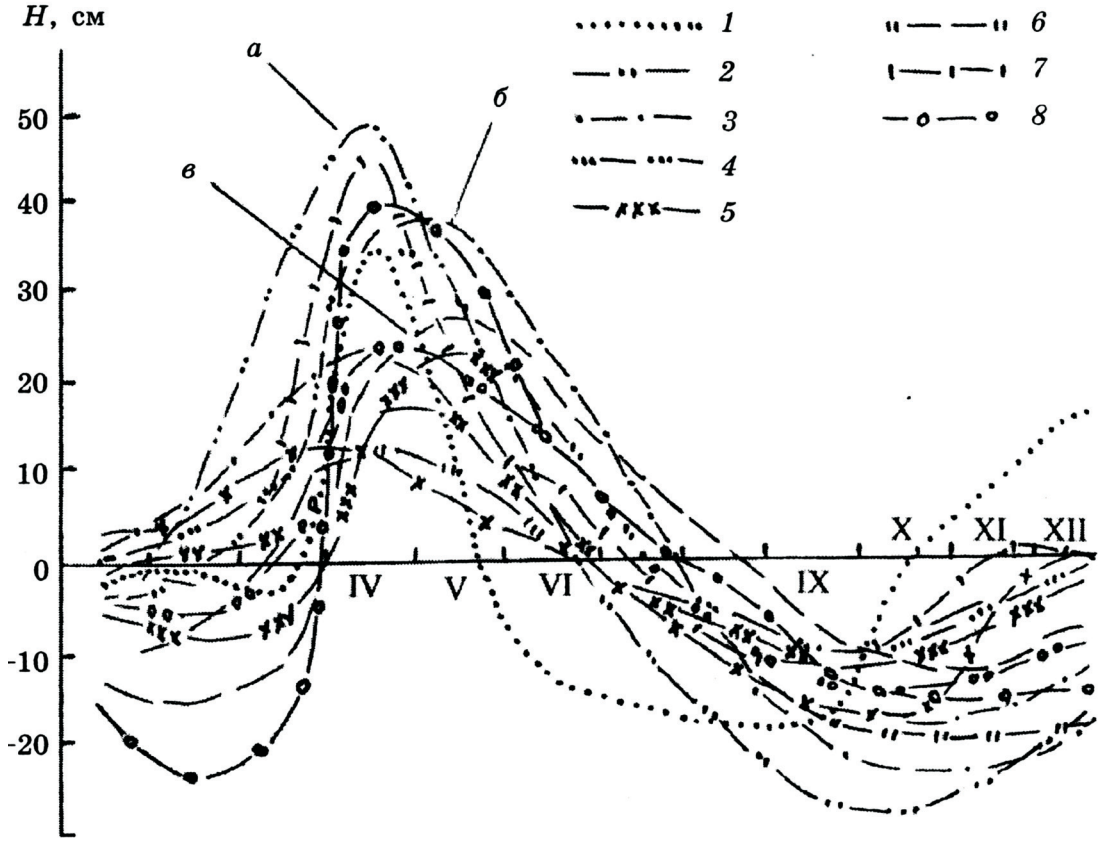


Рис. 4.11. Типы колебания уровней воды озер Поозерья: *а* – устойчивый, *б* – среднеустойчивый, *в* – неустойчивый; *1* – Езерище, *2* – Черствяты, *3* – Черейское, *4* – Стречно, *5* – Сорро, *6* – Сенно, *7* – Отолово, *8* – Мядель

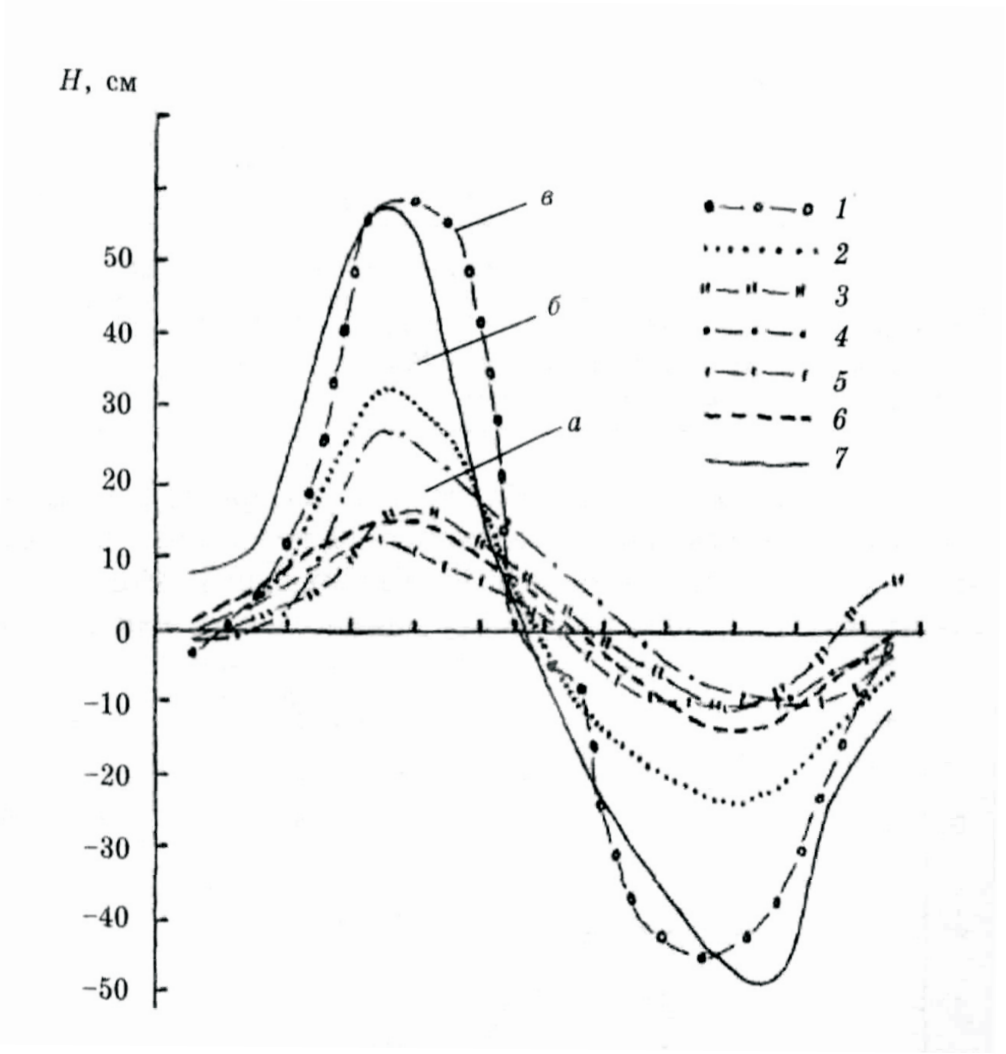


Рис. 4.12. Типы колебания уровней воды озер Полесья:
а – устойчивый, *б* – среднеустойчивый, *в* – неустойчивый;
1 – Мотольское, *2* – Споровское, *3* – Червонное,
4 – Черное, *5* – Выгонощанское, *6* – Белое, *7* – Островское

Весенние воды медленно поступают с низменных заболоченных и лесистых водосборов в озера. Наличие возвышенностей в Поозерье проявляется в более быстром формировании весеннего половодья, сказывается на его величине и продолжительности. На характер уровневого режима независимо от географического положения влияет связь озера с речными и озерными системами, которые характерны для поозерий. При этом основное значение имеет гипсометрическое положение отдельных озер в озерной группе, которое через морфологию озерной котловины влияет на уровневый режим.

По характеру уровневого режима выделяется группа озер с устойчивым ($\Delta F<10$), среднеустойчивым ($10<\Delta F<20$) и неустойчивым уровневым режимом. При выделении подтипов озер рассматривался ряд статистических показателей (табл. 4.4). Термин устойчивости был введен К. Д. Литинской для озер Карелии.

Таблица 4.4

Типы озер Беларуси по режиму уровней

Тип (подтип) озера	Типологические характеристики (см)				
	Средняя многолетняя амплитуда, A	Среднемесячная величина отклонений, ±Δh	Среднемесячная абсолютная величина отклонений, |Δh|	Наименьшее среднемесячное отклонение Δhmin	Наибольшее среднемесячное отклонение Δhmax
1. Озера с высоким весенним половодьем и летней (осенне-зимней) меженью. Северная (Поозерская) группа озер					
1.1. С устойчивым режимом уровней					
1.1а. С низким растянутым весенним половодьем и высокой осенне-зимней меженью (подтип оз. Нарочь)	15–20	0,00–(–0,25)	5–10	–8	+10
1.1б. С растянутым весенним половодьем и осенне-зимней меженью (подтип оз. Нещердо)	20–40	0,00–0,50	5–10	–14	+24
1.1в. С весенним половодьем и осенне-зимней меженью (подтип оз. Черейское)	30–60	0,00–(–1,00)	5–20	–24	+37

Продолжение табл. 4.4

Тип (подтип) озера	Типологические характеристики (см)				
	Средняя многолетняя амплитуда, A	Среднемесячная величина отклонений, ±Δh	Среднемесячная абсолютная величина отклонений, |Δh|	Наименьшее среднемесячное отклонение Δhmin	Наибольшее среднемесячное отклонение Δhmax
1. Озера с высоким весенним половодьем и летней (осенне-зимней) меженью. Северная (Поозерская) группа озер					
1.2. Со среднеустойчивым режимом уровней					
1.2а. С высоким весенним половодьем и низкой осенней меженью (подтип оз. Черствяты)	40–80	0,00–(–0,25)	5–15	–28	+48
1.2б. С высоким весенним половодьем, осенним паводком, летней и зимней меженью (подтип оз. Езерище)	50–55	0,00–0,10	10–15	–18	+35
1.3. С неустойчивым режимом уровней					
1.3а. С четко выраженным высоким весенним половодьем и летне-осенней меженью (подтип оз. Сенно)	50–60	0,00–6,00	10–15	–19	+45

Продолжение табл. 4.4

Тип (подтип) озера	Типологические характеристики (см)				
	Средняя многолетняя амплитуда, A	Среднемесячная величина отклонений, ±Δh	Среднемесячная абсолютная величина отклонений, |Δh|	Наименьшее среднемесячное отклонение Δhmin	Наибольшее среднемесячное отклонение Δhmax
1. Озера с высоким весенним половодьем и летней (осенне-зимней) меженью. Северная (Поозерская) группа озер					
1.3б. С четко выраженным высоким весенним половодьем и осенне-зимней меженью (подтип оз. Отолово)	Около 60	0,00–(–1,67)	Около 15	–24	+39
2. Озера с низким весенним половодьем и низкой меженью. Озера центральной части Белоруссии					
2.1. С устойчивым режимом уровня					
2.1а. С низким растянутым весенним половодьем и низкой осенней меженью (подтип оз. Свитязь)	Около 15	0,00–1,00	Около 5	–8	+7

Продолжение табл. 4.4

Тип (подтип) озера	Типологические характеристики (см)				
	Средняя многолетняя амплитуда, A	Среднемесячная величина отклонений, ±Δh	Среднемесячная абсолютная величина отклонений, | Δh |	Наименьшее среднемесячное отклонение Δhmin	Наибольшее среднемесячное отклонение Δhmax
3. Озера с низким весенним половодьем и низкой меженью. Южная (полесская) группа озер					
3.1. С устойчивым режимом уровней					
3.1а. С низким растянутым весенним половодьем и высокой осенней меженью (подтип оз. Выгонощанское)	20–30	0,00–2,00	5–7,5	–13	+15
3.2. Со среднеустойчивым режимом уровней					
3.2а. С растянутым весенним половодьем и осенней меженью (подтип оз. Червоное)	30–50	Около 3,00	7,5–9,0	–11	+27

Окончание табл. 4.4

Тип (подтип) озера	Типологические характеристики, см				
	Средняя многолетняя амплитуда, A	Среднемесячная величина отклонений, ±Δh	Среднемесячная абсолютная величина отклонений, |Δh|	Наименьшее среднемесячное отклонение Δhmin	Наибольшее среднемесячное отклонение Δhmax
3.2б. С четко выраженным весенним половодьем и осенней меженью (подтип оз. Черное)	50–60	0,00	10–15	–23	+32
3.3. С неустойчивым режимом уровней					
3.3а. С четко выраженным высоким половодьем и низкой осенней меженью (подтип оз. Споровское)	Около 100	0,00	25–40	–40	+58

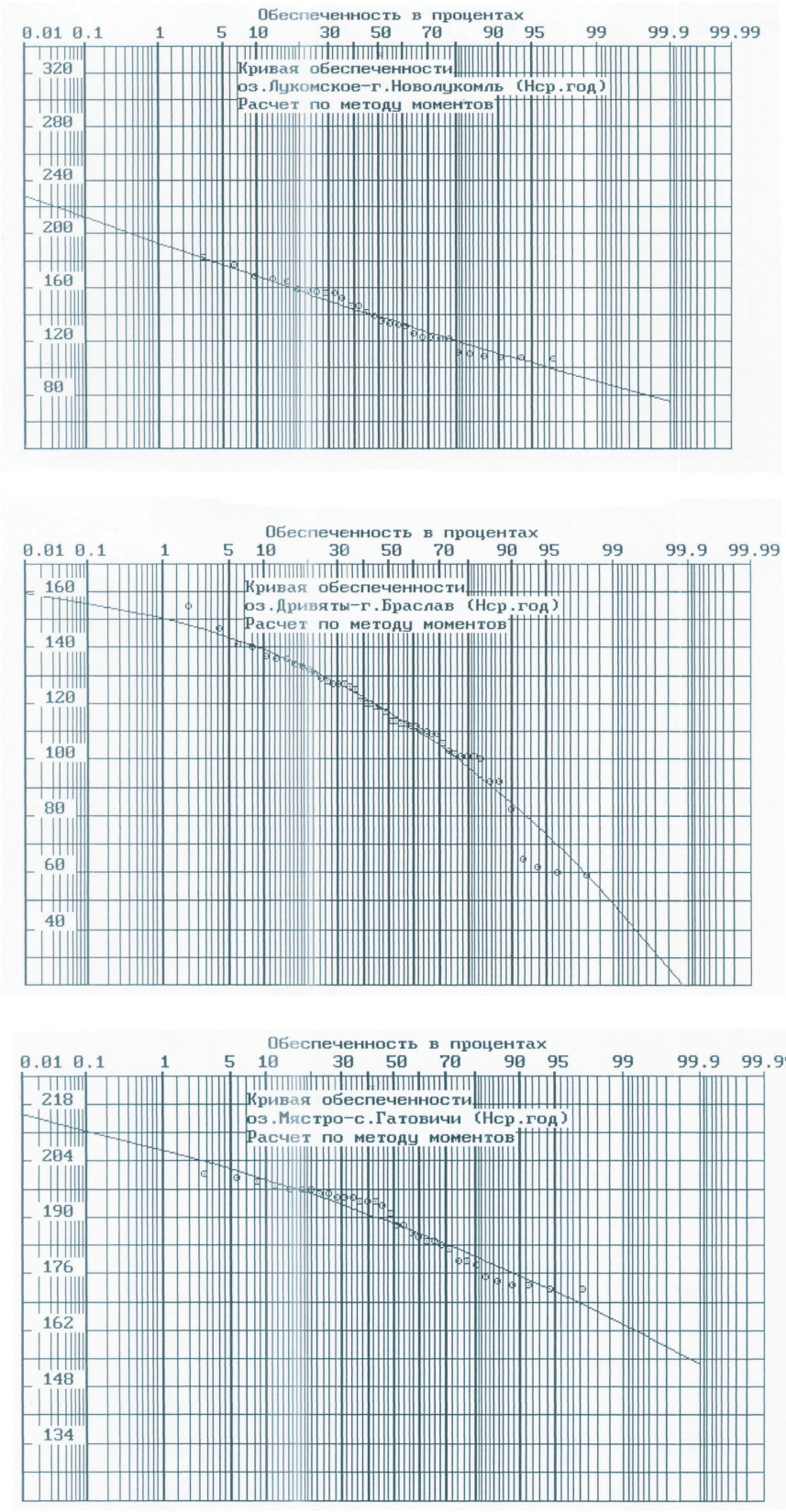


Рис. 4.13. Типы кривых обеспеченности уровней разнотипных озер

Учитывая региональные особенности территории Беларуси, можно выделить три типологические группы озер: озера с высоким весенним половодьем и летней (осенне-зимней) меженью (северная (Поозерская) группа озер); озера с низким весенним половодьем и низкой меженью (озера центральной части Беларуси) и озера с низким весенним половодьем и низкой меженью (южная полесская группа).

Озера Белорусского Поозерья характеризуются высоким весенним половодьем и в зависимости от природных условий водосбора летней, осенней или осенне-зимней меженью. Амплитуда колебания уровней здесь выше средней по республике. Интенсивность изменений уровня составляет более 10 см в месяц. Разнообразие природных условий предопределяет наличие разных типов уровневого режима озер.

К озерам с устойчивым уровневым режимом относятся озера с удельным водосбором менее 10. Средняя многолетняя амплитуда колебания уровней у них изменяется от 18 см (Нарочь) до 61 см (Лосвидо). В эту группу входят озера с разнопорядковыми различиями их площади и водосборов, но экстремальные значения уровней у них находятся в одних пределах. В весеннее половодье уровень озер поднимается на 10–25 см выше, а в меженный период падает на 10–20 см ниже среднего многолетнего. В пределах данного типа выделяются три подтипа: Нарочь (1а), Нещердо (1б) и Черейское (1в).

В группе озер со среднеустойчивым уровневым режимом – два подтипа: Черствяты (2а) и Езерище (2б). В период половодья уровень поднимается на 30–50 см выше, а в межень падает на 15–30 см ниже среднего многолетнего.

Средняя многолетняя амплитуда колебания уровней озер с неустойчивым уровневым режимом изменяется от 50 до 65 см. В половодье уровень поднимается на 35–45 см выше, а в межень падает на 10–25 см ниже среднего многолетнего. В типе выделяются два подтипа озер: Сенно (3а) и Отолово (3б).

В центральной части республики единственным достаточно исследованным озером является оз. Свитязь. Оно отличается низким растянутым половодьем и низкой осенней меженью и относится к озерам с устойчивым режимом уровней.

Озера Полесья отличаются от северной группы невысоким половодьем и осенней меженью. Средняя многолетняя амплитуда колебания уровня для озер группы ниже средней величины по республике.

К данной группе относятся озера типа оз. Выгонощанское (1а), для которых характерно низкое весеннее половодье и высокая осенняя межень. Интенсивность изменения уровня составляет 5–7 см в месяц.

Для озер со среднеустойчивым режимом уровней характерна более высокая средняя многолетняя амплитуда (30–60 см). Водосборы озер заметно изменены мелиорацией, повлияло на величину типологических характеристик. В пределах типа выделяются два подтипа: Червоное (2а) и Черное (2б).

Для практического использования особенностей уровневого режима озер большое значение имеют кривые обеспеченности уровней. На рис. 4.13 представлены типичные кривые разных по режиму уровней озер Беларуси (Лукомское, Дривяты и Мястро). Обеспеченность того или другого уровня имеет значение для проведения специальных расчетных работ, например при проектировании создания озерных водохранилищ. Существенным является также обеспеченность среднего годового уровня, меженного уровня, уровня за период вегетации высшей водной растительности, планировании ведения рыбного хозяйства и т. д.

ГЛАВА 5

ДИНАМИКА ВОДНЫХ МАСС И ЛЕДОВО-ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

5.1. Особенности динамики водных масс малых озер

Озера относятся к числу важнейших компонентов гидрологической сети. От всех других водоемов они отличаются замедленным водообменом (невысокой проточностью) и наиболее низким гипсометрическим уровнем в пределах равнинных территорий, характерным для Беларуси. Эти черты обуславливают способность озер регулировать в определенной степени поверхностный сток, аккумулировать значительные объемы водных масс, а также накапливать специфические озерные отложения.

Гидрологический режим в значительной степени определяется характером и структурой водосбора. По наличию притока поверхностных вод с водосбора озера подразделяются на проточные (имеется приток и выток), стоковые (только выток), непроточные (только приток), бессточные (приток и выток отсутствуют). Площади водосборов очень различаются: от 0,3 до 1782 км^2 при средней площади 65,8±6,2 км^2. Количество озер с площадью водосбора от 100 до 300 км^2 всего 76 (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Количество и распределение озер по размерам водосбора

Размер водосбора	Площадь, км^2	Количество озер, %
Очень малый	Менее 5,0	32,8
Малый	5,01–10,0	13,9
Небольшой	10,01–20,0	12,9
Средний	20,01–40,0	8,7
Большой	40,01–80,0	7,9
Очень большой	Более 80,0	23,8

Различаются водосборы озер и по структуре угодий, которые имеют большое значение для формирования гидрологического режима озер. Лесные водосборы имеют менее 25 % от общего числа озер республики (табл. 5.2). Основное количество водоемов имеет лесистость ниже среднего показателя по республике (менее 30 %).

Таблица 5.2

Количество и распределение озер по структуре водосбора

Структура водосбора	Доля угодий, %	Количество озер, %
Преимущественно лесные	50–75	12,6
Лесные	75–100	10,8
Заболоченные	50–75	0,3
Болотные	75–100	1,0
Преимущественно сельскохозяйственные	50–75	44,0
Сельскохозяйственные	75–100	30,5

Гидродинамические особенности озер при достаточно близких показателях стока с водосбора определяются их объемами и площадью зеркала, водным балансом. Основными источниками питания озер Беларуси являются атмосферные осадки на зеркало, поверхностный приток и грунтовые воды. Потери воды из озер обуславливаются поверхностным и подземным стоком, а также испарением с водного зеркала (табл. 5.3).

Таблица 5.3

Отношение водосбора и водной массы у озер разных типов

Озеро	Площадь водосбора, км^2	Площадь зеркала, км^2	Удельный водосбор, км^2	Объем озера, млн. м^3	Условный водообмен	Удельная водообменность	Среднегодовой модуль стока, л/с·км^2
Волос	18,8	5,66	3,32	45,6	0,09	12,0	6,5
Гиньково	37,2	0,35	106,28	7,6	0,95	8,88	6,5
Долгое	32,6	2,16	14,85	43,2	0,26	10,46	6,5
Дривяты	556,0	36,40	15,27	168,0	0,51	2,51	6,5
Женно	11,5	0,57	19,16	3,9	0,59	1,67	6,5
Лукомльское	170,0	36,7	4,63	243,0	0,14	6,97	6,5
Мядель	122,0	15,40	7,13	102,0	0,28	3,53	7,5
Мястро	133,0	13,10	10,23	70,0	0,38	2,56	6,5
Нарочь	279,0	79,60	3,50	710,4	0,06	14,76	7,5
Обстерно	123,0	9,80	12,43	50,0	0,50	1,98	6,5
Струсто	236,0	13,00	18,5	74,3	0,66	2,60	7,5
Черствяты	162,0	9,35	17,32	20,7	1,74	0,30	7,0
Шо	118,0	7,50	15,73	14,8	1,75	0,57	7,0

По водному балансу озера делятся на сточные и бессточные (не дающие начала поверхностному стоку). Первые отличаются тем, что, помимо испарения, расход их составляют поверхностный и подземный сток. Бессточные озера не имеют потерь на формирование подземного и поверхностного стока из водоемов.

Из табл. 5.3 видно, что для оз. Нарочь основу приходной части баланса составляют осадки на зеркало, а расходной – испарение. Для большинства же озер Беларуси основой питания служит поверхностный приток. Особенности оз. Нарочь в этом смысле обусловлены высоким показателем площади (около 0,3), т. е. отношением площади озера к площади водосбора $\left(K = \frac{F_{\text{оз}}}{F_{\text{вод}}} \right)$. Для большинства крупных озер в Беларуси показатель площади незначительный: для оз. Дривяты – 0,06, Струсто – 0,05. Этим объясняется резкое увеличение роли поверхностного притока и стока.

Внешним выражением водного баланса служит колебание уровня воды в озере под влиянием сезонных изменений климата. Кроме того, колебания уровня воды отражают характер проточности озера, строение котловины, особенности периода снеготаяния и летне-осенних дождей, соотношение показателей заболоченности, облесенности и распаханности водосбора. Анализ многолетних данных инструментальных наблюдений по семи крупнейшим озерам республики (Нарочь, Освейское, Лукомское, Дривяты, Езерище, Нещердо, Отолово) показал зависимость колебаний уровня от перечисленных выше условий. По особенностям уровневого режима в Беларуси выделяются две основные группы озер. К первой относятся озера Нарочь, Освейское, Нещердо, уровневый режим которых отличается равномерностью при небольшом весеннем подъеме – менее 0,5 м. На оз. Нарочь, например, подъем уровня за 1953–1954 гг. не превышал 8 см. В течение суток высота подъема составила не более 1–3 см, а продолжительность половодья 10–20 дней. Подъем и начало спада наблюдаются при ледоставе. Летние паводки тоже почти не выражены. В отдельные годы осенние паводки бывают после установления ледостава. Во вторую группу включены озера Дривяты, Отолово, Езерище. Для них характерны более выраженные неравномерные уровни в течение года. Весеннее половодье происходит при ледоставе и отличается крутым подъемом (более 1 м) и интенсивностью (около 20 см/сут.). Начало спада также интенсивное (3–5 см/сут.). Паводковые подъемы достигают 40–50 см. По данным гидрологических наблюдений, меженные уровни на озерах Северной Беларуси наблюдаются с середины января по 10–15 марта.

Сложные взаимосвязи озера и его водосбора, придающие в конечном счете каждому водоему специфические черты, очень многообразны и, кроме абсолютных величин, характеризуются рядом относительных показателей.

Отношение площади водосбора к площади озера (С. В. Григорьев, 1957) называется удельным водосбором $\left(F = \frac{F_{\text{вод}}}{F_{\text{оз}}} \right)$, что означает долю площади водосбора, приходящуюся на 1 км^2 водного зеркала. Этот показатель определяет интенсивность (степень) влияния водосбора, аккумулятивную способность, характер питания, колебания уровня озера.

Величина удельного водосбора колеблется в широких пределах. Чаще всего озера Беларуси относятся к группе малого (F<10 км^2) и среднего (10–100 км^2) удельного водосбора.

Непосредственную связь озера и его бассейна характеризует также условный водообмен, который выражает отношение объема среднего годового притока с водосбора к объему водной массы озера. Иначе говоря, он показывает долю приточных вод в общей массе воды в озере: $a = \frac{V_{\text{пр}}}{W_{\text{оз}}}$.

Подавляющее количество озер Беларуси относится к группе с малым (<0,5) и средним (от 0,5 до 5) условным водообменом, иными словами, отличается замедленностью водообмена и автохтонностью лимнических процессов.

Обратная величина $\frac{W_{\text{оз}}}{V_{\text{пр}}}$ определяется как удельная водообменность, указывающая приблизительное количество лет средней водности, в течение которых вода в озере сменится за счет притока с водосбора. При этом допускается, что в обмене принимает участие весь объем озера. Колебание удельной водообменности наблюдается от <1 до > 10 лет.

Таким образом, большинство озер Беларуси имеет замедленный водообмен, т. е. слабую проточность. Наиболее затруднен водообмен в глубоких со сложной котловиной озерах. В некоторых плесах, отделенных от всего водоема высокими перекатами, вода может задерживаться надолго при общей хорошей проточности озера. Примером могут быть Сорочанские озера, соединенные друг с другом широкими протоками, по сравнению с которыми озера значительно переуглублены и потому отличаются специфическими чертами формирования водной массы и донных отложений. Те же особенности характерны для ложбинных озер в гляционных рытвинах.

Динамика водных масс озер Белоруссии изучена слабо, если не считать хотя и многочисленных, но визуальных наблюдений. Они и послужили источником краткой характеристики этого вопроса.

5.2. Ветровое волнение

Горизонтальное движение воды обязано главным образом действию ветра, в результате которого возникают сгоны, нагоны, прибой, течения. В проточных озерах значительную роль в формировании течений могут играть реки. Характер и интенсивность движения водных масс при определенной силе ветра непосредственно связаны с формой и величиной котловины. В небольших котловинах с крутыми высокими склонами даже при сильных ветрах скорость образования волн замедлена по сравнению с крупными открытыми водоемами, где волны возникают внезапно, после первых же порывов ветра.

У волн различают высоту (h) – вертикальное расстояние между соседними гребнем и ложбиной; длину волны – горизонтальное расстояние между соседними гребнями или подошвами (ложбинами). Крутизна волны (є) определяется делением высоты волны (h) на ее длину. Период волны (T) – время, в течение которого волна пробегает расстояние, равное ее длине. Возраст волны (В) – отношение скорости волны (c) к скорости ветра (W). Скорость волны равна с = /Т. Параметры волны: длина, период, скорость взаимосвязаны, и их можно определять по формулам. Высота волны не входит в указанные зависимости и определяется наблюдением или другими методами, например, по номограмме А. П. Браславского (1952). Для условий Беларуси получены зависимости между длиной разгона волны, скоростью ветра и параметрами ветровых волн (рис. 5.1).

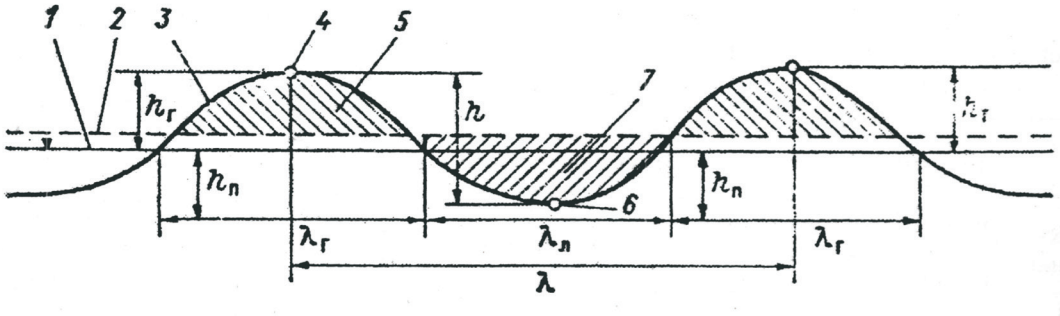


Рис. 5.1. Профиль ветровой волны и ее элементы (Судольский, 1991):
1 – статистический уровень, *2* – средняя волновая линия, *3* – профиль волны, *4* – вершина волны, *5* – гребень волны, *6* – подошва волны, *7* – ложбина волны; h – высота волны, $h_г$– высота гребня, $h_п$ – заглубление подошвы

Наибольшая интенсивность волновой деятельности обычно наблюдается во время осенних штормов, когда в открытой части озер высота волны достигает 0,5–0,7 м. Вблизи абразионных берегов в наветренной части котловины она может быть большей. Обычная же высота волн колеблется от 25 до 30 см.

Характеристики волнения и состояния водоемов оценивают по шкале степени ветрового волнения и шкале состояния поверхности озера под влиянием ветра (табл. 5.4, 5.5).

Таблица 5.4

Шкала степени ветрового волнения (Филатова, 1972)

Высота волн, м	Степень волнения, баллы	Словесная характеристика волнения
0	0	Волнение отсутствует
До 0,25	I	Слабое
0,25–0,75	II	Умеренное
0,75–1,25	III	Значительное
1,25–2,0	IV	”
2,0–3,5	V	Сильное
3,5–6,0	VI	Очень сильное
6,0–8,5	VII	”
8,5–11,0 11,0 и более	VIII	Исключительно сильное

Таблица 5.5

Шкала состояния поверхности моря, озера, крупного водохранилища под влиянием ветра (Филатова, 1972)

Характеристика состояния поверхности водоема, баллы	Признаки для определения состояния поверхности водоема
0	Зеркально-гладкая поверхность
1	Рябь, появляются небольшие гребни волн
2	Небольшие гребни волн начинают опрокидываться, но поверхность не белая, а стекловидная
3	Хорошо заметны небольшие волны; гребни некоторых из них опрокидываются, образуя местами белую клубящуюся пену – «барашки»
4	Волны принимают хорошо выраженную форму, повсюду образуются «барашки»
5	Появляются гребни большой высоты; их пенящиеся вершины занимают большие площади, ветер начинает срывать пену с гребней волн

Высота и особенно длина волн связаны с величиной разгона. В связи с этим определенное значение приобретает не только площадь водоема, но и направление его длинной оси. На севере Беларуси распространены длинные узкие ложбинные озера, вытянутые с северо-запада на юго-восток, т. е. в направлении преобладающих ветров. Конфигурация таких озер способствует не только увеличению разгона волны, но и образованию поверхностных течений в направлении длинной оси. В придонной части возникают медленные противоположные компенсационные течения, захватывающие значительную толщу воды. Лишь в наиболее глубоких впадинах профундали вода какое-то время находится в «неподвижном» состоянии.

При критической глубине ($H_{кр} \geq h$ при попутном ветре) у берегов и на мелях происходит разрушение волн, которые называются у берегов прибоем, на мелях в открытой части озера – буруном.

Вода придонных компенсационных течений на повышенных участках дна или в узких мелководных заливах поднимается вверх. Это выражается в аномально низких температурах по сравнению с температурами на соседних глубоких участках. Так, 13 июня 1964 г. в мелководном «проливе», соединяющем северный и южный плесы оз. Кривого, на глубине 7,5 м температура упала до 9,2°. В других же местах на таких глубинах в этот день она составляла около 16° (поверхностная – 20,2 °С).

5.3. Сгонно-нагонные явления

Под влиянием ветра у наветренных берегов происходит повышение уровня воды – нагон, а у подветренных – понижение, сгон. Возникающий при этом наклон водной поверхности – денивеляция обусловливает временные компенсационные течения в озерах из мест повышенного уровня. Это движение противоположно основному ветровому течению и охватывает прибрежную зону. Высота нагона обычно не более 25–30 см, однако сам процесс оказывает заметное влияние на распределение поверхностных температур и кислорода, а также способствует переносу планктонных организмов.

Сгоны и нагоны в больших озерах могут достигать двух и более метров. Разность уровней между нагоном и сгоном (Z) в озере можно рассчитать по формуле А. В. Караушева (1955):

$$Z = (3+10h)\ 10^{-8}\ (L/h)\ W^2 \cos\ \alpha,$$

где h – высота волны, L – расстояние между двумя точками акватории, м; $W_{ср}$ – скорость ветра, м/с; α – угол между направлением ветра и линией L; $H_{ср}$ – средняя глубина водоема на рассматриваемом участке озера.

В проточных водоемах наблюдаются стоковые течения. Речные воды, поступающие в озера, некоторое время сохраняют свои особенности и

способствуют поступательному движению воды в направлении стока. В начале марта 1966 г. стоковое течение было зафиксировано в озерах Паулье и Березовом от места впадения реки Дивы до ее выхода из озер. Даже при значительных морозах Дива не покрывается льдом. По сравнению с окружающей водной массой озера ее воды более теплые и насыщенные кислородом. Ширина своеобразной подледной реки достигала 250 м, и прослеживалась эта река в обоих водоемах. Подобная картина отмечена в оз. Медзолол, через которое протекает р. Березина.

В результате течений, сгонно-нагонных явлений в озерах могут возникать явления апвеллинга (восходящее движение воды с выходом на поверхность даже металимниона) и даунвеллинга (опускание теплых вод на глубину). Обычно апвеллинг возникает при сильном и продолжительном шторме на озере. В апвеллинге выделяют стадии: генерация, установление и релаксация (Показеев, Филатов, 2002), апвеллинг может возникать как в заливах, так и в прибрежной части у мысов.

Явление апвеллинга и даунвеллинга изучалось на Ладожском и Онежском озерах в течение 22 лет. Ширина зоны апвеллинга достигает 10–15 км и в длину 20 км, редко до 50 км. Явление характерно для теплого периода года (июнь–август). Апвеллинг активно влияет на температурный режим озера и на условия развития других лимнических процессов.

По месту проявления апвеллинга и его происхождению различают прибрежный экмановский апвеллинг, прибрежный апвеллинг в мелких озерах, апвеллинг, обусловленный локальной дивергенцией течения возле плесов и за островами, апвеллинг, возникающий на подводных возвышенностях, и апвеллинг, обусловленный вихрями и фронтами.

Гидродинамические процессы обусловливают обмен воды между слоями с различным содержанием гидрохимических и биологических градиентов за счет турбулентных движений. Различают свободную, связанную с температурой конвекцию и динамическую, обусловленную движением воды. Динамическая конвекция связана обычно с волновыми движениями.

5.4. Сейши и явление термического бара

Сейшами называют стоячие свободные волны, возникающие под влиянием резких нарушений равновесия вод. Основными причинами возникновения сейши в озерах могут быть сгонно-нагонные явления, обильное выпадение осадков в одном из заливов или частей озера, которые создают наклон уровневой поверхности и стремление восстановить нарушенное равновесие. При сейшах отсутствует поступательное движение в виде волны, а возникают лишь вертикальные колебания, при которых в одном

месте происходит подъем, а в другом – опускание уровня. При этом между этими частями возникает линия, вдоль которой не происходят колебания уровня, но существуют горизонтальные перемещения воды в виде течений. Линия называется узловой.

Первые сведения о сейшах были известны еще в 1730 г., когда инженер Дюиме указал на резкое понижение Женевского озера на 1,5 м в 1610 г. Во время сейши суда в гаванях сели на дно.

Первые сейши на озерах Беларуси были зафиксированы А. Г. Булавко, В. В. Дроздом на оз. Нарочь и оз. Сенно (1965). На оз. Нарочь в период с 1 мая по 31 октября 1963 г. было зарегистрировано 83 серии сейш. Продолжительность их колебания продолжалась от 1,5 ч до 3–5 сут., а высота достигала 25 см (рис. 5.2).

Обычно высота сейши составляет несколько сантиметров, реже достигает десятков сантиметров, но в некоторых озерах они могут достигать высоты 2,0–2,5 м, что наблюдается на озерах Эри, Женевское, Байкале.

Исследования колебательных движений уровня воды на озере Нарочь за период с 1995 по 2006 г. практически доказали появление сейшевых колебаний на озере. Для оз. Нарочь в «Описание действующих гидрологических постов на реках, ручьях, каналах, озерах, водохранилищах Беларуси по состоянию на 01.01.2004 г.» указано на наличие сейшевых колебаний воды со средним периодом колебаний в 30 мин и амплитудой 25 мм.

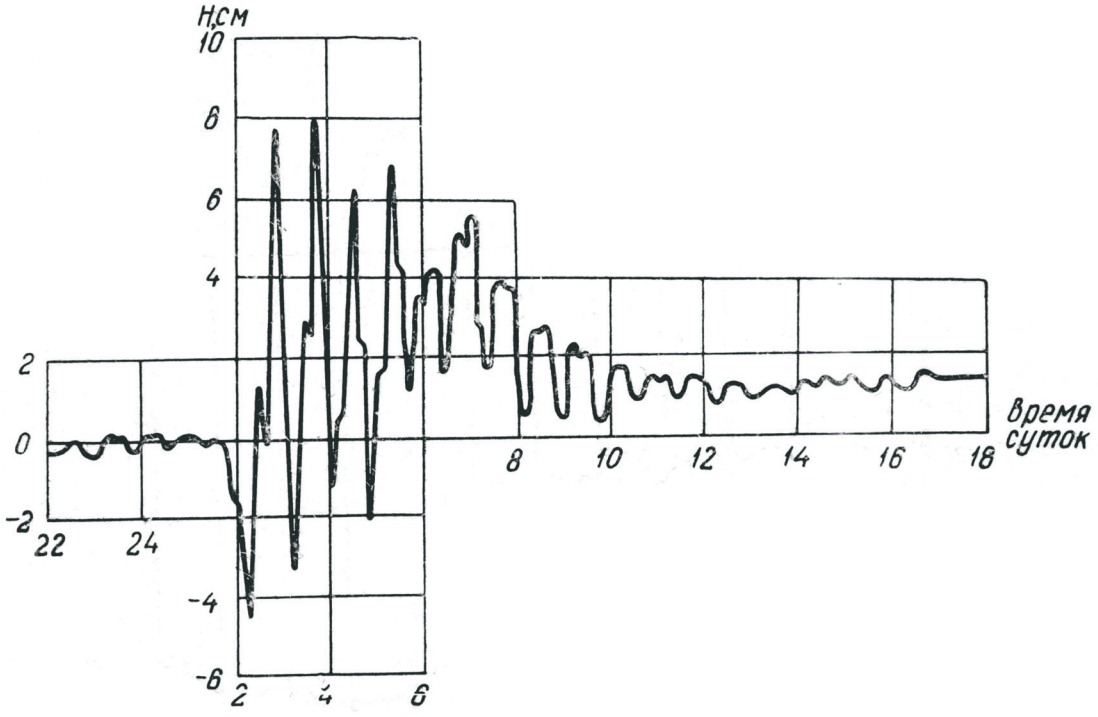


Рис. 5.2. Колебания уровня воды во время сейши на оз. Нарочь

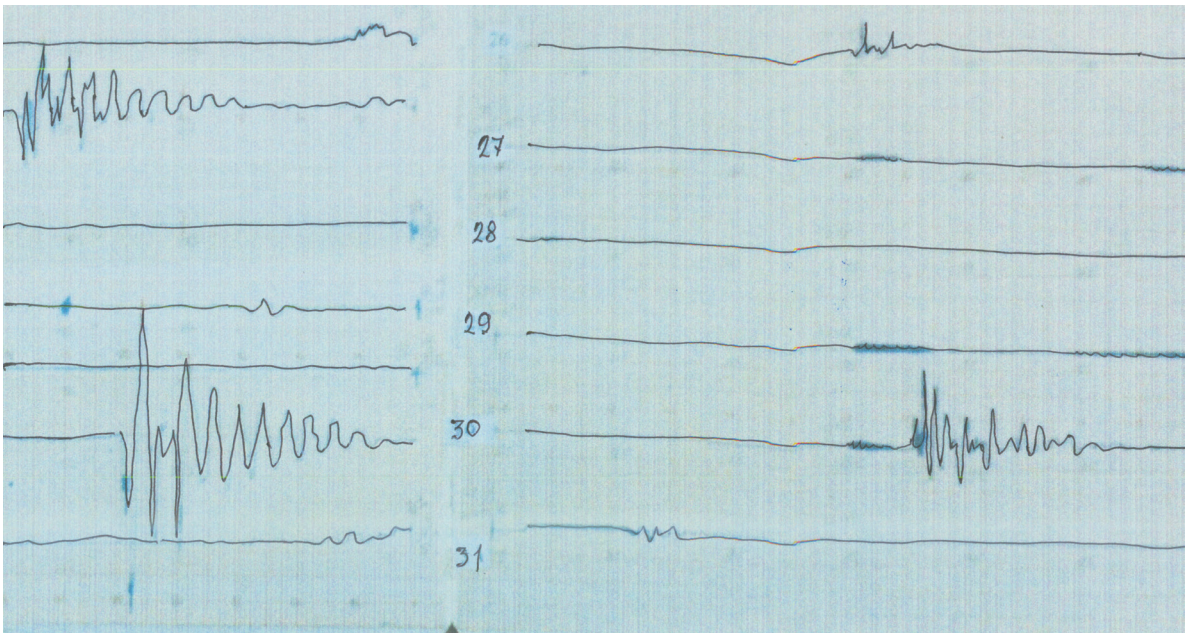


Рис. 5.3. Совмещенные ленты самописцев на станции Нарочь и на посту р. Скема (с. Никольцы)

Анализ лент самописцев на постах Нарочи свидетельствует о преобладании на нем сейшевых колебаний уровня воды с максимальной амплитудой до 50 мм, вызванных колебаниями давления при незначительных скоростях ветра (2 м/с). Самописцы уровня воды на постах протоки Скема (с. Никольцы) и ОС Нарочь в июле 2004 г. зафиксировали синхронные сейши (рис. 5.3).

5.5. Течения

Течения в озерах можно разделить на ветровые, или дрейфовые, и гравитационные (градиентные). Течения могут быть поверхностными, глубинными и придонными, временными, периодическими и непериодическими.

Ветровые течения временные и непериодические могут возникать по всему озеру. Их скорость достигает 50 см/с. Как правило, совпадают с направлением действия ветра. При подходе к берегу под воздействием силы Кориолиса могут перемещаться вдоль берега.

Ветровые градиентные (компенсационные) течения, временные непериодические. Возникают в глубинном или придонном слое и движутся в направлении, противоположном направлению ветра. Их скорости колеблются в пределах 10–20 см/с.

Волновые течения сопутствуют дрейфовым, носят временный характер и действуют в области распространения ветровых волн, совпадают с ними по направлению (10–15 см/с).

Стоковые, или сточные, течения действуют постоянно на участках впадения или истока рек, действуют преимущественно в приповерхностном слое и могут по скорости приближаться к скорости течения рек.

Плотностные течения носят временный непериодический характер и связаны с различиями в температуре и плотности водных масс. Менее плотные и теплые воды в поверхностном слое движутся в сторону более плотных и холодных, в глубинных слоях – наоборот. В период нагревания водоема течения направлены от периферии водоема к центру, в период охлаждения – наоборот. Форма перемещения прямолинейная, циркуляционная. В больших водоемах под действием силы Кориолиса могут образоваться круговые движения.

Сейшевые течения могут возникать и действовать от нескольких минут до нескольких десятков часов. В озерах они могут существовать непрерывно более месяца.

Основные течения (ветровые, волноприбойные) в прибрежной зоне действуют временно и имеют вдольбереговое направление и имеют скорость от 20–30 до 100–150 см/с. Действуя вдоль берега, эти течения повторяют линию берега и отрываются иногда в сторону открытого водоема (отрывные вдольбереговые течения).

В малых озерах с продолжительностью водообмена до одного года развивается система стоковых течений. Примером стоковых течений может служить система циркуляции вод в высокопроточном оз. Ильменок. В зависимости от сезона ручьевые воды поступают в озеро со скоростью 0,12 до 0,60 м/с. В водной массе озера ручьевые массы движутся к горизонту своей плотности. Так, в летний период речная вода с температурой 10–20 °С распространяется в слое температурного скачка в стратифицированных водоемах и у дна слабо стратифицированных. При средних годовых расходах воды 0,15 $м^3$/с на скорость движения озерной воды влияет поступление поверхностных вод. В летний период этот фактор сказывается в месте впадения притоков до 10 м от устьев ручьев, а в периоды весеннего половодья и осенних паводков на расстоянии до 150 м от устьев ручьев. В зимний период проточные воды движутся в верхних слоях подо льдом со скоростью 0,01–0,02 м/с.

В проточных и слабопроточных водоемах развивается система циркуляционных плотностных течений с малыми скоростями. При этом в малых озерах преобладает циклональный перенос водных масс. Система циркуляции вод озер Медведно и Потех может являться примером интегральных

плотностных течений в малых водоемах р. Западной Двины. Скорость развития ветровых течений определяется рядом факторов – скоростью и продолжительностью действия ветра, длиной разгона волн, ориентацией котловины по отношению к преобладающему направлению действия ветров. По нашим наблюдениям в водоемах с длиной разгона ветра не менее одного километра системы ветровых течений формируются при скоростях ветра 4 м/с и более. Однако для рассматриваемой территории среднемесячная скорость ветра в летний период составляет менее 4 м/с, следовательно, ветровые течения не являются основными в горизонтальном переносе водных масс малых озер в этот период.

В малых озерах движение воды в безледный период в первую очередь представлено вертикальным перемешиванием в связи с динамическим воздействием ветра. Глубина и интенсивность ветрового воздействия на водную массу обусловлено морфологическими особенностями котловины, наибольшая интенсивность вертикального перемешивания отличается в мелководных водоемах с максимальными глубинами до 5 м. В более глубоководных водоемах формирующаяся стратификация водной толщи ограничивает динамическое воздействие ветра верхними слоями воды. Сдерживающим фактором интенсивности вертикального перемешивания водных масс водоема является также обильное грунтовое питание, значительная минерализация воды придонных слоев (более 250 мг/л), создающая плотностный химический барьер и ограничивающая вертикальное перемешивание вод, что отмечалось на примере малых эфтрофных озер. Поверхностный приток с водосбора увеличивает интенсивность горизонтальных и вертикальных перемещений водной массы водоема. Например, в высокопроточном оз. Ильменок интенсивность вертикального перемешивания в области распространения ручьевых вод в три раза выше по сравнению с остальной акваторией озера.

Одной из характеристик вертикального перемешивания является скорость поступления тепла, которая определяется с помощью коэффициента турбулентной теплопроводности ($К_{z,\tau}$). Скорость поступления тепла в водной толщи в летний период пропорционально связана с интенсивностью внутреннего водообмена. В стратифицированных озерах в летний период внутренним водообменом охвачена верхняя толща водной массы – вертикальный водообмен между поверхностными придонными слоями ограничен. Соответственно скорость поступления тепла является наибольшей в верхних слоях воды. Например, в озерах Волосо Южный и Северный (системы р. Друйка) в эпилимнионе значение $К_{z,\tau}$ достигает 16 $см^2$ /с, резко уменьшается в слое температурного скачка и близко к нулю в гиполинионе. Напротив, в водоемах с геометрической формой котловины, близкой к параболоиду и эллипсоиду, в которых внутренний водообмен

происходит по всей водной толще, как например, в оз. Нарочь, Дривяты распределение тепла в водной массе происходит в целом равномерно со скоростью до 6 $см^2$/с. Абсолютные значения коэффициента теплопроводности в стратифицированных озерах выше, чем в слабостратифицированных. Так как в хорошо перемешиваемых водоемах значительное количество поступающего тепла расходуется на теплообмен с атмосферой, донными отложениями.

Важное экологическое значение для малых озер имеет длительность вертикального перемешивания их водных масс. Под длительностью вертикального перемешивания мы понимаем период, в течение которого происходит полное перемешивание массы воды и выравнивание температуры по глубине без поступления и потерь тепла, вызванных динамическим воздействием ветра, эпизодической конвекцией. В малых озерах после установления ледового покрова (декабрь) формирующаяся зимняя стратификация ограничивает вертикальное перемешивание водных масс, их стабильность постепенно увеличивается и к концу ледостава составляет 2–3 г•см/$см^2$. Короткий период весенней гомотермии (апрель) с мобильными водными массами (нулевая стабильность) сменяется периодом общего уменьшения интенсивности вертикального перемешивания и нарастания значений стабильности с максимумом в июле в среднем до 22,2 г•см/$см^2$. В слабостратифицированных водоемах достигает 267 г•см/$см^2$. В водоемах с ярко выраженным металимниальным слоем с августа при постепенном выхолаживании вод эпилимниона вертикальное перемешивание постепенно увеличивается. С октября по середину ноября стабильность водных масс близка к нулю. Из анализа сезонного хода вертикального перемешивания вытекает, что для слабо стратифицированных летом малых озер период полного вертикального перемешивания практически совпадает с безледным периодом (около 200 сут. в году). В стратифицированных водоемах с ярко выраженным металимниальным слоем – ограничен весенней и осенней конвекциями, что в сумме составляет около ста суток.

5.6. Ледово-термический режим

5.6.1. Радиационный баланс озер

Радиационный баланс и особенности поглощения и распространения солнечной радиации в озерах необходимы для решения проблем теплового баланса земной поверхности, оценки теплового режима озер. Материалы многолетних стационарных наблюдений на рейдовых вертикалях

за температурой воды и другими гидрометеорологическими элементами. Для анализа исследовались разнотипные озера в северной умеренно теплой влажной климатической области: Потех, Волос Южный, Струсто, Дривяты, Лукомское; в центральной тепло-умеренной влажной климатической – водохранилища Заславское, Осиповичске Чигиринское; в южной теплой неусточиво влажной климатической области – Червоное, Выгонощанское.

Актинометрические наблюдения на метеостанциях озер Беларуси явились основой для количественной оценки процессов изменения во времени взаимосвязанных поступающей и отраженной солнечной радиации, излучения атмосферы, поглощения и отражения радиации поверхностью деятельного слоя методом баланса, который был рассчитан за безледный период (4–10 месяцев) по среднемноголетним данным (1960–1990), Базыленко,1996:

$$B = Q\ (1 - \text{A}) - \text{E}_{\text{эф}},$$

где B – радиационный баланс, Q – суммарная солнечная радиация, А – альбедо водной поверхности; $\text{E}_{\text{эф}}$ – эффективное излучение.

Радиация выражается в МДж/м^2 горизонтальной поверхности; ее суммы в шкале МРЭ (мировой радиометрический эталон).

Суммарная солнечная радиация. В связи с тем, что на территории Беларуси актинометрические наблюдения ведутся более 50-ти лет на трех опорных метеостанциях (Минск, Василевичи, Полесская), выполнен расчет среднемноголетних месячных сумм радиации по осредненной за многолетие облачности для 23 метеостанций, которые вместе с тремя опорными актинометрическими образуют сеть, достаточно густо покрывающую территорию республики (*Материалы...,* Минск 1977, 1982). Для исследуемых водоемов Q на водную поверхность определена по ближайшим метеостанциям, расположенным в пределах до 50 км от водоемов.

Альбедо водной поверхности как отношение интенсивности, отраженной к падающей радиации, рассчитано для средних погодных условий без учета рассеяния и волнения в зависимости от широты положения водоемов (Кириллова, 1970) и принято в частях единицы.

Из выражения баланса приходную часть радиационного баланса составляет **поглощенная водой суммарная солнечная радиация** $Q = Q\ (I - A)$ – основной источник тепла, поступающего в водную массу – рассчитана в зависимости от среднемесячных значений A для суммарной радиации водоемов соответствующей широты (табл. 5.6).

Таблица 5.6

Среднемноголетние (1960—1990) месячные величины составляющих радиационного баланса водоемов за безледный период, МДж/м²
Średnie wieloletnie (1960—1990) miesięczne wartości elementów bilansu radiacyjnego zbiorników wodnych w ciepłym okresie roku [MJ/m²]

Элемент \ Месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IV—X
Северная климатическая область								
Водоемы в пределах северной широты 54°30′—55°49′								
оз. Потех								
$\bar{B}$	264	407	456	404	294	174	45	2044
$\bar{Q}(1-A)=\bar{Q}_{П}$	359	505	573	535	420	271	126	2789
$\bar{E}_{эф}$	95	98	117	131	126	97	81	745
$\bar{E}_{эф}/\bar{Q}_{П}=d$	0,26	0,19	0,20	0,24	0,30	0,36	0,64	0,27
оз. Струсто								
$\bar{B}$	266	409	460	408	295	176	48	2072
$\bar{Q}(1-A)=\bar{Q}_{П}$	359	505	573	535	420	271	126	2789
$\bar{E}_{эф}$	93	96	113	127	125	95	78	717
$\bar{E}_{эф}/\bar{Q}_{П}=d$	0,26	0,19	0,20	0,24	0,30	0,35	0,62	0,26
оз. Волос Южный								
$\bar{B}$	266	411	457	405	295	176	47	2057
$\bar{Q}(1-A)=\bar{Q}_{П}$	359	505	573	535	420	271	126	2789
$\bar{E}_{эф}$	93	94	116	130	125	95	79	732
$\bar{E}_{эф}/\bar{Q}_{П}=d$	0,26	0,19	0,20	0,24	0,30	0,35	0,63	0,26
оз. Дривяты								
$\bar{B}$	264	405	456	403	291	156	48	2023
$\bar{Q}(1-A)=\bar{Q}_{П}$	359	505	573	535	420	271	126	2789
$\bar{E}_{эф}$	95	100	117	132	129	115	78	766
$\bar{E}_{эф}/\bar{Q}_{П}=d$	0,26	0,20	0,20	0,25	0,31	0,42	0,62	0,27
оз. Нарочь								
$\bar{B}$	261	405	449	411	287	175	57	2045
$\bar{Q}(1-A)=\bar{Q}_{П}$	364	516	577	548	421	278	135	2839
$\bar{E}_{эф}$	103	111	128	137	134	103	78	794
$\bar{E}_{эф}/\bar{Q}_{П}=d$	0,28	0,22	0,22	0,25	0,32	0,37	0,58	0,28
оз. Лукомское								
$\bar{B}$	261	410	463	410	306	164	49	2063
$\bar{Q}(1-A)=\bar{Q}_{П}$	372	525	595	565	445	284	133	2919
$\bar{E}_{эф}$	111	115	132	155	139	120	84	856
$\bar{E}_{эф}/\bar{Q}_{П}=d$	0,30	0,22	0,22	0,27	0,31	0,42	0,63	0,29
вдхр. Вилейское								
$\bar{B}$	254	393	435	411	304	165	36	2025
$\bar{Q}(1-A)=\bar{Q}_{П}$	354	495	552	530	412	270	129	2742
$\bar{E}_{эф}$	100	102	117	119	108	105	66	717
$\bar{E}_{эф}/\bar{Q}_{П}=d$	0,28	0,21	0,21	0,22	0,26	0,39	0,51	0,26

Продолжение табл. 5.6

Элемент \ Месяцы	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IV—X
Центральная климатическая область								
Водоемы в пределах северной широты 53°27′—53°58′								
вдхр. Заславское								
$\bar{B}$	257	404	461	426	311	164	45	2068
$\bar{Q}(1-A)=\bar{Q}_П$	368	522	586	558	436	284	136	2890
$\bar{E}_{эф}$	111	118	125	132	125	120	91	822
$\bar{E}_{эф}/\bar{Q}_П=d$	0,30	0,23	0,21	0,24	0,29	0,42	0,67	0,28
вдхр. Осиповичское								
$\bar{B}$	279	415	461	428	330	184	61	2158
$\bar{Q}(1-A)=\bar{Q}_П$	387	526	589	561	450	295	146	2945
$\bar{E}_{эф}$	99	111	128	133	120	111	85	787
$\bar{E}_{эф}/\bar{Q}_П=d$	0,26	0,21	0,22	0,24	0,27	0,38	0,58	0,27
вдхр. Чигиринское								
$\bar{B}$	271	401	458	434	331	165	59	2119
$\bar{Q}(1-A)=\bar{Q}_П$	374	512	584	563	456	287	142	2918
$\bar{E}_{эф}$	103	111	126	129	125	122	83	799
$\bar{E}_{эф}/\bar{Q}_П=d$	0,28	0,22	0,22	0,23	0,27	0,43	0,58	0,27
Южная климатическая область								
Водоемы в пределах северной широты 52°26′—52°48′								
вдхр. Краснослободское								
$\bar{B}$	281	437	479	452	337	196	70	2252
$\bar{Q}(1-A)=\bar{Q}_П$	384	553	609	586	470	316	157	3075
$\bar{E}_{эф}$	103	116	130	134	133	120	87	823
$\bar{E}_{эф}/\bar{Q}_П=d$	0,27	0,21	0,21	0,23	0,28	0,38	0,55	0,27
оз. Черное								
$\bar{B}$	271	431	469	445	342	207	81	2246
$\bar{Q}(1-A)=\bar{Q}_П$	374	538	599	577	472	320	168	3048
$\bar{E}_{эф}$	103	107	130	132	130	113	87	802
$\bar{E}_{эф}/\bar{Q}_П=d$	0,28	0,20	0,22	0,23	0,28	0,35	0,52	0,26
оз. Выгоновское								
$\bar{B}$	270	437	477	450	332	208	75	2249
$\bar{Q}(1-A)=\bar{Q}_П$	383	553	613	588	465	324	165	3091
$\bar{E}_{эф}$	113	116	136	138	133	116	90	842
$\bar{E}_{эф}/\bar{Q}_П=d$	0,29	0,21	0,22	0,23	0,29	0,36	0,54	0,27

Среднемноголетние (1960–1990) месячные величины составляющих радиационного баланса водоемов за безледоставный период, МДж/м^2

Расходная часть радиационного баланса – **эффективное излучение** ($E_{эф}$) определяется разностью потоков восходящей $T^4_{П}$ + (1 –) E_a) и нисходящей (E_a радиации; $E_{эф}$ рассчитано в зависимости от абсолютной влажности воздуха (e_{200}), общей (N_0) и нижней ($N_н$) облачности, измеренных температур воздуха над поверхностью на высоте 2 м (T_{200}) и поверхности воды ($T_п$) по следующей методике:

$$E_{эф} = 5trT^4_{П} + (I - 8)\ E_a - E_a\ , \qquad (2)$$

где

5 = 0,95 – коэффициент излучительной способности водной поверхности;

a – постоянная Стефана Больцмана, равная 4,898-10~^{9} МДж/м. сут. °С^4);

E – встречное излучение атмосферы (Браславский, 1966):

$$^{E}a = {}^{ff7}T^4_{200} + (b_1 + b_2).$$

Отсюда из выражения (2)

$$E_{эф} = ЬaT^4_{п} - ЬaT^4_{200}\ (b_1 + b_2)$$

или (3)

$$E = <5[\hat{}T^4_{П} - \hat{}T_{200}(b_1 + b_2)],$$

где параметры $оT^4_{П}$, T^4_{200}, $b_1 = f(e_{200}, N_0)$, $b_2 = f(T_{200,}\ N_0, N_H)$ определены по таблицам (Браславский, 1966).

Радиационный баланс (остаточная радиация, задерживаемая в деятельном слое водоемов) получен как разность между $Q_п$ и $E_{эф}$.

Анализ обобщений по радиационному балансу водоемов в трех климатических областях Беларуси позволил сделать выводы о закономерностях распределения *B* и его составляющих.

Суммы средних месячных величин суммарной солнечной радиации с апреля по октябрь увеличиваются с севера на юг и в районе водоемов составляют, например, для оз. Потех (север Беларуси) 3035 МДж/м, для оз. Выгоновское (на юге) – 3328 МДж/м^2. Для всех водоемов Беларуси максимума *Q* достигает в июне (587–652 МДж/м^2), минимума – в октябре (143–189 МДж/м^2); за май – август *Q* составляет 72 % безледного периода.

Поглощенная водой суммарная солнечная радиация в основном зависит от альбедо, поэтому в $Q_П$ водоемов прослеживаются же изменения, как и *Q*. В целом за безледный период на оз. Потех $Q_п$ – 2789 МДж/м^2 (максимум в июне – июле: 573 и 535), на оз. Выгоновское $Q_и$ – 3091 МДж/м^2 (в июне–июле: 613 и 588). Из суммы средних месячных величин *Q* за безледный период 92 % поглощается водой озер и водохранилищ.

Средние месячные суммы эффективного излучения наибольшие в июне – августе (см. табл. 1); в этот период разница $E_{эф}$ в водоемах составляет 5–15 МДж/м^2; абсолютный максимум $E_{эф}$ = 155 МДж/м$^{2-}$ июле (оз. Лукомское). Поскольку месячная сумма эффективного излучения водной поверхности зависит не только от метеорологических условий текущего месяца, но и от температуры воды, обладающей значительной инерцией, естественно ожидать, что экстремальные величины не всегда согласуются с характером атмосферной циркуляции за данный месяц. Наибольших значений $E_{эф}$ достигает на всех водоемах в июле, снижаясь в октябре в 1,5–1,8 раза. Разница месячных значений $E_{эф}$ между водоемами различных климатических областей не превышает 12–38 МДж/м^2. Доля $E_{эф}$ по отношению к величине Q_n в целом за безледный период для водоемов Беларуси составляет 26–30 %, в мае–июле почти не меняется (в среднем 21–24 %), в октябре увеличивается: для водоемов северной области в 2,7 раза, южной – в 2,4 раза, характеризуя начало интенсивного охлаждения водных масс.

Радиационный баланс водоемов через свои составляющие зависит от высоты солнца, прозрачности атмосферы, облачности, температуры воздуха и воды, влажности воздуха. Все эти факторы повлияли на распределение водоемов Беларуси различных климатических областей (В). Если внутри северной области различие величин B за IV–X месяцы достигает 50 МДж/м^2, в центральной – 90 МДж/м^2, в южной – всего 6 МДж/м^2, то значение B в южной климатической области на 229 МДж/м^2 больше, чем в северной. Для всех водоемов республики в расчетном режиме средний многолетний максимум B приходится на июнь, уменьшаясь в октябре на севере и центре в 8–10 раз, на юге в 7 раз. Сумма B за период интенсивного нагревания (май – июль) всех водоемов составляет 60–62 % суммы за безледный период. Отношение B/Q за безледный период для водоемов Беларуси равно 0,67.

Полученные величины составляющих радиационного баланса могут быть использованы в расчете теплового режима водоемов. Значения коэффициентов d можно рекомендовать для определения среднемноголетних месячных величин $E_{эф}$ и B любого другого водоема (соответственно в пределах климатических областей), для которого известны величины поглощенной солнечной радиации.

5.6.2. Температурный режим

Общие закономерности температурного режима озер отражают особенности умеренно континентального климата Беларуси. Условия нагревания и охлаждения, распределение тепла в водной толще тесно связаны с физическими свойствами пресной воды, которая отличается

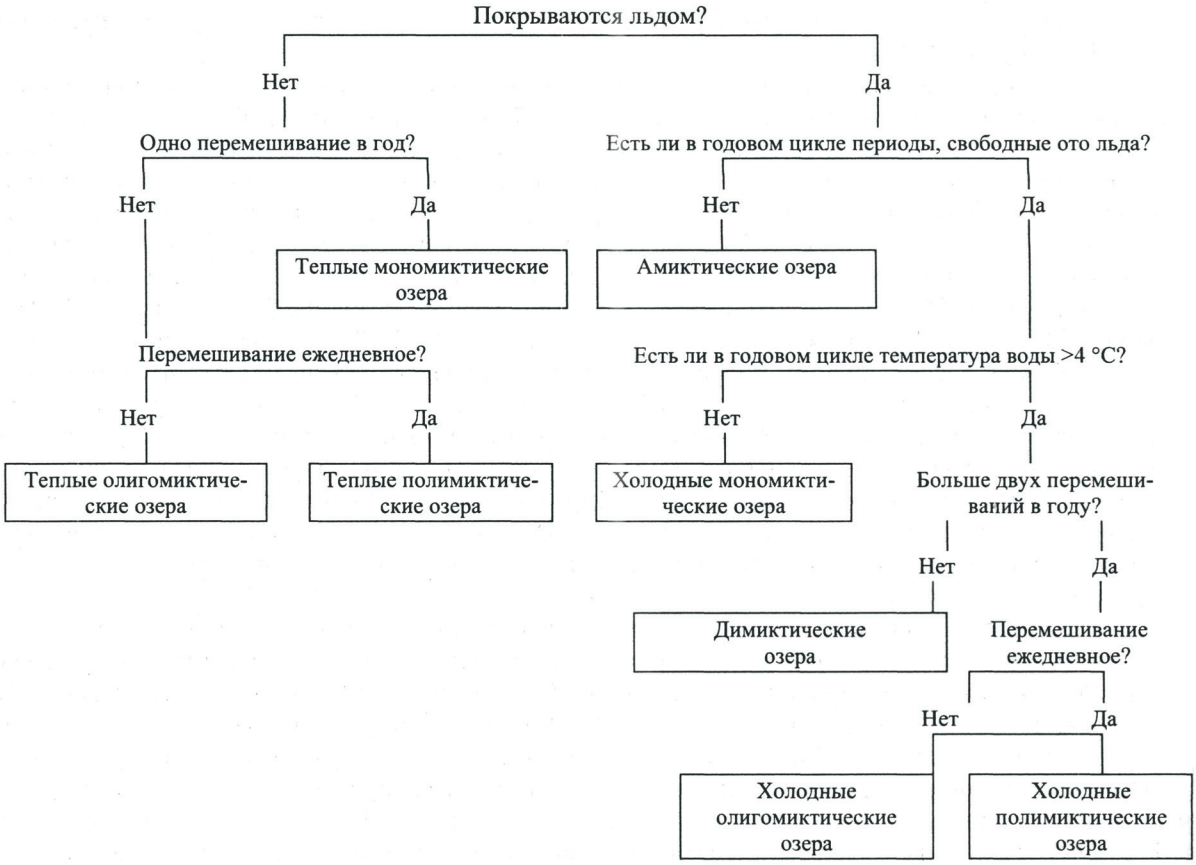


Рис. 5.4. Термическая классификация озер (Lewis,1983)

высокой теплоемкостью и очень малой теплопроводностью. Поэтому теплообмен осуществляется в основном за счет ветрового перемешивания и конвекции. Известно достаточно много термических классификаций озер мира, которые были основаны на принципе физико-географической зональности (Форель, 1892, 1912, др.), так и отражали особенности одной природной зоны (Анучин,1897; Захаренков, 1963; Тихомиров, 1982; Хомскис, 1969; Якушко, 1961; Хатчинсон, 1957; и др.), или классификации, основанные на принципе учета и физико-географических условий и характера водообмена по вертикали (Хатчинсон, 1957; Lewis, 1983).

В зависимости от физико-географических условий природных зон, наличия циркуляций и стагнаций озера мира классифицировались с различной детализацией особенностей термического режима (табл. 5.7).

Таблица 5.7

Типизация озер мира в зависимости от физико-географических зон и числа полных периодов циркуляций озерных вод

Зона	Тип озера по циркуляции	
	Хатчинсон, Леффлер	Бейли, Уильямс
Полярные	Амиктические	Амиктические
Субполярные	Холодные мономиктические	Холодные мономиктические
Умеренные	Димиктические	Димиктические
Тропические	Олигомиктические	Олигомиктические
	Полимиктические	Полимиктические
	Холодные полимиктические	Холодные полимиктические
Субтропические	Теплые мономиктические	Теплые мономиктические
		а) теплые мономиктические (перемешивание зимой)
		б) теплые мономиктические (перемешивание летом)

Однако в данных классификациях практически не учитывались малые и мелководные озера, в особенности умеренной зоны, которые доминируют в мире по количеству. Эти недостатки устраняет термическая классификация озер Lewis, 1983. Он предложил принимать во внимание только верхний слой, который в годовом цикле принимает наиболее активное перемешивание (рис. 5.4). Данная классификация сохраняет систему типов озер выделенных авторами Хатчинсон – Леффлер и дополнительно включает холодные олигомиктические и холодные полимиктические, к которым попадают и мелководные озера.

Для озер умеренной зоны приемлема термическая классификация А. И. Тихомирова, которая учитывает годовой ход температуры, характер температурной стратификации озер, летний период для глубоких озер. А. И. Тихомиров предложил различать озера эпитермические (мелководные), метатермические (среднеглубокие) и гипотермические (глубокие), которые впоследствии нашли отражение в термической классификации О. Ф. Якушко.

Обобщение многолетних данных по температурному режиму озер и водохранилищ Беларуси позволило выявить в годовом термическом цикле 5 периодов и установить их среднюю продолжительность:

1. Период весеннего нагревания – 25 дней (третья декада марта – вторая декада апреля).
2. Период летнего нагревания – 120 дней (третья декада апреля – третья декада августа).
3. Период осеннего охлаждения – 85 дней (третья декада августа – вторая декада ноября).
4. Период предледоставного охлаждения – 10 дней (третья декада ноября).
5. Период зимнего режима – 125 дней (декабрь – март).

Весеннее прогревание озер начинается еще под ледяным покровом в результате интенсивного воздействия солнечных лучей. Уже в середине марта температура воды подо льдом достигает 0,8 °С, причем лед тает как снизу, так и сверху.

Характер температурного режима после разрушения ледяного покрова во многом зависит от особенностей погоды и морфологии котловины. В условиях прохладной ветреной весны перемешивание и прогревание воды в озере ощущаются меньше, но проникают на большую глубину под влиянием ветра, чем при дружной теплой весне, когда процесс нагревания может ограничиться лишь верхними слоями, а перемешивание связано только с конвекционным движением.

В результате более или менее интенсивной весенней циркуляции вся толща воды перемешивается и прогревается до одинаковой температуры. Весенняя гомотермия может возникнуть при различной температуре, однако момент ее наступления фиксируется при температуре наибольшей плотности воды (4 °С). Естественно, что весенняя гомотермия раньше наступает в озерах средней глубины и в мелководных, чем в глубоких. Продолжительность гомотермии с температурой 4 °С очень небольшая, и уловить ее трудно, так как при последующем нагревании поверхностного слоя начинается быстрый переход к летнему температурному режиму.

Весной озера служат источником холода по сравнению с быстро нагревающейся землей и воздухом. В апреле и мае средняя температура воды в озерах ниже температуры воздуха на 0,5–2°.

Весенняя циркуляция имеет большое значение в жизни озер, так как под ее влиянием осуществляется не только нагревание массы воды, но и смена зимнего газового режима и проникновение в придонные слои кислорода. Важно отметить, что иногда в некоторых озерах состояние гомотермии не успевает охватить всю толщу воды, а на поверхности уже складываются летние температурные условия. Это явление описано на небольших, но достаточно глубоких озерах, с укрытыми от ветра воронкообразными котловинами: Малом Камайском, Губиза, Каймин. В таких условиях при дружной теплой весне процесс перемешивания воды замедляется: у дна еще сохраняется зимний режим (температура около 4 °С, резкий дефицит кислорода, а на поверхности устанавливается летний режим.

Началом установления летнего температурного режима считается переход поверхностной температуры через 10°, обычно наступающий в мае. В начале лета температура убывает от поверхности в глубину, т. е. возникает прямая температурная стратификация. Однако при устойчивой ветреной погоде в неглубоких озерах может возобновиться гомотермия при разных температурах.

Типичным признаком летнего температурного режима служит вертикальное расслоение толщи воды. Устойчивая стагнация возникает после нескольких дней теплой штилевой погоды. Чем интенсивнее нагреваются верхние слои воды, тем слабее они перемешиваются с нижними в силу возникновения температурного градиента и большей плотности нижних холодных слоев.

Мощность верхнего слоя воды – эпилимниона в первый период летней стагнации составляет всего несколько метров, со временем она увеличивается, но в глубоких озерах даже в конце лета не превышает 10 м.

Обычно чем резче обозначена нижняя граница эпилимниона, тем ярче проявляется слой металимниона, т. е. термоклина или температурного скачка. Мощность его варьирует от 2 до 5 м, а степень выраженности зависит от условий погоды. При ветреной погоде слой скачка чаще всего выражен слабо и подразделен на несколько промежуточных скачков, а градиент не превышает 1,5–2 град/м. При устойчивой штилевой погоде металимнион менее мощный, но градиент достигает 4–4,5 град/м.

В нижнем слое – гиполимнионе – ветровое перемешивание практически не проявляется. После весенней циркуляции в этом слое устанавливается относительное спокойствие воды при постепенном понижении температуры. Наиболее низкие температуры отмечаются в непосредственной близости от дна и в верхнем слое сапропелей. В глубоких, укрытых от ветра водоемах слой гиполимниона в июле обычно занимает более половины толщи воды в точке максимальной глубины (рис. 5.5). В открытых озерах этот слой непостоянен и имеет небольшую мощность.

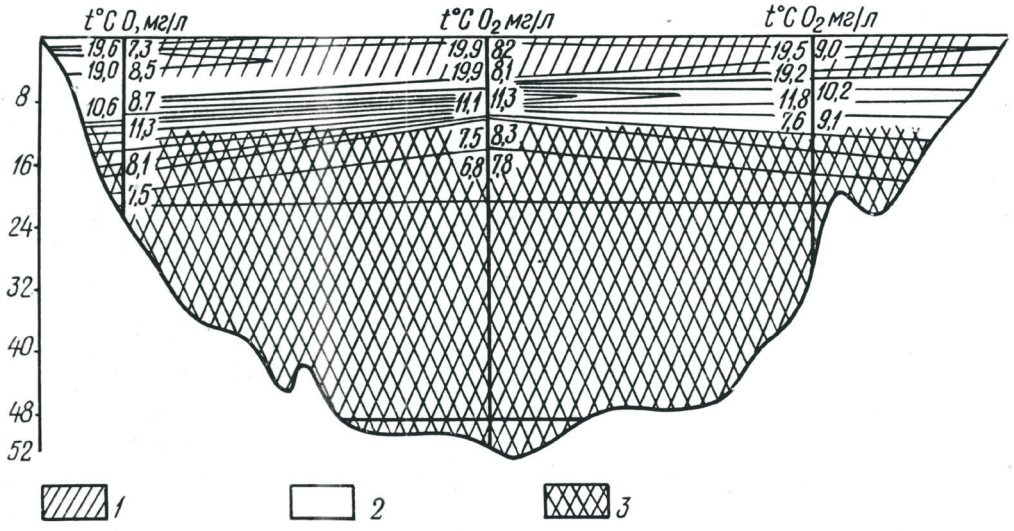


Рис. 5.5. Распределение температуры воды и кислорода по поперечному профилю оз. Долгое (29.06.1965). Условные обозначения: *1* – эпилимнион, *2* – металимнион, *3* – гиполимнион

Изучение законов летней температурной стратификации имеет большое значение, так как в каждом вертикальном слое водной массы меняются физические свойства воды, характер биохимических процессов и условия обитания живых организмов. В эпилимнионе создаются наиболее благоприятные условия жизни: много света, тепла, преобладают окислительные процессы, формируется первичная продукция и пр. В металимнионе при резком падении температуры и повышении плотности меняется газовый режим, условия проникновения света. Нередко отмечается массовая гибель микроорганизмов. В слое гиполимниона при отсутствии освещения погибают живые растительные организмы, сокращается количество кислорода или он вовсе исчезает, все большее значение приобретают восстановительные процессы, иногда образуется сероводород.

Летом в верхнем слое донных отложений температура на несколько десятых градуса ниже, чем в придонном слое воды. В отдельных глубоких озерах (Долгое, Кривое) понижение температуры зависит от характера отложений и может распространяться на некоторое расстояние в водном слое. В оз. Кривом, например, в северном плесе, занятом черными ожелезненнымми илами, летом температура у дна выше, чем в южном плесе, выстланном светло-оливковым глинистым илом. В оз. Долгом в северо-западном плесе с темными илами и повышенным содержанием железа температура выше, чем в юго-восточном плесе с глинистыми илами.

Зимой существует обратная зависимость: в верхнем слое отложений температура более высокая, чем в придонном слое воды. Очевидно, донные отложения даже глубоких озер летом поглощают определенное количество тепла, а зимой выделяют. Количество поглощенного и возвращенного тепла связано с типом осадков и в той или иной мере отражает интенсивность биохимических процессов в них.

Соответственно температурному режиму изменяется и степень насыщения придонных слоев воды кислородом. Распределение температуры на поверхности озер в летний период также имеет ряд особенностей, которые объясняются условиями погоды, характером и глубиной котловины, притоком речных вод, развитием растительной полосы и др.

В обычные теплые летние дни более высокая температура вблизи берегов, особенно в зарослях макрофитов. Здесь на 1,5–2° теплее, чем в открытой части озера. При резкой смене теплой погоды холодной и ветреной прибрежные участки охлаждаются очень быстро, а в центре удерживается более высокая температура.

Переход к осеннему режиму обычно начинается во второй половине сентября, после холодных ночей. Благодаря незначительным вертикальным градиентам уменьшается термическое сопротивление ветровому перемешиванию и слой скачка опускается или вовсе исчезает. В отдельные дни

по утрам наблюдается мезотермия, т. е. повышение температуры на некоторой глубине, связанное с резким ночным охлаждением поверхности. Это обычно кратковременное явление днем сменяется прямой температурной стратификацией.

В октябре наряду с ветровым усиливается конвекционное перемешивание воды и вся толща приобретает одинаковую температуру. Осенняя гомотермия наступает при разной температуре, однако в мелководных озерах намного раньше, чем в глубоководных. В последних вертикальное расслоение может удерживаться даже при средней температуре воздуха около 0°. Например, 30–31 октября 1964 г. максимальная температура на поверхности оз. Кривого достигала 8,1°, а на глубине 29 м – 5,15°. Слой скачка с градиентом 1,7° наблюдался на глубине 15,5–16 м. Температура воды на поверхности неглубокого оз. Отолово не поднималась выше 7,8°, а на глубине 14 м вблизи дна составляла 7,5°. Температурный скачок отсутствовал. Мелководное оз. Черствяты имело поверхностную температуру 3,5°, а на глубине 3,2 м – около 4°. Таким образом, в одно и то же время при одинаковой погоде глубокое озеро еще сохраняло летний режим, озеро средней глубины приближалось к гомотермии, а мелководное уже имело признаки зимнего режима температуры. По-видимому, эта особенность отражается на величине теплозапаса озер.

После охлаждения всей массы воды до 4 °С начинается переход к зимнему режиму. Он наступает с момента понижения поверхностной температуры до 0° и появления первых признаков льда. Но перед установлением постоянного ледяного покрова верхние слои воды еще долго перемешиваются под воздействием ветра. Этот процесс способствует охлаждению водной массы ниже 4°. Вот почему зимние температуры глубоких озер обычно 2,5° и даже ниже. Более высокие температуры в глубоких водоемах наблюдаются лишь в условиях безветренной погоды и быстрого образования устойчивого ледяного покрова.

В мелководных водоемах, заполненных сапропелями, процесс теплоотдачи донными отложениями весьма интенсивен, особенно в начале зимнего периода. Уже в середине декабря вблизи дна температура в таких озерах достигает 4°, а в верхнем слое отложений она на 0,5–1° выше. Процесс зимнего разогревания может пойти еще дальше. Так, в феврале 1968 г. в придонном слое мелководных озер Баторин, Ковальки, Сивцы, Черствяты температура достигла 5,1°. В это же время более глубокие озера Нарочь, Мядель, Рудаково имели температуры около 2,8–3°. Одновременно во всех мелководных озерах придонные слои оказались лишенными кислорода, а в озерах Баторин, Черствяты наблюдались заморы, продолжительные из-за большой (около 70 см) толщины ледяного покрова. Объясняется это явление следующим образом. В результате усиленной теплоотдачи ниж-

ние слои воды нагрелись выше 4°. Лежащий над ними слой воды с более низкой температурой и более тяжелый препятствовал конвекционному перемешиванию. Содержащийся в придонном слое кислород постепенно был истрачен на процессы гниения, и начались заморные явления.

5.6.3. Ледовый режим озер

Осеннее охлаждение воды начинается в августе. Вначале водные массы теряют тепло незначительно, а в августе интенсивность охлаждения воды достигает 0,5° С в сутки. Для мелководных водоемов потери запасов тепла к этому времени составляют около 70 %. Особенно интенсивно охлаждение происходит на акватории с глубинами до 0,5 м, где появляются первые ледовые образования в виде заберегов. При температуре воздуха –5° С и ниже на открытых участках образуются шугоходы. Продолжительность осенних ледовых явлений обычно небольшая – в среднем не превышает недели, однако в отдельные годы этот период может растягиваться до 50 сут.

Разные сроки замерзания и его продолжительность определяются погодными условиями и морфометрическими показателями озер. При одних и тех же погодных условиях мелководные водоемы замерзают одновременно по всей акватории (в 65 % случаев). На глубоководных и сложных по конфигурации (Лепельское) замерзание происходит несколько позже и ледоставу в 84 % случаев предшествуют забереги с продолжительностью существования до 8 сут.

Начало устойчивого ледостава совпадает с датой перехода температур воды через 0,2 °С, которая в среднем приходится на первую декаду декабря, а самая ранняя дата отмечена 11 ноября 1965 г. (Лепельское). Здесь же зафиксированы и самый поздний срок установления ледостава (17 января).

Средняя продолжительность ледостава составляет 120–130 дней. Наибольшая продолжительность (155 дней) отмечена зимой 1968–1969 гг. на Заславльском водохранилище, наименьшая (47 дней) – Лепельском озере.

В большинстве случаев в начале декабря все водоемы покрываются льдом и к концу месяца его мощность достигает 25 см с максимальными возможными значениями до 45 см. По данным наблюдений на гидрологических постах, в среднем за сутки толщина ледового покрова в начальный период достигает 2–3 см в сутки. При благоприятных гидрометеорологических условиях интенсивность нарастания может достигать 5 см в сутки.

После образования устойчивого ледостава уже в первой половине января нарастание достигает 50 % от максимальной толщины льда за весь

зимний сезон, в первой декаде февраля – 90 %, а в конце февраля – начале марта толщина льда достигает максимальных значений.

Если замерзание происходит достаточно быстро и в безветренную погоду, то ледяной покров всегда имеет ровную поверхность с однородным строением и одинаковой толщиной. При растянутом процессе замерзания с воздействием ветра происходит образование неровной поверхности и неровной толщи ледяного покрова. При наличии снежного покрова во время оттепели начинает происходить прирост льда сверху, причем нарастание снежного льда в отдельные годы может достигать до 30 % общей толщины льда. Время наступления максимальной толщины льда довольно сильно варьирует.

Если на поверхности льда снег отсутствует, в конце зимы значительно повышается температура верхнего слоя воды за счет прогревания солнечными лучами, а в мелководных озерах при этом развиваются диатомовые и даже синезеленые водоросли.

С зимним температурным режимом тесно связаны ледовые явления. Образование ледяного покрова в разные годы и на различных озерах происходит не в одно время. Устойчивый покров на озерах Беларуси появляется в конце ноября – начале декабря. В конце декабря толщина льда составляет 20–35 см, а к началу марта достигает 60–80 см.

Процесс установления ледяного покрова постепенный. В морозную тихую погоду на поверхности воды образуется ледяная пленка из мелких кристалликов. Штилевая погода благоприятствует возникновению небольших, прозрачных льдинок блинчатого льда, которые, смерзаясь и утолщаясь, образуют ледяные поля. У берега формируются забереги. Сильный ветер их взламывает, передвигает, и они наползают друг на друга, образуя неровную поверхность торосистого льда. В конце концов забережный лед соединяется с ледяными полями, создавая сплошной покров, который еще неоднократно может разламываться и вновь объединяться. Позднее при зимних оттепелях на поверхности льда вблизи берегов нередко появляются полосы талой снеговой воды. При последующем понижении температуры вода уходит сквозь трещины и поверхность льда снова становится ровной.

Структура льда имеет большое значение для проникновения в озеро солнечных лучей и зависит от условий замерзания. В результате относительно спокойного замерзания формируется водный прозрачный кристаллический лед. Если по трещинам кристаллического льда выходит вода, образуется мутный непрозрачный водно-снеговой лед. На него находит зернисто-шуговый лед, возникающий после сильного волнения воды и неравномерного ее замерзания. Наконец, частое оттаивание и замерзание снега, лежащего на поверхности льда, способствует образованию снегового льда, непрозрачного, нередко слоистого.

Образование трещин характерно для всего зимнего периода. Возникают они при резком похолодании и потеплении на всей поверхности льда, но особенно часто вдоль береговой линии. Ширина трещин обычно не более 2–3 см, их направление нередко повторяется из года в год.

Сроки наступления весенних ледовых явлений в каждом конкретном году зависят от суровости зим, что определяет толщину льда, и от времени устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С к положительным значениям. В апреле, с переходом температуры воды через 0,2 °С (первая декада апреля), толщина льда начинает интенсивно уменьшаться. С повышением температуры воды более 1 °С в последующие 10–12 дней водные акватории полностью очищаются ото льда.

Чаще всего исчезновение ледяного покрова происходит постепенно в течение 5–15 дней. Продолжительность процесса зависит от температуры воздуха, направления ветра, колебания уровня воды в связи с таянием снега на территории бассейна. Обычно в конце апреля – начале мая озера освобождаются от ледяного покрова, однако в отдельные годы на крупных водоемах лед сохраняется до середины мая. Общая продолжительность ледостава – приблизительно 150 дней. Озера Полесья вскрываются на 10–12 дней раньше.

5.7. Теплозапас озер

Изучение температурного режима позволяет определить теплозапас озера, т. е. количество тепла, заключенного в водной массе озера. Большинство исследователей для расчета теплозапасов озер используют метод американского ученого Е. Берджа, примененный им для оз. Мендота в 1927 г.

Чтобы определить теплозапас, необходимо знать распределение температуры воды по вертикали в точке максимальной глубины, объем водной массы по слоям с сечением в 1 м, приведенную мощность каждого слоя (частное от деления объема слоя на площадь озера) и среднюю температуру слоя. Теплозапас каждого слоя будет равен произведению средней температуры слоя на его приведенную мощность. Теплозапас озера – это сумма теплозапасов всех слоев с разной температурой.

Кроме метода расчета теплозапаса, Бердж ввел понятие о годовом тепловом бюджете озер. Последний определяется как разность между максимальным и минимальным за год теплозапасом и означает количество тепла (в калориях), необходимое для нагрева от минимальной до максимальной температуры столба воды сечением в 1 $см^2$ и высотой, равной средней глубине озера. Поэтому его величина во многом определяется средней глубиной озер (рис. 5.6).

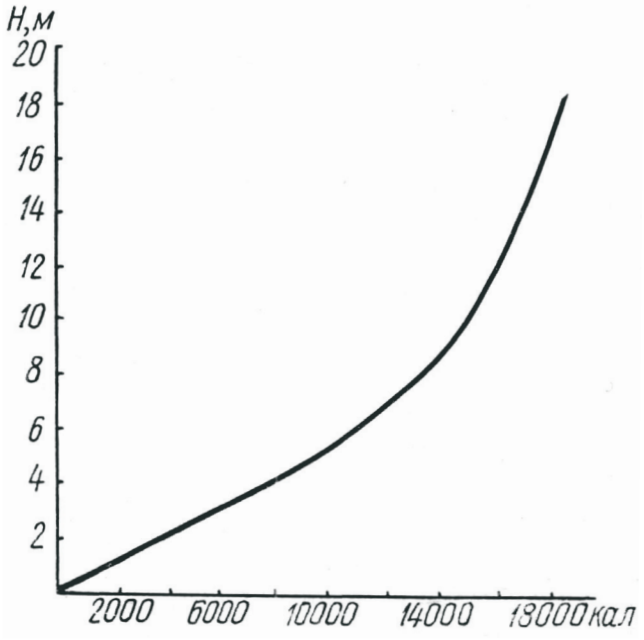


Рис. 5.6. График зависимости величин годового теплового бюджета от средней глубины озер

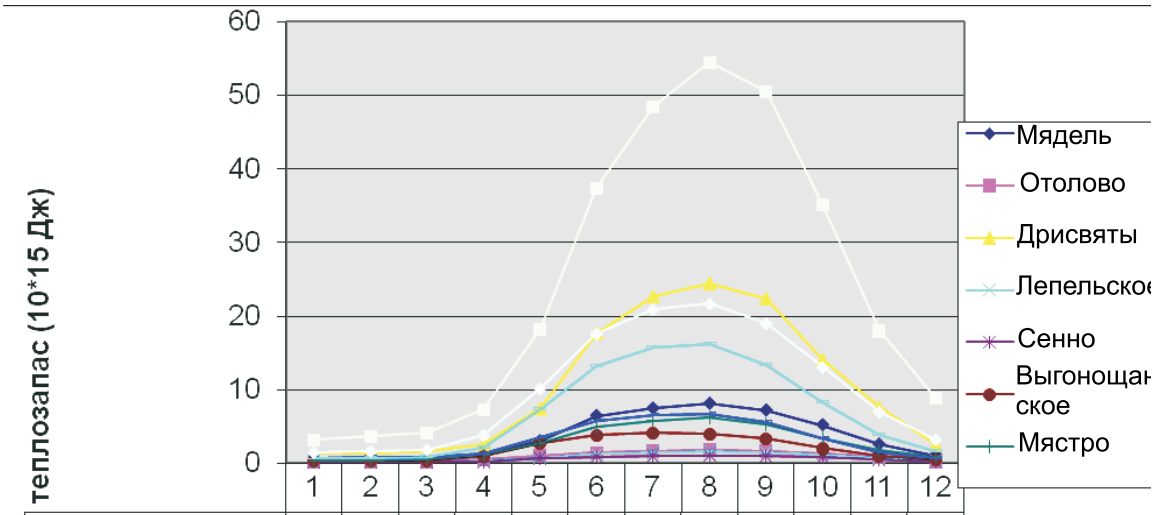
Общий теплозапас является функцией объема водной массы и средней глубины озера. Естественно поэтому, что наибольшей величины общий теплозапас достигает в крупных водоемах (Нарочь, Струсто, Мядель). Однако величина теплозапаса и годовой бюджет тепла (кал/см^2) имеют наибольший показатель в небольших, но глубоких озерах (Долгое, Гиньково, Кривое, Волос). Эта особенность отражает своеобразие котловин и главным образом большую мощность слоя воды на единицу площади поверхности.

Динамика теплозапаса в озерах в течение года имеет сходные черты (рис. 5.7). В период с апреля по май для всех озер отмечается как период интенсивного прогревания. Начиная с мая по июль теплозапас продолжает расти более медленно. Максимальные запасы тепла в озерах Белорусского Поозерья приходятся на конец июля – начало августа. Самые низкие показатели тепла отмечены в конце января – начале февраля, хотя в мелководных озерах они иногда смещаются к началу января.

В многолетнем разрезе исследованные озера имеют устойчивый тренд к увеличению максимального теплозапаса (рис. 5.8). За рассматриваемый период наибольшей изменчивостью отличается величина максимального теплозапаса оз. Выгонощанское и тренд его величины имеет отрицательный знак. Вероятно, этот аспект объясняется климатическими особенностями Полесья и мелководностью озера. Динамика величины максимального теплозапаса крупных озер Поозерья имеет положительный тренд и колебания его величины незначительные (Нещердо, Дрисвяты, Нарочь). Максималь-

ный теплозапас оз. Лукомское поддерживается в пределах 50–60 10^{15} Дж, что на порядок выше, чем в других водоемах, и устойчив в многолетнем разрезе. Масимальный теплозапас небольших озер имеет отрицательный трен и колеблется в небольших пределах (Мядель, Отолово).

Термический бюджет озера определяется как разность между максимальным (летним) и минимальным (зимним) теплозапасами озер. Другими словами, тепловой бюджет показывает количество тепла, необходимого для нагревания водной массы от минимального до максимального значения теплозапаса озера. Амплитуда колебаний абсолютных величин термического бюджета разнотипных озер незначительная и в многолетнем разрезе за расчетный период отличается устойчивым характером, колеблется в небольших пределах и для различных в Дж ($n = 10^{15}$) она составила: для оз. Выгонощанское – (3–6), Дрисвяты (17–22), Мядель (6–10), Отолово (1,5–2,0), Нарочь (46–60), Нещердо (5–8).



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Мядель	0,58	0,72	0,85	1,18	3,01	6,44	7,44	8,1	7,18	5,19	2,56	1,09
Отолово	0,19	0,21	0,24	0,5	0,95	1,38	1,58	1,77	1,64	1,32	0,78	0,24
Дрисвяты	1,26	1,28	1,53	2,56	7,42	17,7	22,7	24,5	22,4	14,1	7,58	2,51
Лепельское	0,14	0,14	0,17	0,3	0,69	1,21	1,41	1,61	1,52	1,2	0,6	0,26
Сенно	0,2	0,16	0,18	0,18	0,62	0,85	0,99	1	0,95	0,8	0,46	0,13
Выгонощанское	0,34	0,35	0,41	0,9	2,74	3,8	4,08	3,95	3,29	1,99	0,97	0,47
Мястро	0,29	0,34	0,52	1,1	2,67	4,87	5,75	6,18	5,23	3,39	1,71	0,73
Дривяты	0,75	0,77	0,89	1,27	3,6	5,74	6,62	6,73	5,67	3,46	1,48	0,69
Нарочь	0,75	0,68	0,88	2,05	7,38	13,2	15,8	16,2	13,3	8,25	3,79	1,63
	1,4	1,57	1,78	3,75	10,1	17,6	20,9	21,7	19	13,1	6,95	3,14
	3,16	3,56	4,07	7,22	18,2	37,4	48,4	54,5	50,6	35,2	18	8,88

Рис.5.7. Средний теплозапас за весь период инструментальных наблюдений (1966–2004 гг).

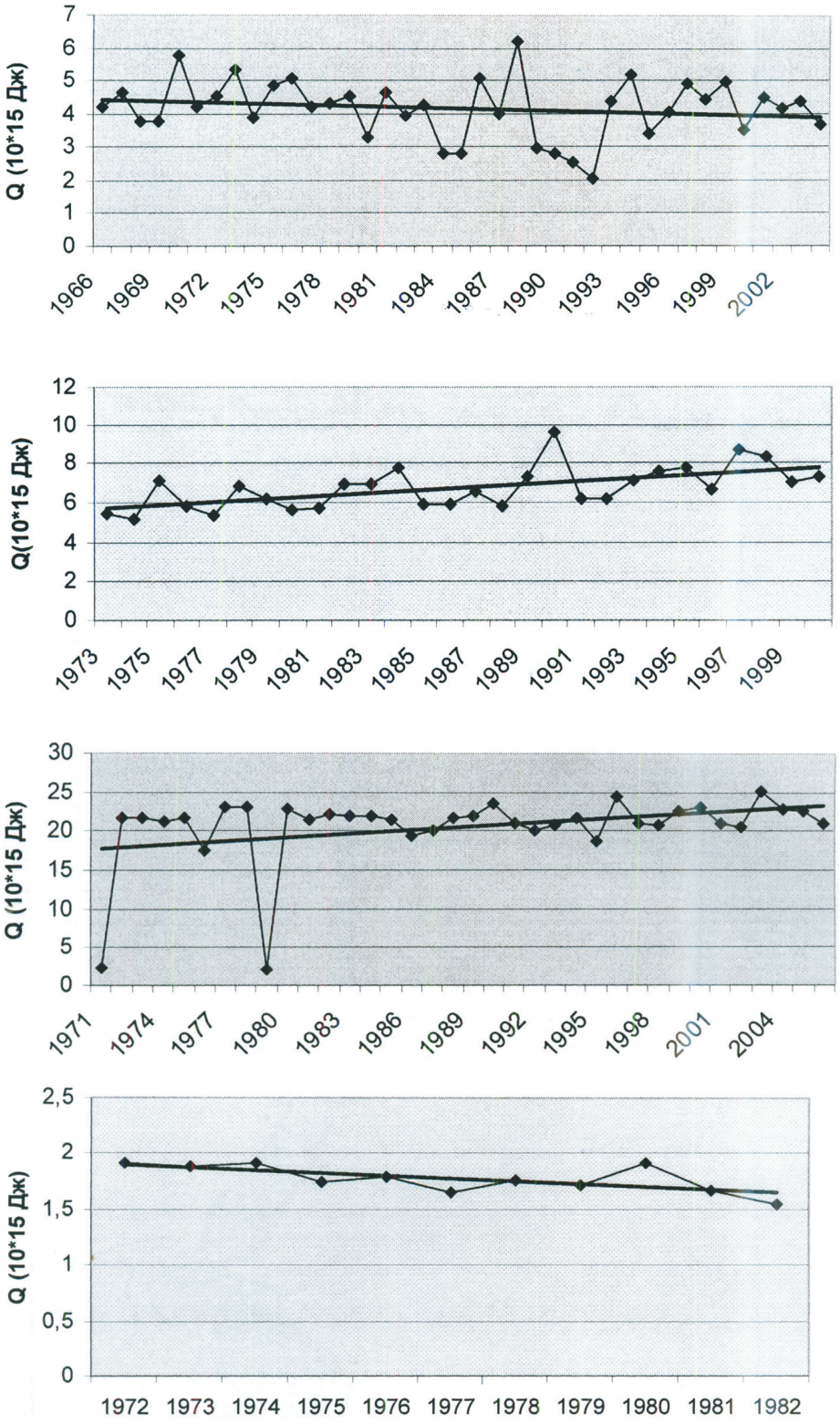


Рис. 5.8. Изменение максимального теплозапаса разнотипных озер Белорусского Поозерья и Белорусского Полесья (сверху вниз: озера Выгонощанское, Нещердо, Лукомское, Отолово)

Указанные абсолютные величины амплитуды колебания термического бюджета отражают объемы водных масс и морфометрические показатели озер.

Для сравнительной характеристики теплозапаса и температурного бюджета озер используются относительные показатели, рассчитываемые на единицу площади или единицу объема озер.

5.8. Типизация озер по температурному режиму

По характеру температурного режима озера Беларуси разделяются на несколько групп.

К *первой группе* относятся ярко стратифицированные небольшие, но глубокие озера с низкими температурами года (Долгое, Гиньково). Летом средние температуры по линии максимальной вертикали опускаются до 8,5. На долю гиполимниона в это время приходится 30–50 % общего объема водной массы. Годовой тепловой бюджет этой группы озер максимальный в условиях Белорусского Поозерья (табл. 5.8).

Таблица 5.8

Отношение объемов термических зон и водной массы озер

Озеро	Объем, млн м^3	Эпилимнион			Металимнион			Гиполимнион		
		Мощность, м	Объем, млн м^3	Доля в общем объеме, %	Мощность, м	Объем, млн м^3	Доля в общем объеме, %	Мощность, м	Объем, млн м^3	Доля в общем объеме, %
Долгое	43,20	6	13,35	35,0	4	6,68	15,5	43	23,14	53,4
Кривое	42,98	7	20,36	47,3	3	6,28	14,6	20	16,30	36,0
Гиньково	7,96	7	3,11	39,0	3	0,95	12,0	32	3,90	49,0
Волос Южный	15,0	10	7,64	50,7	3	1,60	11,2	37	5,70	38,0
Нарочь	710,4	15	608,0	83,6	4	7,90	10,83	6	25,10	3,54
Мястро	102,0	12	96,53	94,0	4	3,40	3,3	8	2,07	1,8
Волос Северный	30,50	10	25,02	82,3	5	3,99	13,1	13	1,51	4,95
Снуды	107,0	10	104,80	97,3	2	2,10	1,69	3	0,30	0,20
Струсто	84,3	14	81,80	97,0	2	1,50	1,8	4	0,90	1,1
Каймин	1,13	4	0,86	73,5	2	0,19	18,0	5	0,1	8,9
Губиза	1,44	5	0,96	66,5	2	0,25	17,5	5	0,28	15,3

Вторая группа включает значительные по площади, но слабостратифицированные, средне- и неглубокие водоемы (Нарочь, Снуды). Доля гиполимниона в общем объеме воды не превышает 2–3 %. Несмотря на

высокие летние температуры и большой объем, годовой тепловой бюджет их несколько ниже, чем озер первой группы.

К *третьей группе* принадлежат нестратифицированные мелководные водоемы различной площади (Баторин, Шо). Тепловой запас их отражает взаимодействие объема водной массы и степени ее нагревания в определенный период года. Тепловой бюджет таких водоемов меньше, чем тепловой бюджет озер первой и второй групп.

Несколько в особом положении находится *четвертая группа* небольших, средне- и неглубоких озер (Иодово, Губиза, Каймин). Озера этой группы отличаются резко выраженной летней стратификацией и низкими температурами гиполимниона. По морфологическим особенностям они приближаются к первой группе озер, что отражается и в повышенных показателях их годового теплового бюджета.

К *четвертой группе* относятся озера, подверженные тепловому загрязнению (озера Лукомское, Белое, Черное) (рис. 5.9).



Рис. 5.9. Термические зоны оз. Лукомское.
Штриховка – зона подмеса

В условиях подогрева водная масса оз. Лукомское сохраняет термическую структуру и главные черты температурного режима, присущие озерам умеренной зоны. Однако в условиях теплового загрязнения в озере возникают аномальные участки с сильным, слабым и умеренным подогревом, режим которых отличается от зональных особенностей умеренных широт.

В температурном режиме им соответствуют зоны: 1) полимиктическая с сильно нарушенным термическим режимом и повышенным термическим фоном; 2) полимиктическая с незначительно нарушенным термическим режимом и существенным повышенным термическим фоном; 3) димиктическая с ненарушенным термическим режимом и близким к естественному термическим фоном. Две первые зоны принадлежат центральной и восточной части озера и испытывают активный подмес.

ГЛАВА 6

ГАЗОВЫЙ РЕЖИМ

Газовый режим озер выражает законы проникновения основных газов в водную среду. Поступление кислорода, углекислого газа из атмосферы в воду, развитие живых организмов в водоеме, морфометрические особенности котловины и влияние стоков поступающих с водосборов – основные факторы газового режима озер. Кривая поведения кислорода напоминает температурные кривые и соответствует периодам циркуляций и стагнаций. Летом наиболее богат кислородом эпилимнион как за счет поступления его из атмосферы, так и за счет фотосинтезирующей деятельности водорослей. В мелководных озерах в июле–августе нередко наблюдается «цветение» воды и кислородное перенасыщение (120–130 %). В глубоких и холодных водоемах в естественных условиях «цветение» не наблюдается. В металимнионе в связи с резким падением температуры и массовой гибелью планктонных организмов содержание кислорода заметно уменьшается. В гиполимнионе стратифицированных озер летом возникает кислородный дефицит, а вблизи дна содержание кислорода нередко падает до нуля.

Внешние факторы поступления, распределения и потребления газов в воде связаны с климатическими особенностями: временем года, температурой и давлением воздуха, силой и направлением ветра, наличием ледяного покрова и др. К числу внутренних факторов, контролирующих газовый режим, причисляются жизнедеятельность организмов, населяющих водоем, интенсивность процессов, происходящих в слое осадков, морфометрические особенности озерной котловины. Нередко существенно меняется газовый режим озер под влиянием хозяйственной деятельности человека. Наиболее контрастно это влияние ощущается при тепловом загрязнении озер.

Главными газами, которые находятся в растворенном виде в воде, являются кислород, углекислый газ, азот; реже аммиак, сероводород и метан. При этом в воде растворенного азота примерно в два раза больше, чем кислорода. При обычном для воздуха парциальном содержании кислорода, азота и углекислоты и нормальном давлении содержание их при температуре 5 и 25 ^{o}C указано в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Зависимость содержания азота и углекислоты при нормальном давлении в озерной воде (Китаев, 2007)

Температура, °С	Кислород	Азот	Углекислота, мг/л
3	10,72	32,3	0,94
25	8,23	14,0	0,59

Наибольшее значение для жизни озер имеет кислород. По характеру распределения по вертикали А. Тинеман разделил все водоемы на субальпийские и балтийские типы, которые соответствовали олиготрофному и эвтрофному типам. Кроме того, А. Тинеман рассчитал количество кислорода в эпилимнионе (Е) и гиполимнионе (Н) в период стагнации и установил, что если Н/Е более 1, то такие водоемы чаще всего олиготрофные, а менее 1 – эвтрофные. Для шведских озер разработана классификация по характеру распределения кислорода по вертикали. В случае равномерного распределения кислорода такое распределение назвали ортоградным, что соответствовало субальпийскому типу по А. Тинеману (Б. Аберг, В. Роде, 1942). В большинстве озер окислительные процессы в мета- и гиполимнионе с глубиной уменьшают и содержание кислорода, а в некоторыъх случаях у дна его содержание снижается до нуля. Такая кривая распределения кислорода с глубиной получила название клиноградной. Как показывают исследования в отдельных озерах, чаще всего в металимнионе и гиполимнионе встречается минимум или максимум содержания кислорода. Такая кривая распределения содержания кислорода называется негативно-гетероградной или позитивно-гетероградной. Эти же названия Б. Аберг, В. Роде кривых распределения кислорода по вертикали они использовали и для стратификации цветности. Для большинства ингредиентов и их кривых стратификации Китаев предложил унифицированные названия: гомоградия, анаградия, катаградия, мезоградия, дихаградия и пойкилоградия (табл. 6.2).

Каждой температуре, солености и давлению соответствует определенное количество кислорода, способное растворяться в воде при данных условиях (табл. 6.3). Это количество принимается за 100 % насыщения. Обогащение водоема кислородом до предела насыщения идет путем растворения его из атмосферы. Второй источник поступления – фотосинтез зеленых растений. Потребление кислорода в воде происходит при дыхании животных организмов, в процессе окисления, разложения органического вещества в воде и донных отложениях.

Таблица 6.2

Форма расслоения температуры, солености, цветности, содержания кислорода и других показателей водной толщи континентальных водоемов

	Тип стратификации кислорода и других показателей				
Температура Krummel, 1895*	Соленость Krummel, 1895*	Цветность, Фортунатов, 1959	Thienemann, 1928	АЬег, Rodhe, 1942	Китаев
Гомотермия Анатермия Кататермия Мезотермия Дихатермия Пойкилотермия	Гомогалинность Анагалинность Катагалинность Мезогалинность Дихагалинность Поикилогалинность	Гомохромный Анахромный Катахромный Мезохромный Дихахромный Пойкилохромный	Олиготрофный Евтрофный	Ортоградный Клиноградный + гетероградный – гетероградный	Гомоградный Анаградный Катаградный Мезоградный Дихаградный Пойкилоградный

Таблица 6.3

Изменение насыщения содержания кислорода в поверхностных слоях воды при нагревании и охлаждении (цитируется по Хатчинсону)
При атмосферном давлении 760 мм рт. ст. и температуре от 0 до 35° (по Тьюсдалу, Довингу, Лоудену)

Температура	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	14,16	14,12	14,08	14,04	14,00	13,97	13,93	13,89	13,85	13,81
1	13,77	13,74	13,70	13,66	13,63	13,59	13,55	13,51	13,48	13,44
2	13,40	13,37	13,33	13,30	13,26	13,22	13,19	13,15	13,12	13,08
3	13,05	13,01	12,98	12,94	12,91	12,87	12,84	12,81	12,77	12,74
4	12,70	12,67	12,64	12,60	12,57	12,54	12,51	12,47	12,44	12,41
5	12,37	12,34	12,31	12,28	12,25	12,22	12,18	12,15	12,12	12,09
6	12,06	12,03	12,00	11,97	11,94	11,91	11,88	11,85	11,82	11,79
7	11,76	11,73	11,70	11,67	11,64	11,61	11,58	11,55	11,52	11,50
8	11,47	11,44	11,41	11,38	11,36	11,33	11,30	11,27	11,25	11,22
9	11,19	11,16	11,14	11,11	11,08	11,06	11,03	11,00	10,98	10,95
10	10,92	10,90	10,87	10,85	10,82	10,80	10,77	10,75	10,72	10,70
11	10,67	10,65	10,62	10,60	10,57	10,55	10,53	10,50	10,48	10,45
12	10,43	10,40	10,38	10,36	10,34	10,31	10,29	10,27	10,24	10,22
13	10,20	10,17	10,15	10,13	10,11	10,09	10,06	10,04	10,02	10,00
14	9,98	9,95	9,93	9,91	9,91	9,89	9,85	9,83	9,81	9,78
15	9,76	9,74	9,72	9,70	9,68	9,66	9,64	9,62	9,60	9,58
16	9,56	9,54	9,52	9,50	9,48	9,46	9,45	9,43	9,41	9,39
17	9,37	9,35	9,33	9,31	9,30	9,28	9,26	9,24	9,22	9,20
18	9,18	9,17	9,15	9,13	9,12	9,10	9,08	9,06	9,04	9,03
19	9,01	8,99	8,98	8,96	8,94	8,93	8,91	8,89	8,88	8,86
20	8,84	8,83	8,81	8,79	8,78	8,76	8,75	8,73	8,71	8,70
21	8,68	8,67	8,65	8,64	8,62	8,61	8,59	5,58	8,56	8,55
22	8,53	8,52	8,50	8,49	8,47	8,46	8,44	8,43	7,41	8,40
23	8,38	8,37	8,36	8,34	8,33	8,32	8,30	8,29	8,27	8,26
24	8,25	8,23	8,22	8,21	8,19	8,18	8,17	8,15	8,14	8,13
25	8,11	8,10	8,09	8,07	8,06	8,05	8,04	8,02	8,01	8,00
26	7,99	7,97	7,96	7,95	7,94	7,92	7,91	7,90	7,89	7,88
27	7,86	7,85	7,84	7,83	7,82	7,81	7,79	7,78	7,77	7,76
28	7,75	7,74	7,72	7,71	7,70	7,69	7,68	7,67	7,66	7,65
29	7,64	7,62	7,61	7,60	7,59	7,58	7,57	7,56	7,55	7,54
30	7,53	7,52	7,51	7,50	7,48	7,47	7,46	7,45	7,44	7,43
31	7,42	7,41	7,40	7,39	7,38	7,37	7,36	7,35	7,34	7,33
32	7,32	7,31	7,30	7,29	7,28	7,27	7,26	7,25	7,24	7,23
33	7,22	7,21	7,20	7,20	7,19	7,18	7,17	7,16	7,15	7,14
34	7,13	7,12	7,11	7,10	7,09	7,08	7,07	7,06	7,05	7,05
35	7,04	7,03	7,02	7,01	7,00	6,99	6,98	6,97	6,96	6,95-

На основании анализа данных по содержанию кислорода (в % насыщения в более 1 тыс. озер в поверхностных слоях в летний период выделено пять групп озер (Китаев, 2007):

1. Озера с очень высоким содержанием кислорода – более 115 % насыщения.
2. Озера с высоким содержанием кислорода – 110–115 %.
3. Озера со средним содержанием кислорода – 100–115 %.
4. Озера с низким содержанием кислорода – 70–85 %.
5. Озера с очень низким содержанием кислорода – менее 70 % насыщения.

В озерах зоны смешанных лесов перенасыщение поверхностных слоев кислородом поверхностных слоев воды вызвано преимущественно фотосинтезом.

При нагревании озерной воды или ее охлаждении наблюдается перенасыщение или дефицит кислорода в поверхностных слоях воды. Перенасыщение или дефицит содержания кислорода от нормального насыщения, вызванные изменением температуры вод, получили название кислородного гистерезиса (+ или –). Такое явление чаще всего встречается в олиготрофных водоемах с низкой цветностью воды (рис. 6.1).

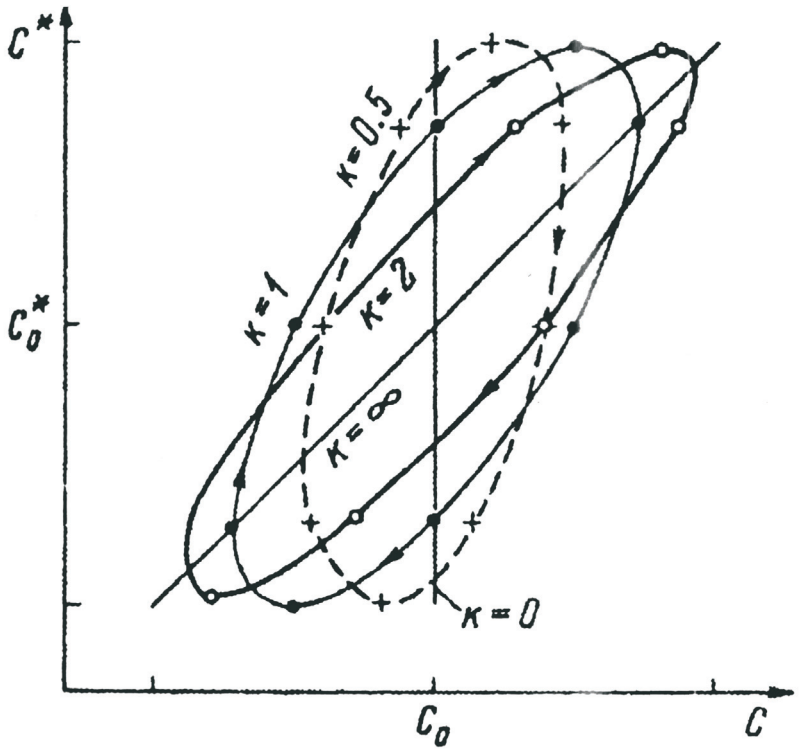


Рис. 6.1. Теоретические кривые кислородного гистерезиса (Форш – Меншуткина, 1973): *C* – концентрация O_2 в момент времени *t* (в усл. ед.); C^x – концентрация O_2, соответствующая насыщению в момент времени t (в усл. ед.)

Убыль или прибыль свободной угольной кислоты CO_2 также происходит путем обмена с атмосферой. Угольная кислота выделяется в воду при дыхании организмов и окислении органических веществ. Поглощение углекислоты сопровождает фотосинтез. Процессы насыщения углекислотой и ее потребление сочетаются с образованием углекислых (карбонатных) и двууглекислых (бикарбонатных) соединений, главным образом со щелочноземельными металлами Ca и Mg.

Поведение углекислого газа в период летней стагнации противоположно кислороду. Под влиянием фотосинтеза верхние слои воды обеднены CO_2 или даже вовсе его лишены. В придонных слоях содержание резко увеличивается (до 30–40 мг/дм^3), а в условиях анаэробной среды сочетается с появлением сероводорода. Осенний и весенний периоды циркуляции характеризуются состоянием гомооксигении, которая сопровождает гомотермические условия.

Содержание двуокиси углерода тесно связано с величиной pH. Величина pH определяется содержанием двуокиси углерода, органических кислот, зависит от соотношения с ионами HCO_3, H_2C_2, Ca, Mg. Водоросли обычно ассимилируют свободную CO_2, оптимум ассимиляции в очень большой степени и от содержания CO_2, и pH, и других факторов. Величина CO_2 в воде, находящейся в равновесном состоянии с атмосферным воздухом, составляет доли мг/л (0,886 мг CO_2/л при температуре 6 ^oC и 0,557 мг CO_2/л при температуре 20 ^oC. Среднее содержание CO_2 в разных природных зонах составляет более 3 мг/л и определяется жизнедеятельностью водных организмов. Обычно с увеличением pH содержание CO_2 уменьшается. При pH выше 8,5, как правило, свободная углекислота отсутствует. Среднее содержание двуокиси углерода летом в поверхностных слоях воды с увеличением pH уменьшается. В зоне смешанных лесов озера с содержанием CO_2 меньше 1,5 мг/л имеют среднюю величину pH 8,36, а в озерах с содержанием CO_2 более 12 мг/л – pH равно 7,8.

На основании данных по содержанию CO_2 в поверхностных слоях воды в летний период в разных природных зонах выделено пять классов озер (Китаев, 2007):

1. Очень высокое содержание CO_2 – более 12 мг/л.
2. Высокое содержание CO_2 – 6–12 мг/л.
3. Среднее содержание CO_2 – 3 6 мг/л.
4. Низкое содержание CO_2 – 1,5–3,0 мг/л.
5. Очень низкое содержание CO_2 – менее 1,5 мг/л.

Сероводород H_2S, иногда встречающийся в гиполимнионе озер Белоруссии, образуется при разложении белковых веществ и восстановлении сернокислых соединений – сульфатов. Оба процесса идут при полном отсутствии кислорода и при участии особых микроорганизмов. Во время циркуляции в условиях окислительной среды сероводород разрушается до сульфата.

Что касается азота, то он поступает в воду из атмосферы и находится в свободном состоянии, почти не принимая участия в биохимических процессах. В небольшом количестве свободный азот образуется в самом водоеме в процессе денитрификации (разложения) некоторых соединений азота.

От содержания и распределения в толще воды кислорода и углекислого газа зависит биологический круговорот: жизнь водных организмов, разложение органического вещества, образование автохтонных продуктов озера. Наиболее богат кислородом эпилимнион. Состояние перенасыщения в нем чаще всего приходится на июнь – июль. В глубоких прозрачных озерах зона фотосинтеза фитопланктона несколько опускается и кислородное перенасыщение нередко обнаруживается не на поверхности, на глубине нескольких метров, иногда приближаясь к зоне температурного скачка (металимнионный максимум, рис. 6.2).

23 июля 1965 г. в оз. Долгом максимальное содержание кислорода – 12 мг/л было обнаружено на глубине 8 м; в конце июня 1967 г. в оз. Укля на глубине 4 м количество кислорода увеличилось до 12,8 мг/л при поверхностном содержании около 8 мг/л. То же было в июне и июле 1965–1966 гг. в северном и южном плесах оз. Кривого, где на глубине около 6 м количество кислорода превышало 11 мг/л, а на поверхности сокращалось до 8,5–8 мг/л.

В среднеглубоких озерах, где максимум кислорода располагается у поверхности, в зоне металимниона нередко наблюдается кислородный скачок (металимнионный минимум). Это связано со скоплением в холодной, а следовательно, более плотной воде большого количества трупов планктонных организмов, опустившихся из верхних слоев, на разложение которых затрачивается большое количество кислорода.

Перенасыщение воды кислородом при одновременном полном поглощении углекислого газа наблюдается в ясную солнечную погоду. Особенно заметно оно в зоне макрофитов и у нагонного берега. В зоне макрофитов повышенное содержание кислорода связано с процессом фотосинтеза. У нагонного берега в связи с ветровым волнением и дрейфовыми течениями кислородное насыщение достигает максимальной величины.

В пасмурную погоду количество кислорода в прибрежных зарослях и в открытом водоеме снижается и уравнивается, так как интенсивность фотосинтеза снижается, а поступление кислорода в воду зависит почти исключительно от температуры и атмосферного давления. Одновременно появляется небольшое количество углекислого газа (2–3 мг/л).

Наиболее заметные суточные колебания кислорода характерны для мелководных, богатых жизнью озер. В среднеглубоких мезотрофных водоемах кислород на поверхности распределен более равномерно.

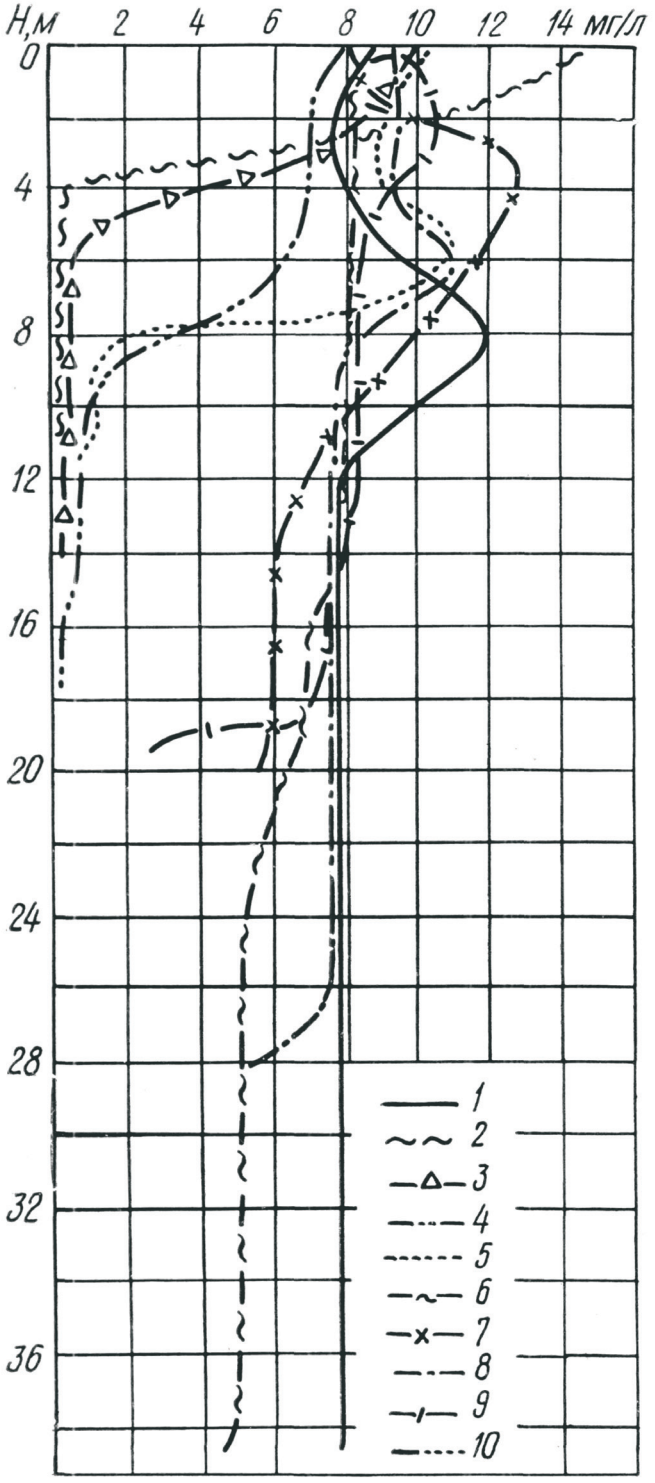


Рис. 6.2. Распредление кислорода по глубине (лето):
1 – Долгое, 2 – Малое Камайское, 3 – Туросы,
4 – Иодово, 5 – Губиза, 6 – Волос Южный, 7 – Укля,
8 – Кривое, 9 – Струсто, 10 – Большое Камайское
(по данным 1965–1968 гг.)

В глубоких озерах особенности летней температурной стратификации непосредственно отражаются на распределении кислорода по вертикали. С глубиной в кислородном балансе наступает скачок: непосредственное поступление его уменьшается, а в гиполимнионе прекращается вовсе, расход же увеличивается как на дыхание, так и на разложение органического вещества. Содержание кислорода в таких условиях может предельно сократиться. В отдельных озерах уже осенью наблюдается дефицит кислорода в придонных слоях.

Прямая стратификация кислорода летом соответствует обратной стратификации углекислого газа. При этом могут развиваться процессы, характерные для восстановительной среды: образование сероводорода, миграция железа, накопление грубодетритовых сапропелей и т. д.

В мелководных озерах (Баторин, Шо, Нобисто, Черствяты, Паулье) типичная прямая кислородная стратификация, которая в жаркие дни выражена достаточно резко, при значительном ветровом перемешивании сменяется гомооксигенией или состоянием, близким к ней. В таких условиях выравнивается количество углекислого газа.

На средних глубинах, но в небольших, укрытых от ветра котловинах ярко выражена кислородная стратификация с перенасыщением в верхнем слое, заметным переломом в металимнионе и глубоким дефицитом в гиполимнионе. Часто при этом кислород исчезает вовсе, количество углекислого газа увеличивается до 20–30 мг/л, а вблизи дна появляется сероводород (Туросы, Гульбеза, Сорочанское, Каймин).

В глубоких прозрачных озерах в ясные летние дни зона кислородного перенасыщения перемещается на некоторую глубину. Ниже ее и особенно в гиполимнионе содержание кислорода понижается, но никогда не достигает крайних величин, как во многих неглубоких озерах. Такое состояние кислородного режима присуще олигатрофным озерам.

Наиболее высокое и постоянное содержание кислорода по вертикали имеют относительно глубокие открытые озера, в режиме которых большую роль играет ветровое перемешивание (Нарочь, Мядель, Струсто). Дефицит кислорода в таких озерах наступает при длительной (бывает редко) штилевой погоде, но при изменении метеорологических условий высокое кислородное насыщение быстро восстанавливается. В течение июня – июля 1968 г. в оз. Снуды содержание кислорода на максимальной глубине лишь однажды понизилось до 33,3 %. За три года (1964–1966 гг.) в оз. Нарочь на глубине около 18 м кислородное насыщение в течение летней стагнации не опускалось ниже 75–86 %, и только 19 июля 1966 г. оно упало до 33,7 %.

В формировании кислородного режима играют роль биохимические процессы, происходящие в донных отложениях. В частности, в местах распространения высокоорганических или обогащенных железом

сапропелей придонные слои оказываются обедненными кислородом. Так, в течение 1964, 1965, 1967, 1969 гг. северный плес оз. Кривого, выстланный черными ожелезненными глубоководными илами, как летом, так и зимой был обеднен кислородом по сравнению с таким же глубоководным южным плесом, на дне которого распространены светлые глинистые илы. На глубине 29 м в северном плесе количество кислорода составило 4,3, а в южном – 5,1 мг/л.

Осенний кислородный режим озер выражается состоянием гомооксигении. К концу лета содержание кислорода в поверхностном слое все более соответствует распределению температуры. Гомооксигения наступает одновременно с осенней циркуляцией, и вся толща воды достигает одинакового насыщения кислородом.

Переход к осеннему кислородному режиму в разные годы и в различных озерах в зависимости от метеорологических условий и характера котловин совершается в неодинаковые сроки. При ясной и холодной погоде в среднеглубоких и мелководных озерах с открытой котловиной к концу сентября нередко устанавливается осенняя гомооксигения. Примером может служить оз. Нарочь, где понижение температуры воды и усиленное ветровое перемешивание способствуют появлению раннего осеннего режима. В 1966 г. гомооксигения здесь установилась уже во второй половине сентября. При температуре всей водной массы 13° содержание кислорода в поверхностных и придонных слоях колебалось от 90 до 88 %.

Вместе с тем в среднеглубоких, укрытых от ветра котловинах переход к осеннему кислородному режиму значительно затягивается, а осенняя гомооксигения в них, естественно, наступает при более низких температурах. В глубоких озерах летний режим кислорода (как и температур) может удерживаться до первых чисел ноября, и переход к состоянию гомооксигении соответствует установлению гомотермии при температуре 4°. Показательно в этом отношении оз. Кривое, где 30 и 31 октября 1964 г. сохранялись все признаки летней стагнации; количество кислорода в придонном слое понизилось до 3,1 мг/л при поверхностном содержании до 9 мг/л.

На мелководных водоемах при дальнейшем предзимнем охлаждении в условиях штилевой погоды может сказаться процесс придонного разогревания и поглощения кислорода. В результате еще до замерзания возникает заметный кислородный дефицит. В таких озерах (Черствяты, Баторин, Межужол) зимой возможны заморы.

Зимой под ледяным покровом устанавливается прямая кислородная стратификация. В это время баланс кислорода отрицательный. Одновременно наблюдается увеличение содержания углекислого газа не только в придонном слое, но и во всей толще воды (рис. 6.3).

Однако и зимой существуют источники обогащения озер кислородом. К ним в первую очередь относятся незамерзающие реки, влияние которых зависит не только от водности реки, но и от морфологических особенностей самих озер. В неглубоких и относительно плоских котловинах озер Яново, Паулье, Березовое, Медзозол пересекающие их реки захватывают всю толщу воды и способствуют, таким образом, обогащению озер кислородом. Иначе сказывается влияние рек в среднеглубоких воронкообразных озерах. В них речная вода образует промежуточный слой между более тяжелыми (более теплыми) глубинными и более легкими (холодными) поверхностными водами. Кислород распределяется при этом тремя слоями. В оз. Гульбеза, например, 16 февраля 1968 г. содержание кислорода под слоем льда составило 10,3 мг/л. На глубине 6–7 м количество его понизилось до 7,8 мг/л, но на глубине 8–9 м под влиянием притока речных вод опять увеличилось до 10 мг/л. Еще глубже содержание кислорода упало до 1,5 мг/л.

К приходной части кислородного баланса относится фотосинтез фитопланктона. Зимнее «цветение» озер – явление, довольно распространенное в Беларуси, особенно в предвесеннее время, когда ледяной покров лишен снега и свет и тепло проникают в воду. Чаще всего развиваются диатомовые, но нередко можно наблюдать увеличение содержания кислорода в результате развития некоторых синезеленых водорослей.

Наиболее однородные условия газового режима складываются в глубоких с признаками олиготрофии озерах. При ясно выраженной температурной стратификации количество кислорода зимой в глубоких озерах не падает ниже 30–35 %. Это связано как со значительным содержанием его в воде, так и с меньшим потреблением на разложение. Вместе с тем высокое содержание кислорода обусловливает преобладание окислительных реакций и интенсивную минерализацию органического вещества в течение всего года.

В зимнее время богаты кислородом также среднеглубокие, но значительные по площади проточные озера, например Лукомское, Дривяты, Гомель, Нещердо. Что же касается мелководных озер, то при отсутствии проточности кислородный режим их, как правило, очень напряженный, особенно в конце зимы, когда содержание углекислого газа достигает 30–40 мг/л. В последние годы в таких озерах периодически наблюдаются заморы: в озерах Баторин, Межужол и др.

В неглубоких и среднеглубоких небольших озерах с укрытыми котловинами воронкообразной формы у дна кислорода очень мало. В оз. Каймин, например, 16 февраля 1968 г. количество кислорода вблизи дна понизилось до 0,10 мг/л, а в оз. Сорочанском он не был обнаружен

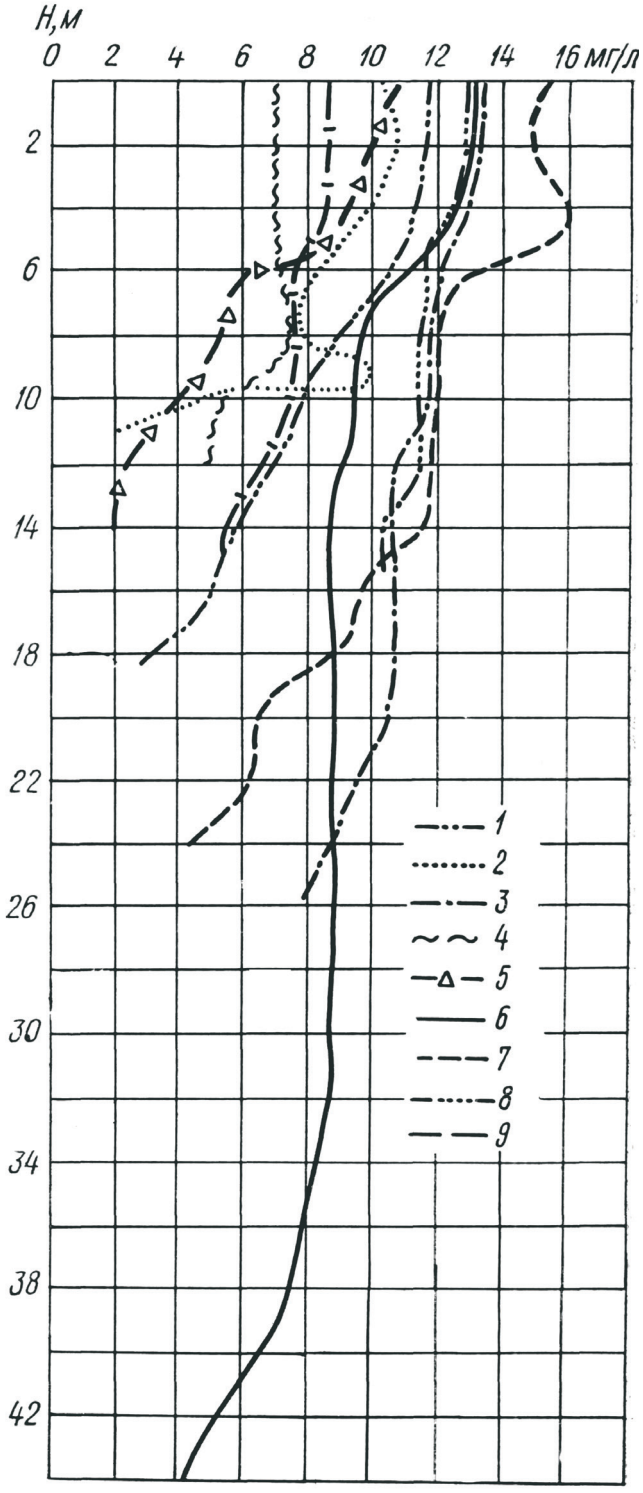


Рис. 6.3. Распределение кислорода по глубине (зима): 1 – Иодово, 2 – Губиза, 3 – Кривое, 4 – Малое Камайское, 5 – Туросы, 6 – Долгое, 7 – Нарочь, 8 – Большое Камайское, 9 – Струсто (данные 1967–1968 гг.).

вовсе. Подобное явление наблюдалось в феврале 1967 г. в озерах Малом Камайском и Туросы. Содержание CO_2 в этих условиях колебалось в пределах 20–40 мг/л.

Весеннее обогащение озер кислородом начинается с момента вскрытия ледяного покрова. Однако насыщение толщи воды происходит в условиях конвекционного перемешивания и гомотермии. Процесс весеннего перемешивания воды в глубоких озерах по сравнению с таковым в мелководных может значительно затянуться, особенно при теплой штилевой погоде.

Таким образом, по типу газового режима Беларуси представляется возможным выделить несколько групп озер. По типу газового режима озера разделены на пять групп:

1. Глубокие небольшие стратифицированные озера с относительно устойчивым кислородным режимом в течение года; придонный дефицит не превышает 50–60 % (озера Болодук, Волосо).

2. Среднеглубокие и неглубокие открытые озера с повышенным содержанием кислорода (Нарочь, Дривяты), летом в ветреную погоду состояние, близкое к гомооксигении.

3. Очень малые, но относительно глубокие озера (Каймин, Губиза) с глубоким кислородным дефицитом в мощном гиполимнионе.

4. Мелководные нестратифицированные озера с кислородным перенасыщением летом и значительным дефицитом зимой.

5. Озера с тепловым загрязнением.

Группа глубоких, небольших стратифицированных озер (Долгое, Кривое, Рудаково, Волос Южный). У озер этой группы относительно устойчивый кислородный режим в течение года. В придонных слоях летний и зимний дефицит кислорода не превышает 60–70 %. В периоды циркуляции процесс наступления гомооксигении замедлен, что связано с инертностью перемешивания значительного объема водной массы в глубоких укрытых котловинах.

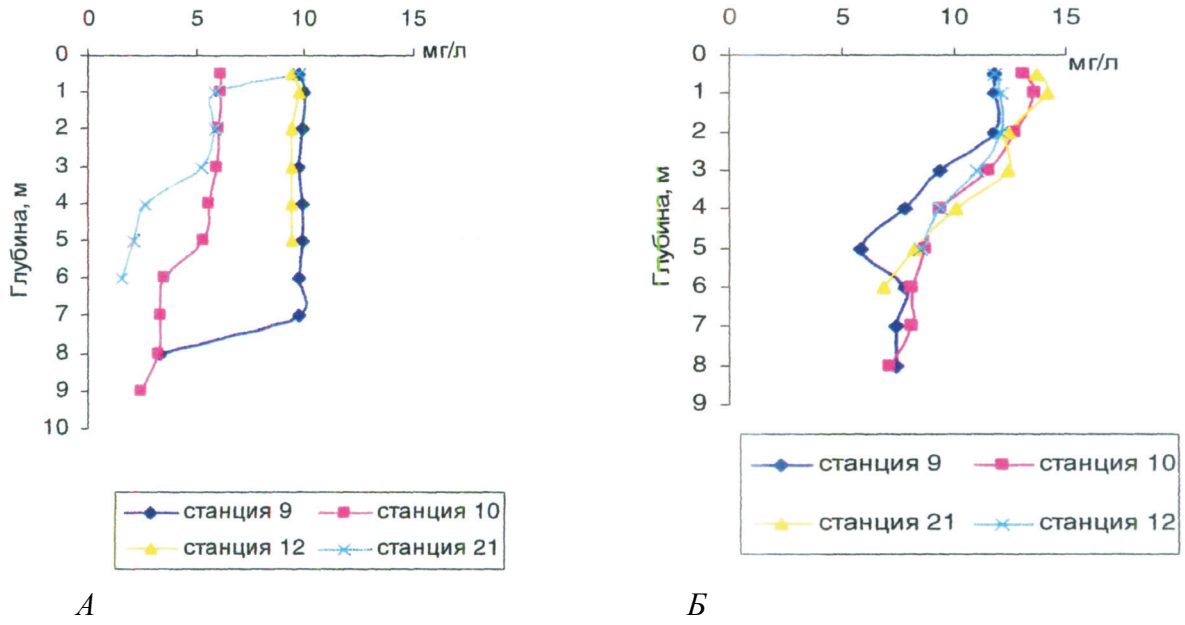
Группа среднеглубоких и неглубоких озер с широкими открытыми котловинами (Нарочь, Мядель, Лукомское, Струсто, Теменица), с повышенным содержанием кислорода в годичном цикле. В течение безледного периода характерно значительное перемешивание и преобладание условий, близких к гомооксигении. Заметный дефицит возможен лишь в отдельных понижениях дна при штилевой погоде. Зимнее недонасыщение кислородом обычно не превышает 50–30 %.

Группа небольших, но относительно глубоких озер с укрытыми от ветра воронкообразными котловинами (Каймин, Туросы, Сорочанское, Губиза, Малое Камайское, Иодово). Отличительная особенность озер этой

группы – весьма напряженный кислородный режим в периоды стагнации, особенно летней. Гиполимнион летом лишен кислорода, нередко выделяется сероводород. Установление весенней и осенней гомооксигении задерживается до наступления гомотермических условий при температуре 4 °С.

Группа многочисленных мелководных водоемов (Паулье, Шо, Березовое, Освейское, Черствяты, Червоное). Отличаются интенсивным ветровым перемешиванием в безледный период, в связи с чем часто наблюдается летняя гомооксигения. Нередко уже в сентябре она постепенно сменяется осенней гомооксигенией. Для зимнего периода характерен напряженный кислородный режим, который в непроточных озерах проявляется в полном исчезновении кислорода и возникновении заморных явлений.

Небольшая группа преобразованных озер, которые используются в качестве водоемов-охладителей: Лукомское (Лукомльская ГРЭС), озера Белое и Черное (Березовская ГРЭС).



А *Б*

Рис. 6.4. Распределение растворенного кислорода в оз. Лукомском: 23.07.2003 (*А*) и 19.08.2003 (*Б*)

После ввода ГРЭС период зимней стагнации как в открытой акватории, так и подо льдом обычно характеризуется достаточно высоким содержанием кислорода. Незамерзающая часть акватории играет важнейшую роль в поступлении кислорода из атмосферы. Второй причиной служит почти полное разложение органического вещества к моменту наступления зимы.

Третьей причиной являются оптимальные условия циркуляции и обмена водных масс между замерзшей и открытой частями озер. В конце зимней стагнации насыщение растворенным кислородом достигает 90–100 %. Наиболее напряженным кислородным режимом характеризуется летняя стагнация. В многолетнем аспекте летом отмечается устойчивая тенденция дефицита кислорода в придонных слоях и нарастание перенасыщения в верхних (до 150 %), а также усиление неоднородности в распределении его по акватории. В зоне подогрева, вследствие более интенсивных турбулентных процессов, высокое содержание кислорода достигает 7–8-метровых глубин (рис. 6.4).

ГЛАВА 7

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

7.1. Оптические характеристики озерных вод

Основными показателями природных вод являются прозрачность, освещенность и цвет.

Внешним выражением состояния лимносистем служит прозрачность, которая характеризует степень загрязненности воды, глубину проникновения солнечных лучей, возможность распространения высшей водной растительности. Прозрачность определяется по белому диску (диск Секки), диаметром 30 см.

Оптические свойства воды служат важным показателем при классификации озер и оценке качества воды. Обычно величина прозрачности коррелирует с биомассой и продукцией планктона. В своей капитальной работе по озерам Швеции B. Aberg и W. Rodhe (1942) по прозрачности, цветности и перманганатной окисляемости поделил озера Швеции на три группы:

- малопрозрачные (полигумозные) озера с прозрачностью менее 3 м;
- среднепрозрачные (мезогумозные) переходные с прозрачностью 3–5 м;
- высокопрозрачные (олигогумозные) с прозрачностью более 5 м.

На основании исследования озер по прозрачности воды северо-запада Европы С. П. Китаевым (2007) были выделены следующие типы озер:

1. Очень малая прозрачность – менее 1 м.
2. Малая прозрачность – 1–2 м.
3. Средняя прозрачность – 2–4 м.
4. Высокая прозрачность – 4–8 м.
5. Очень высокая прозрачность – более 8 м.

На основании анализа соотношения величины прозрачности воды и средней глубины было установлено, что это соотношение изменяется в пределах от 0,02 до 4,40. По этому показателю озера были разбиты на пять групп, или классов. Первая группа включает очень мелководные озера (олигофотобатные), т. е. озера, в которых данное соотношение составляет 0,25, т. е. прозрачность воды в 4 раза меньше средней глубины озера. Вторая группа включает оптически мелководные озера (олигомезофотобатные) озера (0,25–0,50). Третья группа – оптически среднеглубокие

озера (мезофотобатные) (0,5–1,0). В этих озерах величина прозрачности в 1–2 раза больше средней глубины озера. Четвертая группа – оптически глубокие озера (мезополифотобатные), т. е. прозрачность их в 1–2 раза больше средней глубины озера. Пятая группа – оптически очень глубокие озера (полифотобатные), когда прозрачность воды больше, чем в 2 раза средней глубины озера.

Отношение величины прозрачности по белому диску к средней глубине озера можно назвать коэффициентом относительной прозрачности. Озера, имеющие отношение менее 0,25, будут иметь очень низкий коэффициент относительной прозрачности, 0,25–0,5 – низкий и 0,5–1,0 – средний, 1–2 – высокий и более 2 – очень высокий.

Среди озер Беларуси выделяются водоемы с повышенной (более 5 м), средней (5–2 м) и низкой прозрачностью (менее 2 м). К числу первых относятся многие глубокие и среднеглубокие озера, не испытывающие сильного антропогенного влияния. Большинство мелководных озер отличается низкой прозрачностью, особенно летом в результате массового развития фитопланктона. Наиболее высокие показатели прозрачности наблюдаются в зимний сезон; осенний и весенний минимумы связаны с увеличением поверхностного стока. Максимальная прозрачность отмечается в оз. Нарочь – 7 м.

Наиболее прозрачными являются глубокие и среднеглубокие озера типа Долгое, Ричи, Нарочь. Последнее еще в 1970-е гг. имело прозрачность более 10 м. Наибольшая прозрачность наблюдается в зимнюю стагнацию благодаря отсутствию динамического перемешивания и слабым развитием водных организмов. Высокие показатели прозрачности являются признаками олиготрофных и мезотрофных озер.

В своих исследованиях Д. Хатчинсон, ссылаясь на исследования различных ученых, отмечает, что к величине прозрачности по диску Секки необходимо относиться осторожно. В то же время, принимая во внимание исследования японских исследователей, утверждает, что прозрачность по диску Секки может рассматриваться для озер, расположенных в одинаковых природных условиях. Диск Секки исчезает из виду на глубине, куда проникает всего 5 % общей солнечной радиации, достигающей поверхности воды.

Другой важный показатель – освещенность горизонтальной поверхности и снизу и ее ослабление с глубиной. Ослабление освещенности как интегрального показателя с глубиной в общем виде подчиняется закону Бугера–Ланберга и определяется по формуле

$$I_o - I_z = I_o \, e^{\epsilon z},$$

где I_o – освещенность на поверхности озера, I_z – освещенность на глубине я, $= I_o \, e^{\epsilon z}$, € – коэффициент ослабления света. Для более точного

определения освещенности учитываются показатели ослабления освещенности за счет растворенных окрашенных органических веществ, детрита и фитопланктона. В данном случае ослабление освещенности рассчитывают по формулам, которые учитывают коэффициенты ослабления за счет указанных факторов с использованием соответствующих формул.

Таблица 7.1

Шкала цвета воды Фореля – Уле

Номер пробирки	% раствора		
	Синий	Желтый	Коричневый
I	100	0	0
II	98	2	0
III	95	3	0
YI	91	5	0
Y	86	9	0
YI	80	14	0
YII	73	20	0
YIII	65	27	0
IX	56	35	0
X	46	44	0
XI	35	54	0
XII	35	65	5
XIII	35	60	10
XIY	35	55	15
XY	35	50	20
XYI	35	45	25
XYII	35	40	30
XYIII	35	35	35
XIX	35	30	40
XX	35	25	45
XXI	35	20	50

Примечание. Синий раствор – полупроцентный раствор 1 г содержит сернокислой меди в 190 г воды с 9 г. аммиака; желтый раствор – полупроцентный раствор 1 г нейтрального хромовокислого калия в 199 г воды; коричневый раствор – 0,5 г $CaSO_4$, $7H_2O$ в 70 $см^3$ воды и 30 $см^3$ 25 % аммиака.

Цвет природных вод обусловлен избирательным рассеиванием и поглощением световых лучей. Вследствие очень большого разнообразия оттенков цвета воды для унификации при его определении были предложены шкалы цвета воды Фореля – Уле. Ф. Форелем была первоначально разработана шкала, которая учитывала только горные озера и содержала

только 10 запаянных пробирок с образцами цвета от синего до желто-зеленого цвета. Позже Уле добавил к синему и желтому раствору и оттенки коричневого цвета и довел шкалу до 21 номера, которая официально действует по сей день (табл. 7.1).

7.2. Активная реакция среды (pH)

Необходимым показателем гидрохимического режима озер и его трансформации под влиянием хозяйственной деятельности служит активная реакция среды (pH).

Активная реакция воды (pH) служит одним из важнейших гидрохимических показателей водной массы, в значительной степени характеризует количество и качество органических и минеральных веществ, а также газов. Определяется активная реакция концентрацией водородных (H) и гидроксильных (OH) ионов. При равной их концентрации реакция воды нейтральна. Повышение концентрации H-ионов при соответствующем понижении OH-ионов дает кислую реакцию, обратное же соотношение соответствует щелочной реакции. Концентрация водородных ионов условно выражается символом pH, означающим отрицательный логарифм концентрации H-ионов, выраженной в грамм-эквивалентах на литр. При pH = 7 реакция воды нейтральна, при pH < 7 реакция кислая, а при pH > 7 щелочная.

В озерах Беларуси активная реакция определяется в основном соотношением карбонатов, бикарбонатов, углекислоты и органических кислот.

В абсолютном большинстве изученных озер на протяжении года в поверхностном слое показатель pH колеблется от нейтрального до слабощелочного. Редко встречаются озера со слабокислой (<7) или резко щелочной (>9) реакцией среды. По вертикальному разрезу в направлении от поверхности ко дну наблюдается более или менее значительное увеличение кислотности.

В течение года наиболее стабильными величинами pH (7,5–8) характеризуются глубокие прозрачные озера, для которых это служит одним из признаков олиготрофии. Показательны в этом отношении озера Кривое, Долгое, Гиньково, Волос Южный. Отсутствие резких колебаний характерно для среднеглубоких водоемов с открытыми котловинами: Нарочь, Снуды.

Неглубокие, хорошо прогреваемые эвтрофные озера с такими же условиями бассейна отличаются более значительными колебаниями pH в течение года, а также в вертикальном разрезе. В оз. Отолово летом в ясный день активная реакция воды колебалась от 8,4–8,5 на поверхности до

7,3–7,25 у дна на глубине 15 м. Наиболее высоко значение pH в заросших заливах. При длительной пасмурной погоде pH снижается до 7,93–7,50 и нивелируется по всей акватории озера. Такая же реакция удерживается здесь в остальное время года, снижаясь зимой в придонных слоях.

Существенные колебания активной реакции в течение года характерны для мелководных высокоэвтрофных озер. В озерах Черствяты, Шо, Баторин под влиянием жизнедеятельности растительных организмов летом pH превышает 8,8. Даже при незначительной глубине оно заметно изменяется и в штилевую погоду у дна понижается до 7,60–7,47. Зимний период для таких озер характеризуется общим повышением содержания водородного иона, причем вблизи дна pH составляет около 7–6,83.

В дистрофирующих водоемах с пониженной минерализацией под влиянием притока гуминовых кислот и слабой деятельности растительных организмов слабокислая активная реакция удерживается в течение всего года. Так, в оз. Межужол она колеблется от нейтральной у поверхности до слабокислой в придонном слое как зимой, так и летом. Аналогичное явление отмечено в озерах Ельня, Червоное и др.

Активная реакция воды оказывает существенное влияние на жизнедеятельность водных организмов. Наименее благоприятна для них кислая и резко щелочная среда, которую не переносят многие представители фито- и зоопланктона, мальки и икра, некоторые рыбы.

Она определяется в основном содержанием и соотношениями карбонатов, бикарбонатов, углекислоты и органических кислот с учетом жизнедеятельности животных и растительных организмов. В большинстве озер в течение года в поверхностном слое pH колеблется от нейтральной до слабощелочной (7–8). Озера со слабокислой (менее 7) и сильнощелочной (более 8,5) средой распространены реже и характеризует высокую степень антропогенных нарушений естественного режима. В вертикальном столбе воды у дна обычно отмечается изменение в сторону нейтральной или слабокислой реакции.

В течение года наиболее стабильными величинами pH характеризуются глубокие прозрачные озера. Существенные колебания свойственны мелководным, богатым жизнью озерам. Летом в поверхностном слое величина pH может превышать 9 (сильнощелочная среда) при полном отсутствии CO_2 и кислородном перенасыщении. Зимой в придонном слое таких озер pH становится нейтральной или слабокислой (6,5) при условии полного потребления кислорода и высоком содержании CO_2. Такие условия характерны для озер, подверженных антропогенному воздействию.

В числе озер встречаются водоемы с постоянно высоким содержанием водородного иона и кислой реакцией среды. Например, в озерах Чербомысло и Глубокое Полоцкого р-на pH составляет 5,0–5,9.

Сезонная динамика величины pH в Лукомском озере в большинстве случаев имеет достаточно четкую закономерность. В период зимней стагнации, как правило, фиксируются минимальные значения, при переходе к весенней гомотермии – они несколько повышаются, летом достигают максимума. В период весеннего и летнего перемешивания диапазон значений минимальный. В отдельные годы отмечен интенсивный рост значений pH в летний период, когда они превышали 9 (1975, 1977, 2003–2005), что является следствием повышения интенсивности фотосинтеза и некоторым повышением в водной массе концентрации солей натрия, магния. Осенняя гомотермия имеет более низкие показатели pH, а сумма ионов незначительно возрастает по сравнению с летним периодом. Эта особенность весьма характерна для водоема-охладителя, когда осенью еще продолжается вегетация водорослей, но в сравнении с летним периодом усиливается деструкция органического вещества. В целом для водоема-охладителя характерна тенденция увеличения значений водородного показателя.

7.3. Общая минерализация

Гидрохимия изучает химический состав природных вод, а также ее изменения под влиянием естественных (химических, физических и гидробиологических) и антропогенных факторов и процессов. Гидрохимия обычно изучает химию атмосферных осадков, льда, озер и водохранилищ, болот, океанов и подземных вод. Гидрохимией озер называется наука, изучающая химический состав озерных вод, а также их изменения под влиянием естественных и антропогенных факторов и процессов.

Минерализация природных вод изменяется от 2 мг/л – 0,3 г/л в атмосферных осадках до 600 г/л в подземных водах. Минерализация вод озер и водохранилищ колеблется в пределах 0,003–350,0 г/л, рек от 0,01 до 10,0 г/л.

Все природные воды различными авторами по химическому составу делятся на многочисленные группы. Применительно к озерам наиболее часто используется классификация О. А. Алекина (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Типы природных вод по классификации О. А. Алекина

Типы вод	Соотношение основных ионов по эквивалентам
Первый (I)	$HCO_3 \leq Ca + Mg$
Второй (II)	$HCO_3 \leq Ca + Mg \leq HCO_3 + SO_4$
Третий (III)	$HCO_3 + SO_4 \leq Ca + Mg$; $Cl \geq Na$; III_a $Cl \leq Na + Mg$; III_b $Cl \geq Na + Mg$.
Четвертый (IY)	$HCO_3 = 0$

Естественным состоянием лимносистемы является наличие в растворенном состоянии минеральных веществ, количество и качество которых зависит от характера горных пород на водосборе, интенсивности биологических процессов, от хозяйственной деятельности в его пределах. Озера занимают промежуточное положение между слабоминерализованными водоемами Европейского Севера и более высокоминерализованными озерами лесостепной и степной зоны. Абсолютное большинство их относится к среднеминерализованным, однако влияние азональных факторов обеспечивает заметный диапазон величины минерализации. Последняя колеблется от 30–50 до 350–45 мг/дм3. По составу солей все озера относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы.

В солевом составе всегда и без исключения доминируют гидрокарбонатные ионы, которые вместе с ионами кальция и магния определяют в общих чертах величину минерализации.Кроме HCO_3^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, истинно растворимые соединения представлены ионами щелочных металлов Na^+, K^+, сульфатами. Хлоридами. Среди составляющих минерализации и постоянно соотношение: $HCO_3 > Ca^{2+} > Mg^{2+} > SO_4^{2-} > Cl^-$. Увеличение содержания сульфатов и хлоридов, как правило, отражает влияние хозяйственной деятельности на водосборе.

В лимнологии, как и в целом в гидрологии, используют классификацию по химическому составу воды О. А. Алекина, 1946. В основу классификации положены 2 принципа: преобладающих ионов и соотношение между ними (табл. 7.2).

Все природные воды по преобладающему аниону делятся на три класса: гидрокарбонатных и карбонатных ($HCO_3 + CO_3$), сульфатных (SO_4), хлоридных (Cl) вод (рис. 7.1).

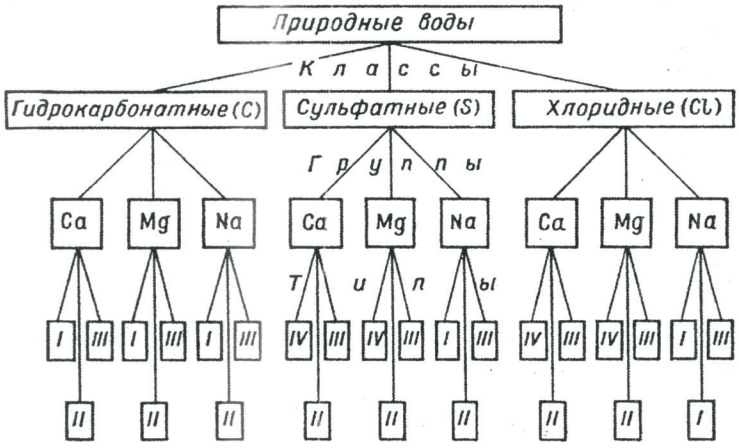


Рис. 7.1. Схема классификации природных вод по преобладающему аниону и соотношению между главными ионами (по О. А. Алекину)

В каждом классе по преобладающему катиону выделяют три группы: кальциевую, магниевую и натриевую. В то же время каждая группа включает три типа.

Во многих озерах общая минерализация не определялась, но, например, замерялась величина электропроводности. По величине электропроводности можно ориентировочно рассчитать содержание ионов и величину общей минерализации по таблице W. Rodhe (1949) (табл. 7.3). В. Роде установил для водоемов стандартные комбинации (standart composition) основных элементов с коэффициентом корреляции для HCO_3 = 0,961 и для общей минерализации – 0,994. Однако эта зависимость и использование ее возможны только для озер гидрокарбонатного класса.

Таблица 7.3

Электропроводность вод гидрокарбонатного класса и содержание основных ионов в воде

Электро-проводность	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO_4	HCO_3	Сумма ионов, Мг/л
20	2,5	0,4	0,7	0,3	0,7	1,5	8,9	15
40	5,1	0,9	1,5	0,5	1,5	3,0	18,3	31
60	7,9	1,3	2,2	0,8	2,2	4,7	29,0	47
80	10,8	1,8	3,0	1,1	3,0	6,3	38,0	64
100	13,5	2,3	3,8	1,4	3,8	8,0	48,1	81
120	16,3	2,7	4,6	1,7	4,6	9,7	58,3	98
140	19,2	3,2	5,4	2,0	5,4	11,4	68,4	115
160	22,0	3,7	6,2	2,3	6,2	13,1	78,5	132
180	25,0	4,2	7,1	2,6	7,1	14,9	89,2	150
200	28,0	4,7	7,9	2,9	7,9	16,6	100,0	168
220	31,1	5,2	8,7	3,2	8,7	18,4	110,7	186
240	34,1	5,7	9,6	3,5	9,6	20,2	121,4	204
260	37,1	6,2	10,4	3,8	10,4	22,0	132,1	222
280	40,1	6,7	11,3	4,1	11,3	23,8	148,8	240
300	43,3	7,3	12,2	4,4	12,2	25,6	154,1	259
320	46,4	7,8	13,1	4,7	13,1	27,5	165,4	271
340	49,4	8,3	13,9	5,0	13,9	29,3	176,1	296
360	52,6	8,8	14,8	5,4	14,8	31,2	187,4	315
380	55,8	9,4	15,7	5,7	15,7	33,1	198,7	334
400	59,0	9,9	16,6	6,0	11,0	34,9	210,0	353

Величина минерализации воды свидетельствует о роли подземного питания озер в водном и солевом балансе озер. Как правило, водный баланс и соответственно приход минеральных веществ складывается из притока с водосбора почвенно-поверхностных вод, атмосферных осадков на поверхность озера и притока грунтовых вод (порово-пластовых вод рыхлых четвертичных отложений и глубоководных трещинных). Самую низкую минерализацию имеют атмосферные осадки, затем почвенно-поверхностные воды. И, наконец, самую высокую минерализацию имеют глубоководные трещинные подземные воды. Высокоминерализованные подземные воды поступают в глубокие котловины озер и тем самым увеличивают минерализацию воды. Величину поступления подземных вод можно определить несколькими методами: водного и солевого балансов, электрометрическим методом. При расчете балансовыми методами величину невязки баланса относят к поступлению подземных вод в озеро. Мелководные водоемы, как правило, питаются исключительно поверхностными водами.

Независимо от величины минерализации количество солей увеличивается в зимний период, а также в придонных слоях. Наиболее значительные колебания свойственны мелководным, богатым жизнью озерам.

По степени минерализации водной массы озера Беларуси занимают промежуточное положение между слабоминерализованными водоемами Европейского Севера и более минерализованными озерами лесостепи и степи. В этом отношении они отражают общие законы климатической зональности (рис. 7.2).

Озера Беларуси можно отнести к среднеминерализованным. Однако влияние целого ряда дополнительных азональных факторов обеспечивает довольно значительный диапазон величины минерализации, которая колеблется в пределах от 20–50 до 400–450 мг/л.

По классификации О. А. Алекина, озера Беларуси относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы.

В солевом составе озер везде доминирует гидрокарбонатный ион, который вместе с ионами кальция и магния определяет в общих чертах величину минерализации воды. Кроме HCO_3^-, Ca^{2+} и Mg^{2+}, истинно растворимые соединения в небольшом количестве представлены ионами щелочных металлов (Na^+ составляет 1,8–8, а K^+ 0,4–3 мг/л). Увеличение содержания Na, K отмечается при общей повышенной минерализации озера. Содержание хлоридов ($C1^-$) колеблется в пределах 1,6–10,5 мг/л. Повышенное содержание хлоридов означает не столько повышенную концентрацию их в породах водосбора, сколько поверхностный привнес за счет растворения калийных удобрений, с атмосферными осадками и бытовым стоком.

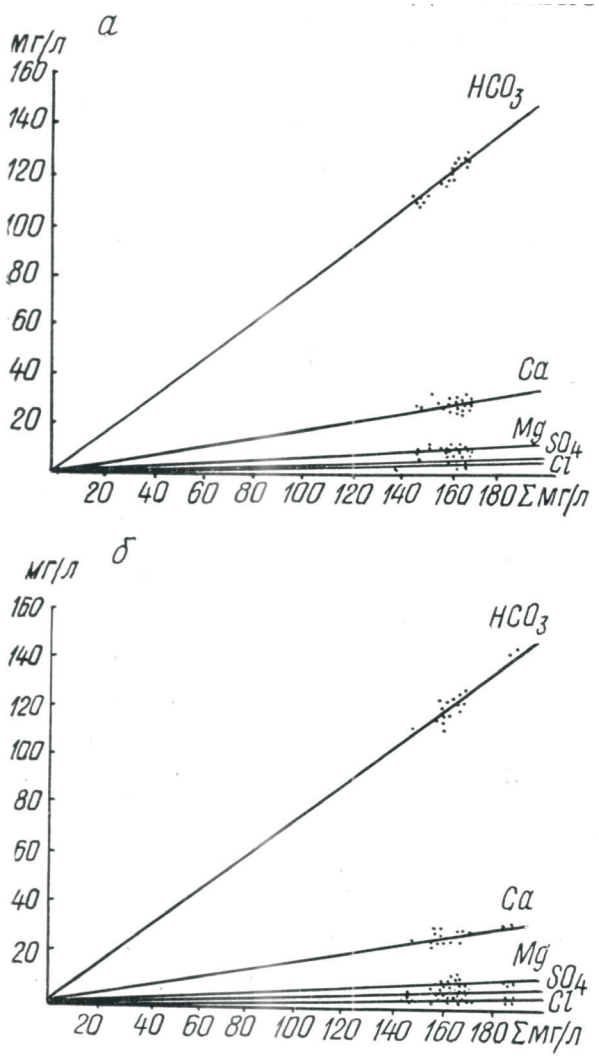


Рис. 7.2. Ионная зависимость в оз. Нарочь:
а – на поверхности; *б* – у дна

Сульфатный ион (SO_4^{2-}) обычно характеризуется более высоким показателем по сравнению с хлоридами и колеблется от 2–3 до 15–17 мг/л. В отдельных случаях в придонных слоях отмечается увеличение SO_4^{2-} до 20–25 мг/л, что говорит о разложении органического вещества в донных осадках при дефиците O_2. Восстановленные соединения серы концентрируются в условиях ярко выраженной температурной стратификации, устойчивого кислородного дефицита в гиполимнионе, значительного увеличения содержания CO_2 и слабокислой активной реакции среды. В таких озерах нередко накапливается сероводород, а в составе донных отложений – сульфид железа гидротроилит. В целом же при всем разнообразии концентрации солей среди анионов постоянно соотношение:

$$HC0_3^- > S0_4^{2-} > Cl^-.$$

Изменение основных составляющих минерализации воды – гидрокарбонатного и кальциевого ионов в озерах разных типов отражает особенности водосборной площади, строение озерной ванны, температурный и газовый режимы водной массы, интенсивность биологических процессов, а в целом характеризует (вместе с другими показателями) генетический тип озера.

Поступление в воду карбонатных солей зависит от поверхностного и подземного притоков, а также от интенсивности минерализации органического вещества, содержащегося в воде. Расходная часть солевого баланса слагается из выноса солей в процессе стока, затрат на питание водных организмов и, наконец, накопления их в донных отложениях.

Увеличение количества Ca^{2+} и HCO_3^- с глубиной, обычное для озер, происходит за счет интенсивности грунтового питания и образования в верхних слоях водной массы иона CO_3^{2-} летом при активном участии фотосинтеза.

Зимой источником повышения минерализации озер служит не только увеличение роли грунтового подтока, но и растворение монокарбоната донных отложений и переход его в воду при увеличении содержания углекислого газа, особенно в высокогумусных озерах. Понижение концентрации двуокиси углерода летом приводит к обратному процессу – разложению гидрокарбонатов и высвобождению карбонатов, выпадающих из воды в осадок:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O : \leftrightarrow Ca + 2HCO_3.$$

Сезонные изменения величины минерализации и солевого состава в разных озерах имеют одинаковую направленность, но разные величины. Амплитуда колебаний солесодержания в годичном цикле озера чаще всего отражает степень развития в нем органической жизни, увеличиваясь одновременно с возрастанием эвтрофных признаков.

Результаты исследований констатируют связь колебаний солености воды со степенью появления фотосинтезирующей деятельности растений. Именно поэтому наиболее равномерна величина минерализации в глубоких холодных озерах, для которых эта особенность служит одним из признаков олиготрофии. В оз. Долгом, например, в течение трех летних сезонов содержание гидрокарбонатного иона колебалось в поверхностных слоях от 158 до 146 мг/м. В оз. Кривом за такой же период величина HCO_3^- менялась от 128 до 115 мг/л. В вертикальном же разрезе в первом из них разница в содержании HCO_3^{--} между поверхностными и придонными слоями не превысила 3–2, а во втором – 3–5 мг/л (максимально). Зимой в оз. Кривом концентрация гидрокарбонатного иона увеличилась всего на 6–8 мг/л по сравнению с летом, а в озере Долгом не превысила 2–3 мг/л.

В типичном эвтрофном оз. Черствяты содержание HCO_3^- в июне 1966 г. колебалось в пределах 134–176 мг/л. Зимой разница в содержании HCO_3^- между поверхностными и придонными слоями составила 201,5–237,9 мг/л. Та же картина наблюдалась в оз. Отолово.

Показатель минерализации очень четко отражает особенности водосборной площади озера. При условии преобладания моренных пород и значительной распаханности этот показатель повышается даже в глубоких, бедных жизнью озерах (оз. Долгое). Наиболее низкие показатели минерализации отмечены в озерах с очень малым (<10 км^2) удельным водосбором, с преобладанием песков и лесной растительности на всей площади бассейна. В оз. Чербомысло, например, при площади 0,50 км^2 и величине водосбора 2,02 км^2 сумма минеральных веществ составила всего 26,4 мг/л, а величина HCO_3^- понизилась до 15,3 мг/л. Такие необычные для полосы смешанных лесов показатели минерализации выразились, кроме того, в кислой реакции воды и очень бедном проявлении жизнедеятельности организмов. Очень низкое содержание минеральных веществ свойственно озерам, имеющим водосбор верхнего болота и питающимся только болотными и атмосферными водами (оз. Ельня).

Подвижность и изменчивость элементов минерализации, зависимость ее от разнозначных причин осложняют выделение групп озер по признаку минерализации. Однако на общем фоне отчетливо выделяются относительно немногочисленные озера с пониженной минерализацией воды в течение года. Это первая группа озер. Сумма гидрокарбонатного и кальциевого ионов летом в них менее 50 мг/л. Чаще всего в питании подобных водоемов большую роль играют болотные воды, богатые гумусовыми веществами, а также атмосферные осадки. Примерами низкоминерализованных озер могут служить Межужол, Ельня, Озерцы, Усая, Чербомысло, Глубокое, Червоное в Полесье.

Во вторую группу, объединяющую большинство водоемов, входят озера средней минерализации. Гидрокарбонатный ион летом в них колеблется от 100 до 200 мг/л, а содержание кальция составляет 20–35 мг/л. Обычно в водном балансе этих озер значительную роль играют атмосферные осадки, поверхностные притоки и грунтовые воды. К таким озерам относятся Мястро, Нарочь, Медзозол, Обстерно, Укля, Лукомское, Березовое, Паулье, в Полесье – Луко вское, Белое и многие другие. К этой же группе причисляются глубокие прозрачные водоемы, водная масса которых отличается слегка пониженной минерализацией, обусловленной молодостью озер и ослабленным проявлением фотосинтеза (Гиньково, Волос Южный, Рудаково, Кривое, Женно).

Третья группа озер с повышенной минерализацией до 400 мг/л (**HCO_3^-**> >200 мг/л**,** Ca^{2+} 35–50 мг/л) включает относительно немногочисленные

небольшие водоемы, лежащие в глубоких воронкообразных котловинах, а также озера с очень замедленным водообменом. В водном балансе их весьма заметную роль играет грунтовое питание. К числу таких озер относятся Иодово, Гульбеза, Каймин, Ячменек и др. Минерализация достигает 500–600 мг/л (оз. Ковальки) и связана с антропогенным загрязнением.

Интересным для оценки изменения величины минерализации является оз. Лукомское, подвергшееся тепловому загрязнению. За многолетний период исследования (1932–2008 гг.) оз. Лукомского установлена устойчивая и достоверная тенденция роста величины минерализации (рис. 7.3).

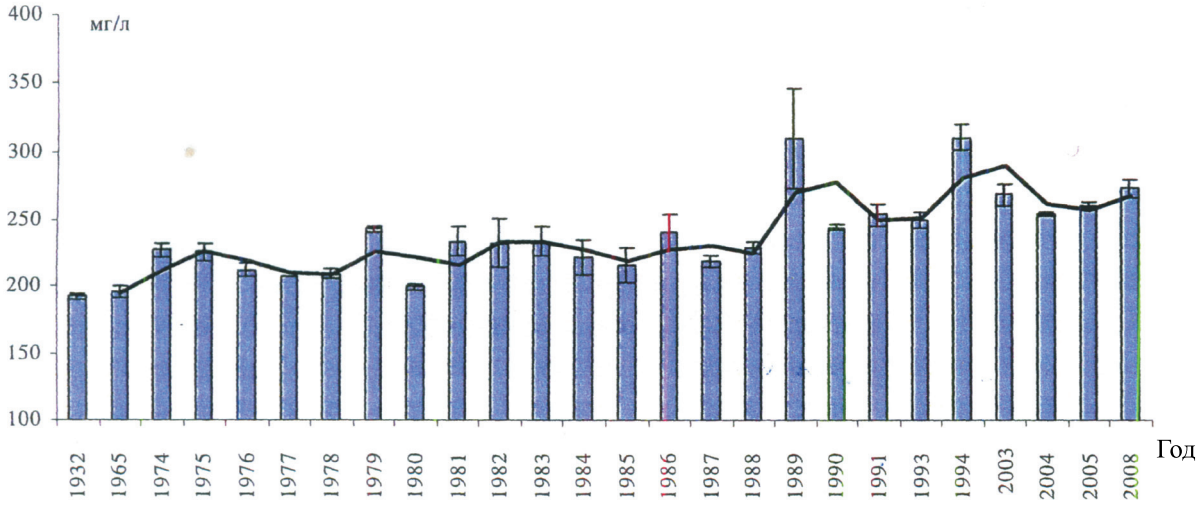


Рис. 7.3. Многолетняя динамика суммы ионов в воде Лукомского озера (по З. К. Карташевич, 2007)

По данным группы научных сотрудников кафедры общего землеведения, линия тренда свидетельствует о циклическом характере динамики основных ионов. Наименьшие ее величины были зафиксированы в 1932 г., максимальные – в 1989 г. Наиболее низкие концентрации, как правило, соответствуют многоводным годам. Более устойчивый рост суммы ионов начался с 1989 г., когда ее значения начали превышать 250–300 мг/л. Такая общая тенденция увеличения минерализации отмечалась, начиная с 1970-х гг., на многих водных объектах и связывалась с общим их загрязнением.

На оз. Лукомском увеличение минерализации связано с наращиванием мощности ГРЭС и использованием воды не только для охлаждения, но и для рыбного хозяйства, города при неполной ее очистке. Более высокая величина минерализации озер формируется в основном за счет хлоридов,

сульфатов, магния, натрия, калия. Источниками поступления служат промышленные и коммунальные стоки, сток из сельскохозяйственных угодий, внесение минеральных удобрений и противогололедных реагентов, недостаточная очистка использованных вод и др.

В последние годы в Беларуси отмечается двукратное увеличение поступления в водоемы хлоридов (Кадацкая, 2005). Химические свойства хлоридов способствуют их быстрому поступлению и накоплению в водных экосистемах. Растворимость всех хлоридных солей очень высокая, что является одной из основных причин их колоссальной миграционной способности. В отличие от других ионов хлориды практически не поступают в донные отложения, а постепенно накапливаются в воде, увеличивая ее минерализацию. Рост содержания хлоридов практически совпадает с ростом суммы ионов и начинается с 1978 г.

Наиболее высокая концентрация сульфатов в экосистеме регистрируется при поступлении сульфатов в многоводные годы и при использовании мазута электростанцией.

Кальций и магний определяют жесткость воды и способствуют образованию накипи в котлах. Наиболее интенсивное его осаждение протекает в период максимального фотосинтеза, когда возникает недостаток диоксида углерода и он извлекается из биокарбонатов. При этом повышается значение pH и образуется слаборастворимый карбонат кальция, который осаждается на дно. При высоких концентрациях фосфора осаждение приобретает настолько интенсивный характер, что в отдельных высокоэвтрофных и гиперэвтрофных водоемах концентрация кальция снижается до уровня магния.

По содержанию и распространению магний занимает второе место после кальция. Основными источниками поступления являются процессы химического выветривания и растворение горных пород. Среди антропогенных факторов – это сточные воды. В паросиловых установках содержание магния влияет на жесткость воды, что предполагает более жесткие требования к его содержанию. Направленность процесса в многолетнем аспекте свидетельствует об увеличении магния в озере, и в целом кривая многолетнего распределения почти соответствует кривой изменения минерализации.

С 1994 г. произошли существенные изменения в ионном составе вод Лукомского озера, которые привели к изменению типа вод из второго в третий и соответственно к иному соотношению главных ионов: на второе место после гидрокарбонатного иона вышел сульфатный. В настоящее время в озере относительное содержание натрия возросло в 5 раз, хлоридов – в 2, калия – в 1,1, магния и сульфатов – в 1,2 раза.

7.4. Биогенные элементы

Биогенные элементы являются основой развития биоты. К их числу относятся соединения фосфора, азота, железа, кремния. В природной воде азот присутствует в виде органических и неорганических соединений. Из неорганических соединений в воде содержатся молекулярный азот (N_2), в среднем 10–16 мг/л, и в высшей степени устойчивые ионы аммонийные (NH_4), нитритные (NO_2) и нитратные (NO_3). Эти ионы генетически взаимодействуют, возможен их взаимопереход, и они обычно рассматриваются вместе. В органических соединениях азот входит в состав аминокислот и белков. Неорганические формы азота интенсивно усваиваются растениями, участвуя в общем круговороте азота по схеме: растения – животные – продукты распада – NH_4 – NO_2 – NO_3 – растения – денитрификация N_2. При недостатке кислорода может идти процесс денитрификации с выделением свободного азота в воду. В процессе круговорота принимают участие некоторые бактерии и водоросли (особенно синезеленые), которые фиксируют свободный азот (азотофиксаторы). Участвуя в общем круговороте, концентрации азота изменяются в небольших пределах – от тысячных долей мг/л до нескольких мг/л.

Азот играет основную роль и лимитирует развитие всех растительных организмов. Обогащение азотом происходит за счет поступления его из воздуха, сбросов с водосбора, а также автохтонных процессов. В круговороте азота принимают деятельное участие бактерии (азотофиксаторы).

При отмирании животных организмов белковые вещества разрушаются под действием бактерий и содержащийся в них азот выделяется в виде иона NH_4 (процесс аммонификации). Вот почему повышенное содержание аммиака в воде служит одним из показателей загрязнения озера. Поднимаясь в верхние слои воды, попадая в условия окислительной среды и действия аэробных бактерий, NH_4 окисляется до NO_2, а затем до NO_3 в процессе нитрификации.

Нитраты в анаэробных условиях способны восстанавливаться до свободного азота, который выделяется в атмосферу в процессе денитрификации, заканчивая, таким образом, круговорот азота в озерах.

В большинстве озер Беларуси содержание соединений азота небольшое в связи с невысокой гумификацией и богатством фитопланктона. В период летней стагнации и «цветения» содержание нитритов минимальное, вплоть до полного потребления. В придонных слоях его количество несколько увеличивается (до сотых долей миллиграмма на литр). В годичном цикле максимальные концентрации азота характерны для конца зимней стагнации. В это время накапливается органическое вещество и сокращает-

ся деятельность растений. В озерах, загрязненных сельскохозяйственными сбросами, заметно увеличивается количество аммиачного азота.

В водной массе минеральный фосфор присутствует главным образом в виде фосфатов. Летом в чистых глубоких и среднеглубоких озерах его содержание составляет тысячные и сотые доли миллиграмма фосфора в литре. Зимой его количество несколько повышается, особенно вблизи дна. Сезонные колебания фосфора связаны с закономерностями его круговорота. Летом соединения фосфора поглощаются растительными и животными организмами. При их отмирании соединения фосфора разлагаются. Часть их в виде фосфатов поступает в воду, часть вместе с железом оседает в донных осадках, особенно в периоды циркуляции. В периоды стагнаций фосфор из осадка одновременно с железом поступает в воду и в гиполимнионе его содержание увеличивается до десятых долей миллиграмма в литре. При антропогенном загрязнении и эвтрофировании содержание фосфора в гиполимнионе может превысить 0,9–1,0 мг/дм^3.

Азот, поступая в озеро из воздуха и в процессе денитрификации, присутствует в воде в виде нитратов, нитритов, аммонийного азота. В глубоких чистых озерах все формы азота не превышают тысячных, реже сотых частей миллиграмма в литре. В загрязненных водоемах заметно повышается содержание аммонийного азота, особенно в конце зимней стагнации, когда его величина достигает 1,0 мг/дм^3 (оз. Забельское). В годичном цикле наибольшее содержание азота отмечается в конце зимней стагнации, когда у дна концентрируются продукты распада органического вещества. Железо, являясь частью гемоглобина крови, относится к числу важных биогенных элементов. Концентрация железа, удовлетворяющая потребность живых организмов, измеряется десятыми миллиграмма доли в литрах, поступает в водоем с грунтовыми и поверхностными водами. Стабилизация его в верхнем слое осадка происходит в окислительной среде, а миграция обратно в воду – при восстановительных условиях. Поэтому в периоды стагнации и содержания общего железа в гиполимнионе с острым кислородным дефицитом достигает 2–5 мг/дм^3.

Важным показателем для характеристики трофического статуса озера является отношение содержание азота (минерального, органического, или их суммы) к содержанию общего фосфора (N/P) в озере. Обычно это отношение изменяется в очень широких пределах от 0,1 в оз. Севан в 1930-е гг. XX в. до 100 и более в гумифицированных озерах. По значению этого показателя все водоемы можно классифицировать на семь классов: очень низкий показатель – менее 5, низкий – 5–10, умеренный – 10–20, средний – 20–30, повышенный – 30–40, высокий – 40–50 и очень высокий – более 50. Наиболее благоприятные условия для развития, например, фитопланктона, по данным разных авторов, изменяется в достаточно ши-

роких пределах (от 7–15 до 20). В своих работах H. Hillebrand, U. Sommer (1999) указывают на наиболее оптимальные значения для фитопланктона (N/P – 13–22).

В виде кремниевой кислоты в коллоидном состоянии в озерах присутствует кремний, поглощаемый из воды живыми организмами. Количество соединений кремния в озерах обычно составляет 0,3–0,5 мг/дм^3, повышенное его содержание – более 1,0 мг/дм^3 обнаруживается в условиях моренных и песчаных водосборов. Аутигенный кремний образуется в результате отмирания диатомовых водорослей и накопления в осадке их кремнистых створок.

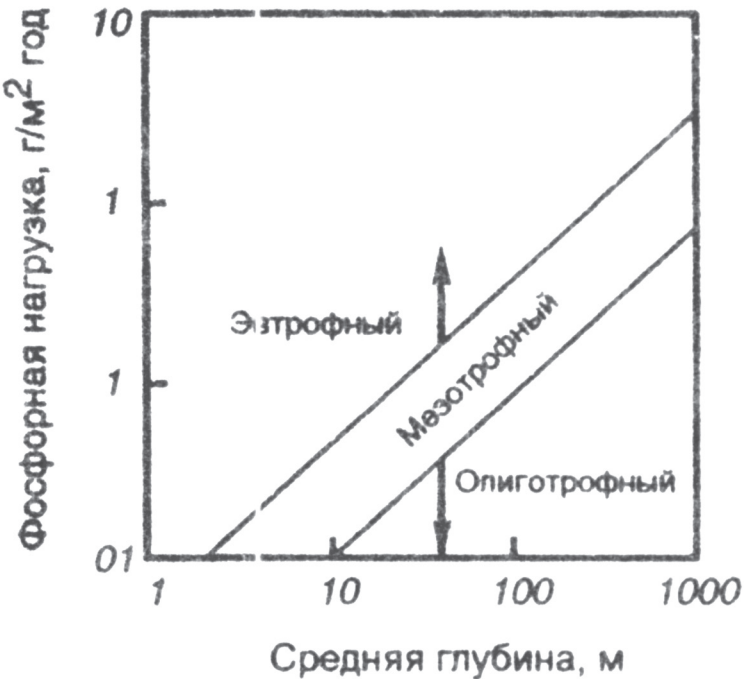


Рис. 7.4. Определение трофического статуса озера по фосфорной нагрузке (по Фолленвайдеру)

С поступлением биогенных веществ в озера тесно связаны процессы эвтрофирования озер. Различают естественное эвтрофирование озер, когда процесс развития лимносистем протекает медленно на протяжении голоцена и озера эволюционируют от олиготрофного водоема к статусу высокоэвтрофного и на заключительном этапе к дистрофному. Однако в процессе интенсивной хозяйственной деятельности озера получают определенный антропогенный пресс. В данном случае процесс их эволюции существенно ускоряется. Озера, не достигая своего статуса, ускоряют свой эволюционный ход. Поэтому они в течение XIX–XX вв. переходят в высокоэвтрофные, а порой и в гиперэвтрофные водоемы. Этот процесс

лимнологи называют антропогенным эвтрофированием озер (рис. 7.4). Скорость эвтрофирования озер зависит от климатических условий и местных (локальных) условий, которые в совокупности и определили современный облик озер и их статус. Все озера интенсивно развиваются и завершают свою роль в природных ландшафтах перерождением в болотный массив (болото). Эволюционный ряд эвтрофирования озер в общем виде можно представить в следующей последовательности: олиготрофный, олиготрофный с признаками мезотрофии, мезотрофный, эвтрофный (слабо- , средне- и высокоэвтрофный), гиперэвтрофный, дистрофирующий и дистрофный.

Процесс эвтрофирования зависит от внешней и внутренней биогенной нагрузки.

Внешнюю биогенную нагрузку на озеро можно рассчитать по формуле:

$$Lc = P_{\text{осн}} + P_{\text{б}} + P_c + P_n + P_{n+m} + P_a,$$

где Lc – внешняя биогенная нагрузка на озеро, г; Р/м^2 год; $P_{\text{осн}}$ – поступление фосфора из основных водотоков, г/м^2 год; $P_{\text{б}}$ – поступление биогенов из прилежащего к озеру водосбора, г/м^2 год; P_c – поступление биогенов с атмосферными осадками, г/м^2 год; P_n – поступление биогенов с подземными водами, г/м^2 год; P_{n+m} – поступление биогенов за счет околоводных птиц и животных, г/м^2 год; P_a – поступление биогенов из точечных источников антропогенного происхождения, г/м^2 год.

В связи с огромным значением фосфора и других биогенных элементов в продукционных процессах и эвтрофированием озер были предложены многочисленные формулы и модели для определения фосфорной нагрузки и концентрации фосфора в озерах. Критическую нагрузку фосфора на озеро R. A. Vollenweider (1976) предложил рассчитывать по формуле

$$L_c = 10\ z\ Q\text{V}\ (1 + V/\text{Q}),$$

где L_c – критическая нагрузка, мг/Р м^2 год; z – средняя глубина озера, м; Q – сумма притока воды с водосбора и атмосферные осадки на озеро, м^3; V – объем озера, м^3.

В настоящее время под внутренней биогенной нагрузкой чаще всего понимают поток биогенов со дна озера и последующим включением его в биотический круговорот.

В водоемах практически невозможно определить происхождение фосфора или азота в связи с разными источниками их поступления. С одной стороны, это поступление биогенов из-за пределов водосборов (площадь водосбора, атмосферные осадки, грунтовые воды и т. д.), с другой – за счет внутренних возможностей: фито- и зоопланктонные организмы, разлагающиеся in situ, продукты экскреции планктонных организмов, донные

отложения, из которых биогены поступают в фотическую зону, высвобождение водорослями и бактериями растворенных органических соединений, которые расщепляются in situ с образованием растворенных биогенов. Кроме того, нужно добавить выделение биогенов с экскрементами планктонных, бентосных, беспозвоночных и рыб. Все эти факторы составляют внутреннюю нагрузку на озеро. Если внешняя биогенная нагрузка указывает на поступление биогенов извне, то внутренняя биогенная нагрузка – на интенсивность круговорота биогенов. Внутренний баланс веществ отражает перераспределение отдельных химических элементов в процессе геохимической и биогеохимической миграции. Управление этими процессами позволит управлять экосистемами озер.

Зная величину первичной продукции фитопланктона, фитобентоса и их элементный состав (C : N : P), можно рассчитать вероятную величину фосфора и азота, которые пошли на создание данной продукции, и из этой величины вычесть величину внешней нагрузки, что даст внутреннюю нагрузку фосфором и азотом. Т. В. Жукова рассчитала ассимиляцию фосфора автотрофами, поступление фосфора с водосборной площади, донных отложений, экскреции фосфора зоопланктоном в Нарочанских озерах и подсчитала проценты ассимиляции автотрофами за счет этих поступлений.

Эти процессы тесно связаны с поступлением биогенных элементов. По последним исследованиям, наиболее важным показателем эвтрофирования озер является фосфорная нагрузка.

Фосфор (минеральный) присутствует в воде главным образом в виде фосфатов (PO_4^{3-}). Он входит в состав любого органического вещества, но в воде его содержание очень небольшое и в чистых озерах исчисляется тысячными долями миллиграмма на литр. В ходе сезонных изменений фосфаты, как и нитраты, летом почти исчезают в зоне эпилимниона. При отмирании организмов часть фосфатов поступает в воду, а также оседает в верхнем слое осадков. Благоприятные условия скопления фосфатов возникают в анаэробных условиях, свойственных гиполимниону. В годичном цикле наибольшее количество фосфора (сотые доли миллиграмма на литр) наблюдается в период зимней стагнации и в придонных слоях воды.

Обратно в воду из донных отложений фосфор возвращается вместе с железом и снова поступает в биотический круговорот (рис. 7.5).

Повышенное количество соединений фосфора в воде и в осадках служит свидетельством накопления органического вещества, поэтому низкий показатель фосфора в озере принято считать индикатором чистой воды.



Рис. 7.5. Концептуальная схема изменения (обмена) фосфора в системе вода – донные отложения (по Лоренцу)

Железо также является биогенным элементом, так как входит в состав гемоглобина крови. Удовлетворяющая потребность живых организмов, концентрация железа измеряется десятыми долями миллиграмма на литр, однако в определенных условиях его количество превышает нормальное более чем в 10 раз.

В озеро железо доставляется вместе с грунтовыми или поверхностными водами в виде тонкой взвеси или в растворе. Круговорот железа в озере связан с его способностью изменять валентность в зависимости от окислительно-восстановительных условий. Стабилизация железа в осадок происходит в окислительной среде, а миграция обратно в воду – при установлении восстановительных условий, свойственных устойчивому гиполимниону. Наименьшее количество железа в озерах Белоруссии (сотые доли миллиграмма в литре) отмечено в периоды циркуляции, а также в летний сезон в слое эпилимниона. Это связано как с потреблением растительными организмами, так и с осаждением его в трехвалентной форме $Fe(OH)_3$.

Резко выраженное разграничение слоя воды на верхний горизонт, почти лишенный железа, и обогащенный им нижний обнаруживается летом в озерах со слабым перемешиванием и мощным гиполимнионом, где железо мобилизуется в закисной форме. В оз. Губиза, например, концен-

трация железа летом 1967 г. в придонном слое изменилась от 0,18 мг/л в середине июня до 2,5 мг/л в конце июля. В начале сентября она достигла 3,53 мг/л. Верхний слой отложений в этом озере содержит до 10 % Fe_2O_3.

Кремний как биогенный элемент необходим для построения внутренних и наружных скелетов, в частности для роста створок диатомовых. Скопление этих водорослей в отложениях образует особую породу – диатомит. Источником поступления кристаллического кремния в озеро служат подземный и поверхностный притоки, а также абразия берегов, поэтому его содержание в воде во многом зависит от состава пород водосборов. Колебания SiO_2 в годовом цикле небольшие. Обычно в озерах, расположенных среди песчаных и моренных пород, количество кремния составляет более 1 мг/л, при заболоченных водосборах оно снижается до 0,1–0,3 мг/л.

В многолетней динамике азота и фосфора в водоеме-охладителе отмечается тенденция к постепенному их увеличению. В отдельные годы, когда в воде фиксировались максимальные концентрации фосфора, по уровню трофии экосистема оз. Лукомское приближалась к стадии гипертрофии.

В изменении минерального и общего фосфора от зимы к осени в многолетнем разрезе почти идентичны. В зимний период запасы фосфора формируются за счет минеральных и органических соединений и они имеют небольшую вариабельность в распределении по акватории и по глубине. Весной минеральный фосфор полностью потребляется, в водной массе остаются только органические соединения, концентрации которых несколько снижаются по сравнению с зимой. В летнюю стагнацию концентрация обоих соединений возрастает на порядок. Преобладают органические формы, значения которых существенны как по акватории, так и по глубине. Осенью продолжается рост минеральных соединений, органических – снижается.

Максимально высокое содержание неорганического азота в начале 1990-х гг. и повышение его концентрации в начале XXI в обусловлено не только климатическими факторами, но и введением в эксплуатацию садкового комплекса. Увеличение роли синезеленых водорослей также способствовало поступлению азота из атмосферы его фиксации отдельными видами.

Современная структура земель водосбора оз. Лукомское не способствует выносу соединений фосфора в озеро. Его территория представляет собой сочетание возвышенных, средневысотных и низменных мелиорированных ландшафтов с общим уклоном к югу. На долю пахотных земель приходится около 28 % площади, лесистость водосбора 36,8 % и заболоченность 8 %. Основные массивы сельскохозяйственных земель расположены на северо-западе и севере, в наиболее возвышенной и подверженной эрозии части водосбора. Ландшафтно-геохимическая струк-

тура водосбора снижает интенсивность миграции соединений фосфора и содействует его аккумуляции в ландшафтах. На водосборе озера было выделено 24 локальных участков, для которых был произведен расчет

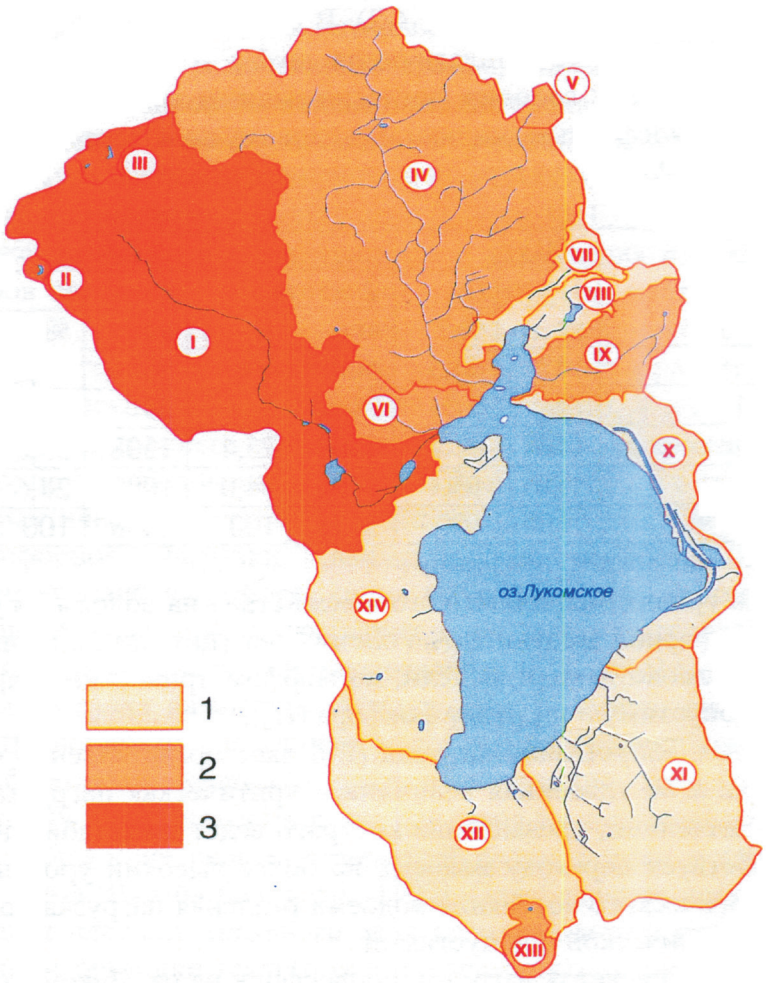


Рис. 7.6. Схема поступления соединений фосфора с водосбора в оз. Лукомское (по З. К. Карташевич, 2007). 1–X1X – локальные водосборы; вынос фосфора: 1 – наименьший; 2 – средний, 3 – максимальный

поступления фосфора в озеро (рис. 7.6). Некоторые из них представляют области внутреннего стока, для которых базисом эрозии является большое озеро, пруд или заболоченные участки (I, II, V, XIII). Вынос фосфора с таких локальных водосборов практически отсутствует. Основным источником эвтрофирования водоема является недоиспользованный рыбами комбикорм.

7.5 Органическое вещество в озерах

Органическое вещество в озерах имеет аллохтонное и автохтонное происхождение. Последнее свойственно богатым жизнью озерам, особенно подверженным антропогенному эвтрофированию. Основной источник автохтонного органического вещества – фотосинтез высшей водной растительности и водоросли. Наиболее продуктивные озера Африки, например оз. Виктория, продуцируют за счет фитопланктона до 940 г С/м^2, а в наименее продуктивных арктических всего 4 г С/м^2. В других озерах высшая водная растительность может играть основную роль в образовании органического вещества. Значительная часть органического вещества и энергии, накопленных в процессе деятельности растительных организмов, передается на следующие трофические уровни по сложной пищевой цепи, основу которой составляет связь хищник – жертва. Растительные и животные организмы (как живые, так и мертвые) являются постоянным источником органического вещества, поскольку в озере происходит экскреция живых клеток, автолиз (посмертный лизис тел) и окислительные бактериальные процессы разложения мертвых клеток. Часть общей первичной продукции планктонных водорослей выделяется в водную среду в форме растворенных органических веществ и может служить источником углерода и энергии для водных организмов. Однако

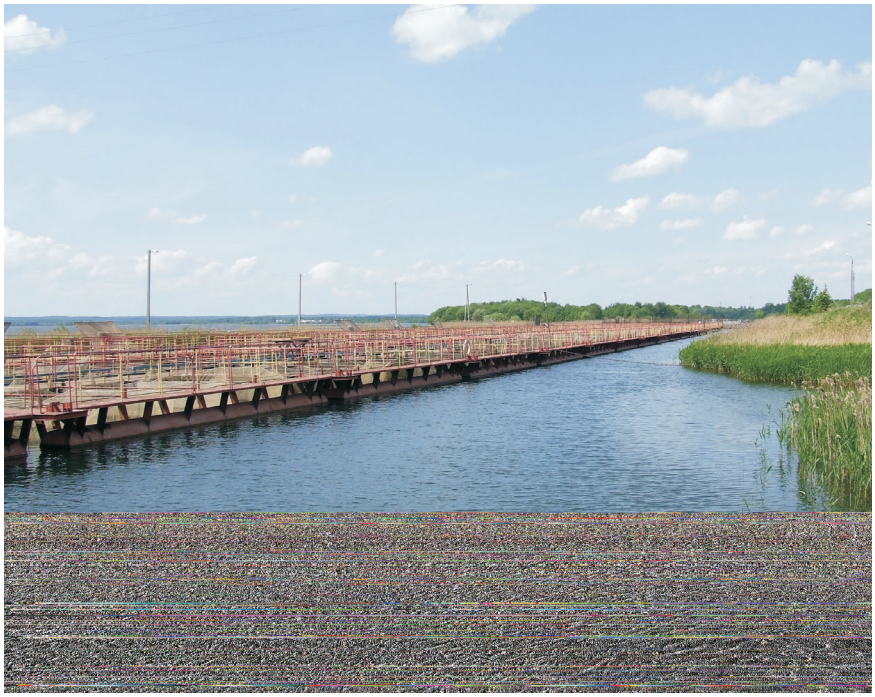


Рис. 7.7. Садковый комплекс в отводящем канале Лукомльской ГРЭС (оз. Лукомское)

в общем содержании растворенных органических веществ органическое вещество, выделяемое живыми клетками водорослей, незначительно. Исследования на оз. Мичиган показали, что в периоды резкого возрастания концентрации растворенных органических веществ только 2–9 % его содержания пополняется за счет экскреции живых клеток фитопланктона, а максимальные величины (до 58 %) получены в августе – сентябре за счет крупных молекул продуктов распада протеинов. В животном материале преобладают протеины. Так, мышцы животных содержат до 80 % белков, а ткани растений – всего 2–15 %. Белковые вещества, протеины и протеиды поступают в воду главным образом в результате автолиза и лизиса клеток отмерших организмов. Белки в дальнейшем расщепляются с образованием пептидов и свободных аминокислот.

На формирование состава аллахтонного органического вещества существенное влияние оказывают органические соединения почв, многие из которых хорошо растворяются в воде. Почвенный гумус составляет 85–90 % органического вещества почв. Высокая цветность воды озер в значительной степени определяется присутствием темноокрашенных гуминовых веществ болотного происхождения, наиболее устойчивых к разрушению.

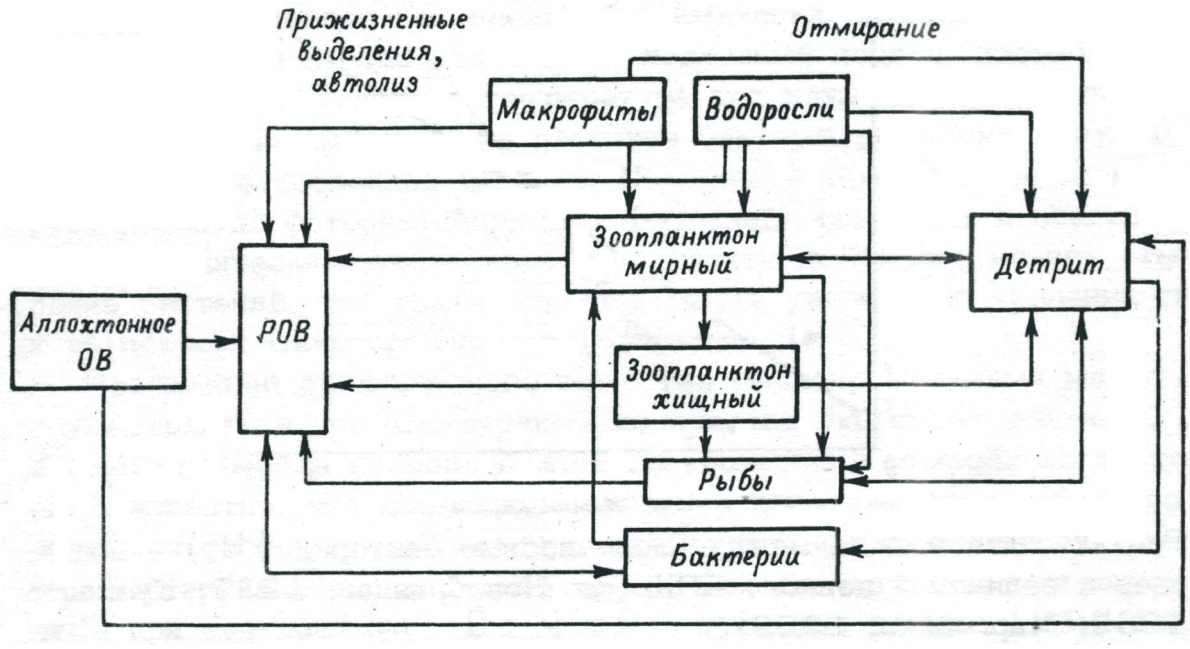


Рис. 7.8. Образование растворенного и взвешенного органического вещества в воде озер (по В. Г. Драбковой, 1981). ОВ – органическое вещество, РОВ – растворенное органическое вещество

При цветности 300° хромово-кобальтовой шкалы их количество в воде составляет 62 мг/л. Схема пополнения органического вещества воды озер приводится на рис. 7.8 (В. Г. Драбкова, 1981).

Другой и наиболее важный источник поступления растворенных органических веществ – разложение мертвого фитопланктона. В результате разложения водорослевого детрита выделяется в 2–6 раз больше растворенного органического вещества, чем в результате экскреции живых клеток. В экспериментальных условиях было показано, что выделенный макрофитами органический углерод составляет 50–65 % от усвоенного в процессе фотосинтеза углерода.

По Д. Хатчинсону (1969), в озерной воде могут находиться две категории растворенного органического вещества. Автохтонное органическое вещество, содержащее около 24 % сырого протеина с величиной соотношения C : N примерно 12 : 1, которое не придает воде ярко выраженную коричневую окраску, и образующееся в основном за счет разложения планктона. Аллахтонное органическое вещество с содержанием сырого протеина около 6 % с величиной соотношения C : N = 45–50 : 1, которое придает воде сильную коричневую окраску и поступает с водосбора. К этой категории он относит большую часть органического вещества, образуемого высшей водной растительностью.

Общее содержание органического вещества характеризуется величиной окисляемости, а соотношение бихроматной и перманганатной окисляемости дает представление об автохтонной его составляющей. Величина окисляемости увеличивается во время «цветения» и весной за счет приноса аллахтонного органического вещества с водосбора. В чистых глубоких озерах (Нарочь, Болдук, Волосо) перманганатная окисляемость не превышает 5–7 мг O_2/дм^3. В эвтрофных мелководных озерах она увеличивается до 10–12 мг O_2/дм^3, а в условиях антропогенного воздействия достигает 20–25 мг O_2/ дм^3 (озера Ковальки, Святцо, Забельское). Высокий показатель перманганатной окисляемости характерен и для озер с болотным питанием благодаря поступлению гуминовых веществ с водосбора. Визуально содержание органического вещества в воде определяется показателем цветности (выраженной в градусах специальной шкалы). Для глубоких чистых озер она превышает 10–15°; повышение цветности характерно для мелководных, богатых жизнью озер (40–50°), загрязненных (до 100°). В водоемах с болотным питанием цветность может превышать 100 °С за счет большого количества гуминовых кислот (табл. 15).

Таблица 15

Количество и распределение озер Беларуси по величине цветности воды

Цветность воды	Величина цветности (градусы)	Количество озер (%)
Очень низкая	Менее 10	5,8
Низкая	10–20,0	17,5
Средняя	20,1–40,0	35,3
Повышенная	40,1–80,0	30,3
Высокая	80,1–160,1	10,0
Очень высокая	Более 160,1	1,1

Одним из важнейших показателей гидрохимического и гидробиологического режимов любого озера следует считать содержание в нем органического вещества. Последнее может быть представлено в виде живых организмов и их отмерших остатков. Накопление и превращение органического вещества в озерах регулируется интенсивностью его разложения (окисления). Разложение происходит при участии бактерий (редуцентов) и требует потребления большого количества кислорода. При таком разложении сложных органических веществ образуется ряд простых минеральных соединений, в частности биогенных – фосфатов, нитратов, нитритов, аммонийных солей, в результате этот процесс приводит к самоочищению водоема. При недостатке кислорода (анаэробные условия) процесс разложения носит характер гниения, т. е. неполной минерализации. В гиполимнионе накапливаются разнообразные промежуточные соединения, в том числе сернокислые соли, сероводород, служащие показателем загрязнения водоема.

Наибольшим содержанием органического вещества отличаются мелководные, богатые жизнью озера. В глубоких чистых водоемах показатель органического вещества низкий. Причина заключается не только в слабом развитии жизни в глубоководных чистых озерах, но и в окислительной среде в них в течение всего года.

Общее содержание органического вещества в воде условно выражается величиной окисляемости, т. е. количеством кислорода, необходимого для окисления органического вещества в определенном объеме воды ($мгO_2/л$). При этом учитывается как автохтонное, так и автохтонное органическое вещество. Поэтому в один ряд могут попасть высокопродуктивные озера и водоемы, принимающие болотные воды, богатые гумусовыми веществами. В таких случаях обычно обращается внимание на показатель цветности, который во втором случае должен быть высоким.

Индикатором органического вещества в озерах является показатель биохимического потребления кислорода ($БПК_5$), высокое значение которого относится к числу определителей загрязнения воды.

В среднеглубоких и мелководных водоемах условия накопления органического вещества, как правило, более разнообразны. Массовое развитие живых организмов летом приводит к заметному увеличению окисляемости, особенно в поверхностных слоях. Значительная (около 30 мгО/л) окисляемость воды в оз. Межужол объясняется притоком гумусовых веществ и сочетается с высокой (около 100°) цветностью. Средняя величина окисляемости летом в неглубоких озерах >10 мгO_2/л. Зимой окисляемость уменьшается, особенно у поверхности. Вблизи дна она выше благодаря скоплению отмерших органических остатков.

Наименьший показатель окисляемости характерен для глубоких озер и сочетается с невысоким показателем цветности воды. В оз. Нарочь перманганатная окисляемость около 5–7 мг O_2/л, а бихроматная 20. Цветность таких озер в эпилимнионе не выше 10° и только при постоянном гиполимнионе увеличивается до 20–30.

Показатели содержания органического вещества в воде во многих случаях согласуются с величиной прозрачности воды. Последняя также имеет значение типологического показателя. В течение года прозрачность достигает наибольшей величины в зимнее время, летом при массовом развитии фитопланктона она сокращается. Весеннее и осеннее понижение прозрачности связано с поступлением в озера потоков талых замутненных вод.

В глубоких холодных водоемах (Долгое, Рудаково, Волос Южный, Нарочь) зимняя прозрачность (по белому диску) колеблется в пределах 7–8 м, достигая 10 м.

Цветность – понятие условное и характеризует не цвет воды, а содержание гумуса (гумификация). Выражается в градусах по платиново-кобальтовой шкале. Повышение цветности обычно бывает в период цветения. Наиболее же высший показатель (более 100°) в течение всего года наблюдается в озерах с болотным питанием, когда вода выглядит как сильно настоянный чай, хотя прозрачность может быть достаточно высока (2–4 м). Самый низкий показатель цветности (менее 10°) характерен для глубоких чистых ложбинных озер (Долгое, Болдук, Глубля).

Многолетняя динамика органического углерода в Лукомском озере свидетельствует о широкой вариации значений (от 6,4 до 25,9) (рис. 7.9).

Минимальные значения соответствуют статусу озер мезотрофного типа, максимальные – гиперэвтрофного. В динамике углерода обычно отмечается зимний минимум, затем наблюдается резкое увеличение в период максимальной вегетации водорослей. Особенностью динамики углерода в водоеме-охладителе является несколько повышенное его значение осенью за счет подогрева водной массы и увеличения периода вегетации.

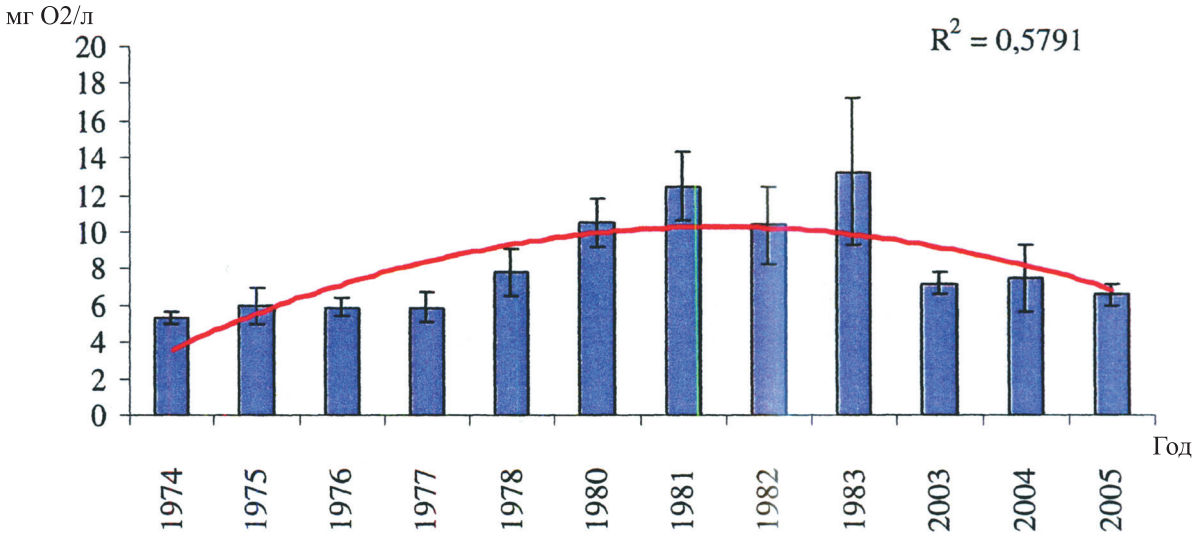


Рис. 7.9. Многолетняя динамика перманганатной окисляемости (среднегодовые величины) по З. К. Карташевич, 2007

В многолетнем разрезе в озере отмечается постепенный рост БПК5, что свидетельствует об увеличении автохтонной органики и уровня трофии озера в целом.

Характер динамики органики в водоеме свидетельствует о благоприятных условиях разложения органики и высоком самоочистительном потенциале лимносистемы. К зимней стагнации в озере разлагается практически вся органика, образовавшаяся за вегетационный период. Этому способствует высокое содержание растворенного кислорода. Кроме того, при достаточном количестве питательных веществ – фосфора и азота, бактерии могут обеспечивать высокую скорость процессов минерализации в аэробной среде. В то же время в экосистеме отмечается тенденция к увеличению концентрации органического вещества и усиления процесса эвтрофирования.

ГЛАВА 8

БИОЛОГИЯ ОЗЕР

Озера служат средой обитания многочисленных и разнообразных животных и растений, существующих в условиях тесной зависимости как от внешней среды, так и друг от друга. В свою очередь жизнедеятельность живых организмов оказывает активное влияние на формирование озерной экосистемы в целом.

По характеру обмена веществ обитатели озер делятся на две группы: продуценты (автотрофные организмы) и консументы (гетеротрофные организмы). Первые способны синтезировать органическое вещество в процессе фотосинтеза. Это – зеленые растения. К гетеротрофным организмам, питающимся готовым органическим веществом (живым или мертвым), относятся все животные и большинство бактерий, лишенных пигмента.

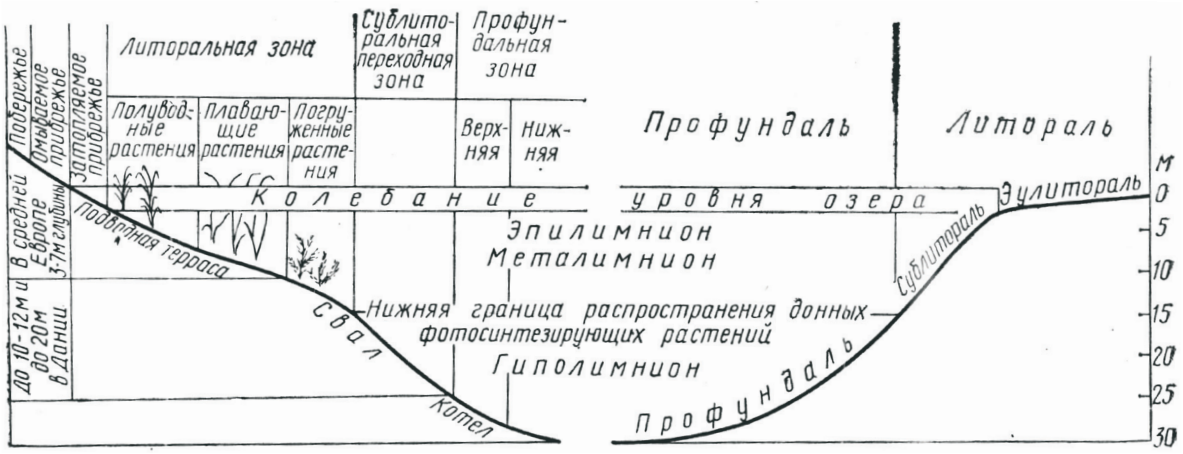


Рис. 8.1. Экологические зоны бентали и пелагиали озер. *А* – по Зернову (1949); *Б* – по Ruthner (1962), приводится по А. С. Константинову, 1986

Жизнедеятельность продуцентов связана с потреблением углекислоты, минеральных и биогенных элементов при условии солнечного освещения и приводит к выделению кислорода и накоплению органического вещества. Жизнь и развитие гетеротрофов требуют потребления кислорода и органического вещества и выражаются в накоплении в воде углекислоты и

минеральных соединений азота и фосфора. Качественные и количественные соотношения этих двух основных физиологических групп организмов придают водоемам специфические черты (рис. 8.1).

Озерные организмы различаются и по характеру обитания, образуя несколько экологических группировок: планктон, бентос, нектон.

Планктонные организмы, преимущественно микроскопические, живут в верхних слоях воды, находясь в ней как бы во взвешенном состоянии и образуя крупные, заметные простым глазом колонии, нередко вызывают «цветение» воды.

8.1. Фитопланктон (альгофлора)

Растительный планктон – фитопланктон является источником питания всех живых организмов, образуя первое звено общей пищевой цепи водоемов. В озерах Белоруссии обнаружено более 500 видов фитопланктонных водорослей (Т. Н. Михеева). По количеству первое место занимают протококковые (128), затем идут диатомовые (НО), синезеленые (100), десмидиевые, пирофитовые, золотистые, эвгленовые, вольвоксовые$_г$ желтозеленые. Из них 29 видов относятся к доминирующим; в отдельных водоемах найдены реликтовые представители. В количественном и качественном содержании фитопланктон обнаруживает закономерные сезонные изменения, а также зависимость от внутренних особенностей водоема. Первые выражаются в резком увеличении биомассы фитопланктона, «цветении» в летний период при максимальных температурах воды.

Наиболее богата и разнообразна альгофлора в неглубоких и мелководных, хорошо прогретых и перемешиваемых озерах со средней и слегка повышенной минерализацией. Это высоко- и среднеэвтрофные озера. Средняя величина биомассы фитопланктона в них >7 г/м^3. В оз. Паулье летом максимальное значение ее достигает 48,4 г/м^3, в Черствятах – 36,5, Дривятах – 30,5 г/м^3. При этом характерно разнообразие видов. В озерах Ушачской группы их насчитывается 154, а в оз. Дривяты – 169. В эвтрофных озерах чаще всего доминируют синезеленые водоросли.

В более глубоких слабоэвтрофных озерах средняя биомасса фитопланктона около 6 г/м^3; при большом разнообразии господствующее положение продолжают занимать синезеленые, но все большую роль играют пирофитовые и диатомовые. Наибольшее распространение получили представители родов: Melosira, Cyclotella, Flagillaria, Osillatoria Scenedesmus, Oocystis.

Для глубоких, чистых мезотрофных озер (Нарочь, Волос Северный) при резком сокращении средней биомассы (1–2 г/м^3) характерно разнообразие видового состава. Господствуют в них нередко диатомовые и

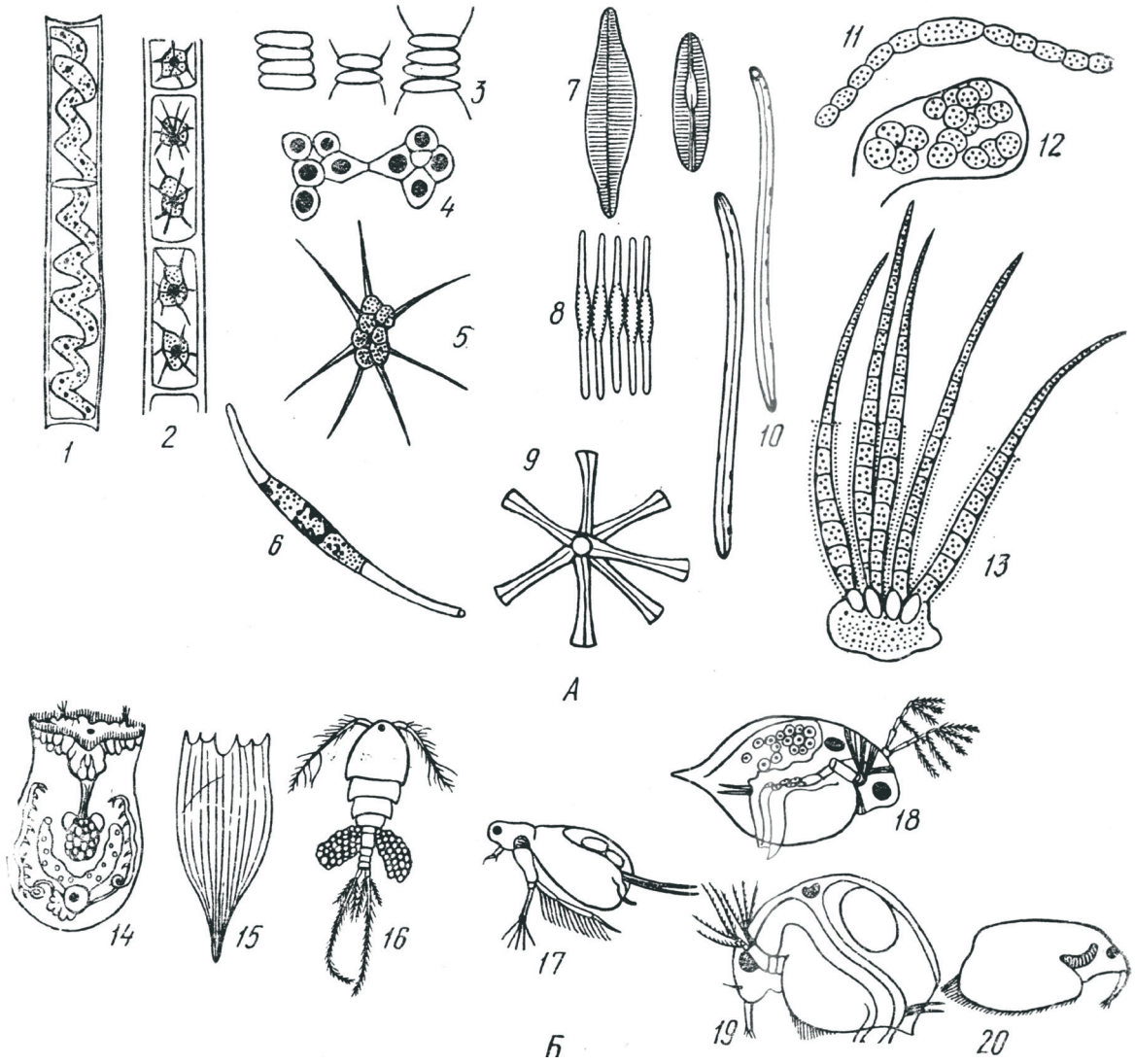


Рис. 8.2. Представители озерно-прудового планктона (по Одуму, 1975).
А – фитопланктон; Б – зоопланктон: 1 – *Splrogyra, 2 – Zygnema, 3 – Scenedesmus, 4 – Coelastrum, 5 – Richtriella, 6 – Closterium, 7 – Navicula, 8 – Fragilaria, 9 – Asterionella, 10 – Nitzschia, 11 – Anabaena, 12 – Microcystis, 13 – Glocothrichia, 14 – Asplanchna, 15 – Notolca, 16 – Macrocyclops, 17 – Diaphanosoma, 18 – Daphnia, 19 – Bosmina, 20 – Acantholeberis*

пирофитовые (озера Гиньково, Волос Южный). Появление синезеленых здесь, как правило, связано с усилением поступления биогенных элементов в результате хозяйственной деятельности.

Очень низкий показатель фитопланктона характеризует озера с пониженной минерализацией воды и с болотным питанием. В оз. Чербомысло, например, летняя биомасса фитопланктона оказалась не выше 0,5 г/м^3, причем основу его составили всего два вида.

8.2. Высшая водная растительность (макрофиты)

К автотрофным организмам водоемов, продуцирующим органическое вещество, относятся макрофиты **(фитобентос)**, образующие своеобразные прибрежные фитоценозы (рис. 8.3). Макрофиты – это водные цветковые растения и некоторые высшие водоросли. Качественный и количественный состав макрофитов тесно связан с общими экологическими условиями водоемов, устройством их котловин, химическим составом воды, характером донных отложений и др. Занимая прибрежную зону, именно макрофиты принимают на себя и усваивают основные сбросы биогенных веществ с водобора. В этом смысле прибрежные водные растения в определенной степени регулируют расход питательных элементов и проникновение их в пелагическую зону озера.

Глубина распространения высших водных растений зависит прежде всего от глубины проникновения солнечых лучей. При средней глубине 3–4 м в прозрачных водоемах они распространяются до 7–8 м, образуя группы растительных формаций: водно-болотной, воздушно-водной (полупогруженной), с плавающими листьями, погруженной. Каждая группа формаций располагается на определенных глубинах и образует хорошо выраженные полосы, параллельные берегу.

Полоса водно-болотных растений занимает обычно низкую прибрежную зону, где представлены такие растения, как аир обыкновенный (Acorus calamus L.), осоки (Carex nigra, C. acuta (L.), ситняг игольчатый (Eleocharis acicuiarls (L.), калужница болотная (Caltha palustris), лютик ядовитый (Ranunculus sceleratus), стрелолист (Sagittaria Sagittifolia (L.) и др.

По характеру распространения и внешнему виду большой интерес представляет полоса воздушно-водных (полупогруженных) растений, которая создает своеобразный «второй берег» озера и фиксирует положение бровки литорали на глубине от 1 до 2 м. Обычно на песчаных и песчано-галечниковых литоралях получают развитие чистые ассоциации тростника (Phragmites communis (Frin.), на заиленных грунтах к нему примешивается или доминирует камыш (Scirpus lacusiris (L.), а также манник водяной (Glyceria aguatica (L.), некоторые виды хвоща. Полупогруженные растения живут почти наземной жизнью, используя солнечный свет и углекислый газ непосредственно из атмосферы. Вместе с тем воздушно-водным растениям, подверженным влиянию сильной волно-прибойной деятельности, свойственна устойчивость против динамического воздействия прибойной волны, которая достигается эластичностью стеблей, способностью к вегетативному размножению. Однако вблизи абразионных и аккумулятивных берегов макрофиты обычно отступают, образуя лагуну затишья между полосой растительности и берегом.

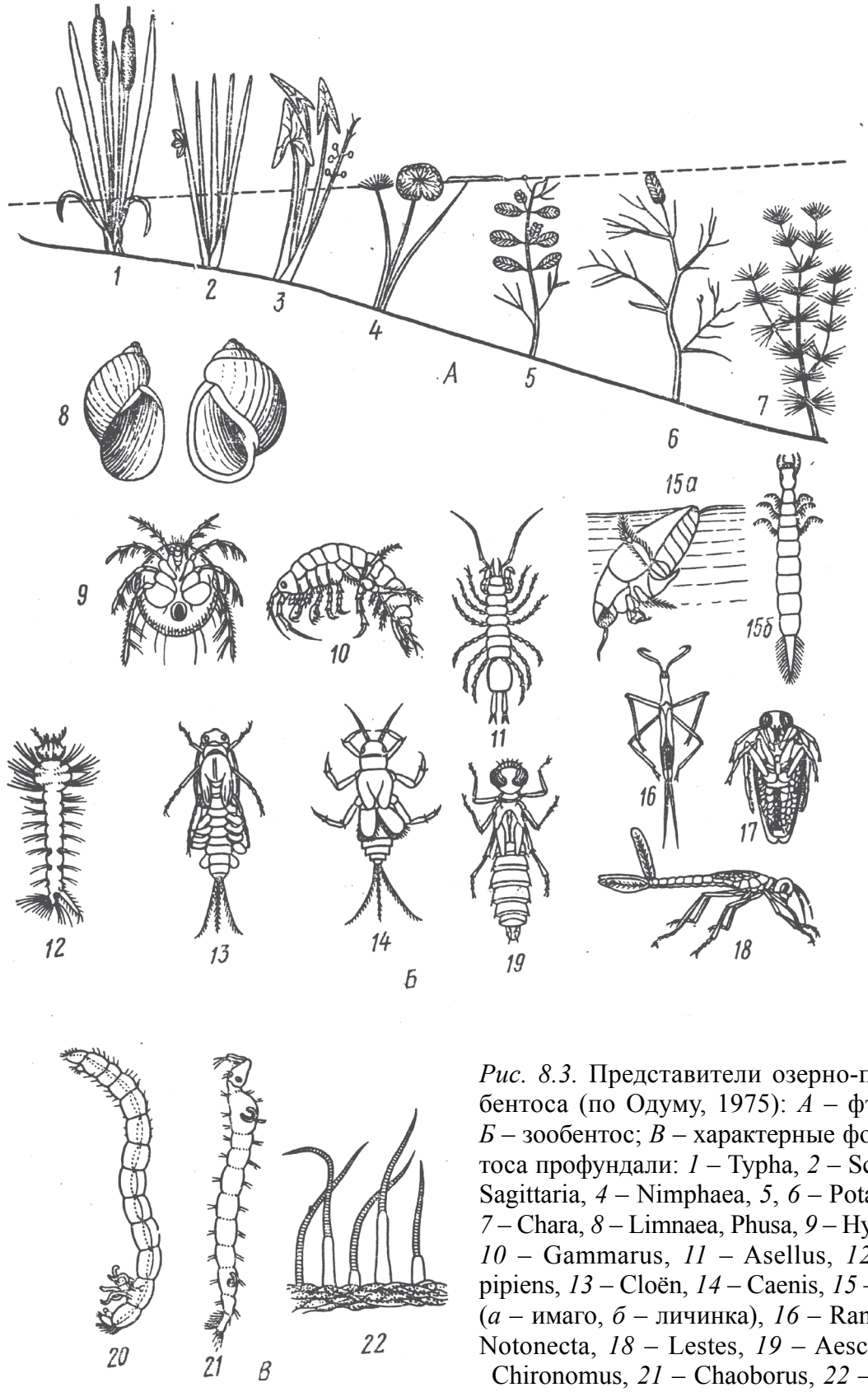


Рис. 8.3. Представители озерно-прудового бентоса (по Одуму, 1975): *А* – фтобентос; *Б* – зообентос; *В* – характерные формы бентоса профундали: *1* – Typha, *2* – Scirpus, *3* – Sagittaria, *4* – Nimphaea, *5*, *6* – Potamogeton, *7* – Chara, *8* – Limnaea, Phusa, *9* – Hydracarina, *10* – Gammarus, *11* – Asellus, *12* – Culex pipiens, *13* – Cloën, *14* – Caenis, *15* – Dytiscus (*а* – имаго, *б* – личинка), *16* – Ranatra, *17* – Notonecta, *18* – Lestes, *19* – Aeschna, *20* – Chironomus, *21* – Chaoborus, *22* – Tubifex

Полоса растений с плавающими листьями распространяется до глубины 3 м. Обычно она образует прерывистые бордюры вдоль тростниково-камышовой полосы, но наибольшей ширины достигает в заливах с илистым дном. В отличие от полупогруженных макрофитов растения с плавающими листьями используют атмосферный воздух лишь отчасти. В этой зоне почти не ощущается волнения, так как упругие мощные стебли, плотные широкие листья являются надежным заслоном ветру. В полосе растений с плавающими листьями наиболее распространены кувшинка белая (.Nymphaea Candida (L.), кубышка желтая (Nuphar luteum (L.), рдест плавающий (Potamogeton natans (L.), гречиха земноводная (Spirodela polyrrhiza (L.), а в сильно заросших озерах – различные виды ряски.

В большинстве озер Беларуси значительно распространена полоса растений, полностью погруженных в воду и только на время цветения выбрасывающих соцветия над водой. Наиболее характерны для этой полосы рдесты: блестящий (Potamogeton lucens (L.), пронзеннолистный (P. perfoliatus (L.), сплюснутый (P. compressus (L.), плавающий (P. natans (L.) и др. Кроме того, большое развитие получила ассоциация элодеи (Elodea canadensis (Rich.), роголистник погруженный (Ceratophyllum demersum (L.), лютик жестколистный (Ranunculus circinnatus (Sibt.). На мощных илах поселяются турионы: телорез (Stratiotes aloides (L.), уруть (Myriophyllum (L.). Глубоко (до 7–8 м) проникают высшие водоросли: лучица (Chara sp.), блестянка (Nitella sp.), а также водные мхи (Fontinalis, Calliergon sp.).

В чистых озерах, слабо затронутых деятельностью человека, можно встретить представителей редких и реликтовых растений: водяной орех (Trapa natans), альдрованду пузырчатую (Aldrovanda vesiculosa), мечтраву (Cla-dium mariscus R. Br), лобелию Дортмана (Lobelia Dortmanna) и др. Характер зарастания озер имеет свои закономерности. Наибольшие площади зарастания за счет подводных макрофитов наблюдаются в глубоких и прозрачных озерах. Сплошное зарастание с преобладанием надводных ассоциаций свойственно мелководным дистрофирующим озерам.

Изучение законов распространения макрофитов позволяет отметить определенную связь их с характером грунтов и строением ложа озера. При этом создается своеобразный комплекс микроусловий, который нередко становится типичным и может быть отнесен к рангу низших ландшафтных единиц – фаций, развивающихся внутри сложного озерного урочища.

Наиболее распространены в озерах северной Беларуси песчаные литоральные фации тростниково-камышовой ассоциации с примесью других

макрофитов, а также песчано-галечниковые литоральные фации с разреженной тростниковой ассоциацией. Редко встречающаяся каменистая литоральная фация почти свободна от макрофитов. Бедны растительностью и глинистые литоральные фации, которые, кроме тростника, включают лишь некоторые рдесты (пронзеннолистный, гребенчатый).

Фации заиленных литоралей отличаются богатством макрофитов. Тростник, камыш, манник в них сочетается с хвощом, рдестами курчавым и плавающим. На сильно заиленных литоральных фациях отмечаются заросли курчавого рдеста, элодеи, урути. Разнообразен состав макрофитов в реже распространенных карбонатных литоральных фациях. Растительные ассоциации представлены здесь элодее-рдестовой, харово-рдестовой, харовой. Наконец, торфяные литоральные фации, как правило, бедны макрофитами.

На крутых, сильно опесчаненных или глинистых сублиторальных фациях широко распространены рдесты (блестящий, гребенчатый), роголистник, гречиха земноводная. На более заиленных и пологих сублиторальных фациях развиваются рдесты (курчавый, плавающий), гречиха земноводная, роголистник, ряска. Однако больше всего здесь водных растений с плавающими на поверхности листьями. Особую фацию представляют участки, сложенные карбонатными сапропелями. Для них характерны харовые водоросли с примесью элодеи, рдестов (туполистного, маленького) и роголистника (табл. 8.1 и рис. 8.4).

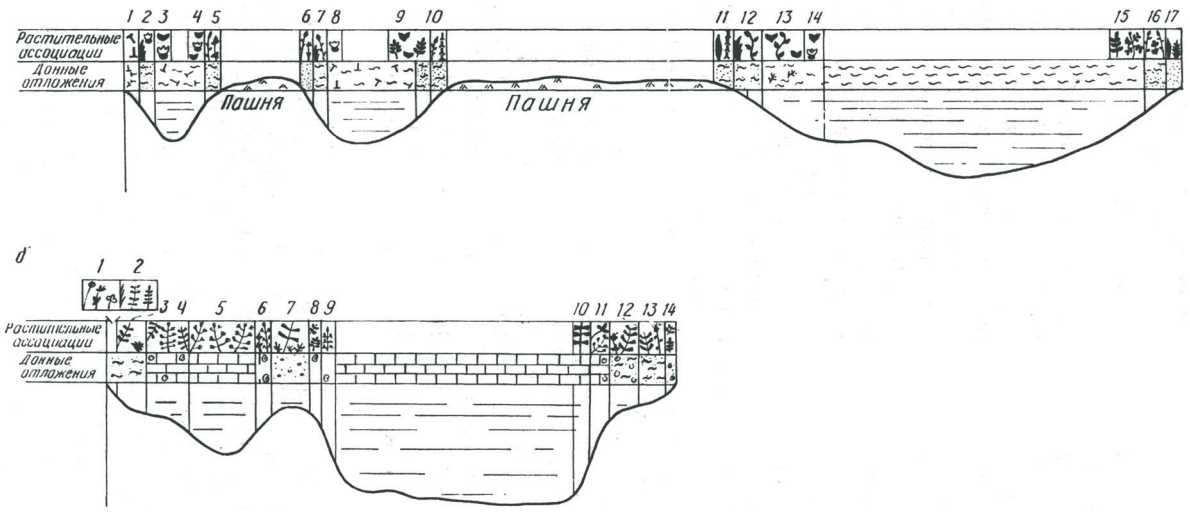


Рис. 8.4. Ландшафтные профили через озера: *а* – Паулье (Ушачская группа озер), и *б* – Нарочь. Условные обозначения в табл. 8.4

Таблица 8.1

Профиль через оз. Нарочь в створе д. Стебенево – д. Наносы

	Фации глубина (м)	Характер отложений*	Растительная ассоциация	
1	0,0–0,7	Песок заиленный	Ежеголовниково – элодейно-рясковая	24 вида
2	0,7–1,0	»	Камышово-харово-рдестовая	11 видов
3	1,0–3,0	»	Харово-телорезовая с рдестом	3 вида
4	3,0–6,0	»	Харово-роголистниковая	4 вида
5	6,0–8,0	Сапропель карбонатный	Роголистниковая	2 вида
6	4,0–6,0	»	Элодейно-роголистниковая	4 вида
7	2,0–4,0	Песок с галькой	Харово-моховая	4 вида
8	4,0–6,0	»	Харово-роголистниковая	3 вида*
9	7,0–9,5	Сапропель карбонатный	Роголистниковая	2 вида
10	6,0–8,0	»	Харовая	2 вида
11	5,0–6,0	»	Элодейно-роголистниковая	4 вида
12	2,0–5,0	Песок заиленный с ракушками	Элодейно-харовая	3 вида
13	0,6–2,0	Песок заиленный*	Тростниково-харовая	2 вида
14	0,6–0,2	Песчано-галечниковы материал	Рдестово-харовая	

Примечание. Песчаные отложения на глубине 8–10 см подстилаются карбонатным сапропелем.

Современные схемы зарастания озер формировались на протяжении и их экосистемы прошли длительный период развития от олиготрофного типа современного состояния, с разным уровнем трофности и, соответственно, развития растительности. С начала голоцена в поздне-послеледниковое время до сегодняшнего дня шел непрерывный процесс трансформации гидрологических условий и эволюции растительных сообществ.

На первом этапе в относительно холодных олиготрофных водоемах с низкой минерализацией и невысоким содержанием биогенных элементов, кислорода в воде развитие макрофитов на минеральных грунтах было ограничено (Г. С. Гигевич, 1995). Отсутствие хорошо сформировавшихся мелководных литоралей также препятствовало расселению растительности. Процесс выполаживания ложа, поступление преимущественно терригенного песчаного материала не способствовали и разнообразию их видового состава. Он был беден, количество типичных водных растений

не превышало 10 и в водоемах преобладали олигосапробные виды (мхи, полушник озерный) и космополиты (тростник, кубышка желтая), среди фитопланктона – диатомовые водоросли.

Последующие колебания климатических эпох выражались в чередовании теплых и холодных периодов, относительных потеплений и похолоданий, в изменении режима увлажнения водосборов, условий озерного седиментогенеза. Параллельно шли медленные процессы организации экосистем на новом уровне, повышение трофности с одновременным увеличением органического вещества в воде. В процессе роста трофности происходит обогащение водной флоры бетасапробными видами. В растительном покрове доминируют элодеиды – рдест широколистный, элодея, роголистник, харовые водоросли. В пребореале и бореале некоторые озера достигли мезотрофного уровня. Часть из них в соответствии с гидроморфологическими показателями приобрела облик, характерный уровню развития современных озер типа Долгое и Нарочь. В продукции органического вещества основную роль играют макрофиты, с характерной поясностью надводных, погруженных и растений с плавающими листьями, среди которых преобладают виды рода Potamogeton, харовые водоросли. Количество видов увеличивается до 60 (оз. Нарочь), а биомасса до 1 г $0_2/м^2$.

На следующем этапе эволюции экосистем в атлантический и суббореальный периоды часть озер достигает уровня эвтрофного типа с соответствующей структурой фитоценозов. Озера с доминированием кальцефильной растительности имели широкое распространение в атлантическое время. Дальнейшее обогащение экосистем водоемов питательными веществами и рост трофности к смене состава макрофитов и исчезновению бетамезосапробных и появлению альфасапробных видов (рдесты узколистые). В высокоэвтрофных водоемах преобладают надводная растительность и растения с плавающими листьями. Общее число видов снижается до 20–30. Большинство озер Беларуси относится сейчас к этому типу. Среди эвтрофных водоемов выделяется несколько подтипов, отличающихся специфическими условиями развития водной растительности.

На завершающем этапе с начала суббореала и до настоящего времени часть озер приблизилась к последней стадии эволюции. Озера заполнились донными отложениями, их котловины выположились. Уровень продуктивности падает. Озера полностью зарастают водной растительностью, которая позже перерождается в болотную. Структурная перестройка растительных сообществ завершается полным исчезновением гидрофитов в заполненных отложениями пологих котловинах водоемов дистрофного типа со сплошными зарослями гелофитной растительности.

В озерах водная растительность создает три основные зоны, которые опоясывают весь водоем концентрическими, вдоль берега полосами.

Наиболее мелководные прибрежные полосы заселяются надводными растениями (полупогруженными, аэрогидрофитами). Глубже распространяются погруженные, а в укрытых от волнения заливах обычно получают распространение растения с плавающими на поверхности листьями или свободноплавающие. Видовой состав макрофитов, глубина распространения, площадь зарастания являются функцией многих показателей. К их числу относятся: наличие мелководий, характер донных отложений, гидродинамические, гидрологические параметры, а также гидрохимические условия.

Исключая растительность озерной поймы, которая представлена водноболотными растениями, в пределах водной акватории пояс надводных растений простирается до глубины 2–1 м, погруженных (глубины 1–2 м) и пояс с плавающими листьями и другими вегетативными органами (В. М. Катанская, 1981). По некоторым данным (О. Ф. Якушко, 1967; I. Sarkinene, 1964), выделяется до 6 полос водной растительности. Каждый пояс в озерах разного типа выражен неодинаково. Развитие поясов растительности связано с типом зарастания. По И. Шаркинене (I. Sarkiniene, 1964) выделяется фрагментарный, поясно-фрагментарный, поясно-сплошной и трясинный типы зарастания озер.

В озерах с фрагментарным типом зарастания все растительные пояса развиты слабо, с поясно-фрагментарным типом – более сильно, а с поясно-сплошным – очень сильно. В озерах трясинного типа зарастания перечисленные полосы развиты слабо (А. А. Гарункштис, 1975). Здесь обычно отсутствуют полосы широколиственных камышей и нимфеидов, малочисленны гелогидрофиты. Полоса лимнеидов в озерах всех типов зарастания развита хорошо, за исключением озер трясинного типа зарастания, где полоса лимнеидов, как и другие полосы водных растений, развиты слабо. Нередко встречаются озера, в которых полоса лимнеидов совсем отсутствует. Степень зарастания акваторий от озер фрагментарного зарастания к озерам поясно-фрагментарного, поясно-сплошного уменьшается и значительно уменьшается у озер трясинного типа зарастания.

На современном этапе развития в естественных условиях выделенные типы водоемов по уровню трофии отличаются устойчивой структурой растительных сообществ и своей продукционно-функциональной организацией (Т. Н. Покровская, 1979, и др.). Наибольшей продуктивной способностью отличаются водоемы эвтрофного типа. При интенсивном загрязнении водоемов происходит ускоренный процесс эвтрофирования или даже гипертрофирования.

Процесс интенсивного развития водной растительности на начальном этапе загрязнения завершается резким ее падением и дальнейшей заме-

ной болотными видами. Типичные водные растения полностью исчезают, гелофиты представлены только тростником, аиром и манником.

Как показывают длительные мониторинговые исследования развития водной растительности при различных условиях антропогенной нагрузки (36 лет), видовой состав водной растительности имеет тенденцию к его уменьшению. Больше реагируют на эти воздействия погруженные гидрофиты. На рис. 8.5 представлена система мониторинга водной растительности в озерах Беларуси.



Рис. 8.5. Схема мониторинга высшей водной растительности озер (по Б. П. Власову, Г. С. Гигевич, 2002)

В результате жизнедеятельности макрофитов создается органическое вещество, биомасса которого является (как и биомасса фитопланктона) составной частью первичной продукции водоема. Соотношение биомассы высших водных растений и фитопланктона дает возможность разделить озера на три группы, которые соответствуют их генетическим типам: 1) в глубоких прозрачных мезотрофных озерах (Волос Северный, Ричи) основную роль в создании первичной продукции играют макрофиты; 2) в среднеглубоких мезатрофных и неглубоких слобоэвтрофных озерах значение фитопланктона и макрофита примерно выравнивается, а в числе последних наряду с подводными увеличивается биомасса полупогруженных растений; 3) в мелководных слабопроточных эвтрофных озерах основу первичной продукции составляет фитопланктон, а среди макрофитов преобладают надводные и с плавающими листьями.

8.3. Зоопланктон, зообентос, ихтиофауна

Зоопланктон является вторым звеном пищевой цепи озерных водоемов и важным компонентом их трофического уровня. Количество и видовой состав зоопланктона зависит от развития фитопланктона, а также комплекса лимнических условий (гидрохимического режима, морфологических особенностей котловины, характера питания и др.).

Видовой состав зоопланктона включает 143 формы. Из них большинство составляют низшие ракообразные: Cladocera – 61, Corepoda – 23. Остальные 59 относятся к коловроткам (Rotatoria) (П. Г. Петрович). Зоопланктон объединяет два генетически различных элемента: представителей послеледниковой фауны, которая создает основной фон и ледниково-морских реликтов, входящих в состав планктонной и бентальной фауны наиболее глубоких холодных озер к планктонным реликтам относятся Limnocalanus marcurus. Состав зоопланктона отражает генетический тип озера: в глубоких холодных водоемах господствуют веслоногие рачки, а в мелководных – ветвистоусые. Например, в оз. Нарочь представителей ветвистоусых всего 23 %. По величине биомассы зоопланктона Г. Г. Винберг выделяет 4 группы озер: 1) мезотрофные с признаками олиготрофии (биомасса 0,1–0,25 г/м^3); 2) мезотрофные (0,25–1 г/м^3); 3) эвтрофные (1–7 г/м^3); 4) дистрофные с резко пониженным и однообразным составом зоопланктона. Средний показатель для озер Беларуси – 2,94 г/м^3.

Биомасса на качественный состав животного мира ложа (зообентос), как и планктона, является отражением внешних климатических факторов и индивидуальных особенностей каждого водоема и особенно донных отложений. Общее количество бентальных организмов около 200. Разнообразный состав бентоса отмечается в прозрачных мезотрофных озерах, что объясняется благоприятными условиями гидрохимического режима водной массы. В эвтрофных озерах количество видов заметно сокращается. В оз. Нарочь, например, встречено 47 видов и форм бентических животных, в оз. Мястро – 40, в оз. Баторин – 28. При этом средняя годовая биомасса бентоса в озере Нарочь составила около 9,63 г/м^2, в оз. Баторин – всего 0,33 г/м^2. В группе Ушачских озер наибольшее разнообразие обнаружено в глубоком оз. Гомель, наименьшее – в эвтрофном оз. Отолово.

Для высокоэвтрофных озер характерно, кроме того, резкое колебание величины биомассы по сезонам. Основу бентоса эвтрофных озер составляют в основном личинки хирономид и олигохет, которые поедаются рыбами охотнее, чем, например, моллюски, преобладающие в мезотрофных озерах. К этому следует прибавить напряженность кислородного режима в высокоэвтрофных водоемах в периоды стагнации.



Рис. 8.6. Разбор проб зообентоса на озере Лукомское (2005 г.)

Пространственное распространение организмов бентоса чаще всего имеет два максимума численности: прибрежный и глубинный. При этом биомасса, как правило, возрастает в литорали и средней части профундали, сокращаясь вблизи берега и особенно в глубинных частях ложа. В литорали обычно распространены моллюски, ракообразные, олигохеты, личинки поденок, стрекоз, хирономид, висло-крылок, ручейников; на опесчаненных илах – малощетинковые черви (олигохеты), хирономиды, моллюски (горошинка, дрейссена, беззубка, битиния), ракообразные.

Основное число видов организмов бентоса относится к послеледниковым, но в некоторых глубоких водоемах Белорусского Поозерья обнаружены реликтовые ракообразные: Pontoporeja offinis, Palassea guadrispinosa. К числу завезенных недавно из бассейна Каспийского моря относится Dreissena.

Озера Беларуси богаты *рыбой.* В них обитает 19 видов промысловых рыб: ряпушка, снеток, щука, плотва, язь, красноперка, жерех, линь, уклея, густера, лещ, золотой карась, карликовый сомик, сом, угорь, налим, судак, окунь. Изредка встречаются ручьевая форель и минога.

Таблица 8.2

Типизация озер по основным лимнологическим показателям

Показатели	Типологические группы водоемов				
	Сигово-снетковые	Лещево-судачьи	Лещево-шучье-плотвичные	Окунево-плотвичные	Карасево-линевые
Генетический тип	II	III_1	$Ш_2$, $Ш_3$	И, III, IV_1	$Ш_3$,IV_2
Площадь	средние и крупные	средние и крупные	малые, средние и крупные	малые и средние	малые, средние и крупные
Глубина	средне- и глубоководные	неглубокие и средне-глубокие	мелководные неглубокие	все типы	мелководные,
Термический режим	гетеротермные	мезо- и гомотермные	гомотермные	гетеро- и гомотермные	гомотермные
Газовый режим	хороший	удовлетворительный	удовлетвори-тельный	удовлетворительный с диффицигом у дна	удовлетвори-тельный
Наличие заморов	нет *	нет	в отдельных частях	в отдельных частях	возможно
Г н Наличие песчано-гравийных грунтов, % дна	> 3 0	до 30	10–15	–	–
Г Прозрачность, м	>2	1–1,5	1–1,5	0,5–2	< i
Г Проточность	Слабо-проточные	Слабопроточные или проточные	Все типы	Все типы	Все типы
Биомасса зоопланктона, г/м~	1–4	5–7	5–7	1–8	1,2–6
Биомасса зообентоса, г/м	2,2–8	8–12	8–12	2–12	4–5
Объем ихтиоценоза, видов	14	18	16	8	6
Число видов	(до 25)	(до 25)	(до 20)	(до 13)	(до 14)
Состав ядра ихтиоценозов	плотва, щука, окунь, ряпушка	лещ, плотва, окунь, судак	лещ, плотва, щука, окунь	окунь, плотва, щука	карась, щука, плотва

8.4. Первичная продукция и ее роль в биологической продуктивности водоемов

Первичная продукция является важнейшим звеном продукционных процессов в водоеме. По определению Г. Г. Винберга, «первичная продукция водоемов – результат жизнедеятельности населяющих его растительных организмов – существенно отличается от всех других видов биологической продукции тем, что представляет собой новообразование органических веществ из минеральных, требующее затраты определенного количества энергии».

Суть методов вычисления первичной продукции сводится к учету выделенных или потребленных при фотосинтезе веществ за определенный период времени. Величина первичной продукции выражается в единицах кислорода ($гO_2/м^3$ или $гO_2/м^2$), углерода ($гС/м^3$ или $гС/м^2$), энергии (ккал/$м^2$) и т. д.

В каждом озере существует свой баланс органического вещества. Количественный итог биотического баланса дает представление о направлении и скорости превращений органического вещества в водоеме. Приходная часть баланса формируется в результате утилизации солнечной энергии растительными организмами за счет фотосинтеза (Ф) и притока минеральных веществ. Расходная часть баланса – деструкция (Д) складывается за счет дыхания бактерий, водорослей, зоопланктона. Деструкция сопровождается выделением энергии и ведет к снижению запасов органического вещества.

Таким образом, если в формуле Ф–Д = А первый член больше второго, получившаяся разность характеризует итог биотического баланса как положительный. Отрицательное значение А свидетельствует о преобладании процессов деструкции.

Основу первичной продукции эвтрофных водоемов составляет фитопланктон. В глубоких прозрачных мезотрофных озерах в ее создании играют большую роль.

Попытки разработать рыбохозяйственную классификацию озер предпринимались в 50–60 гг. XXI в. Однако эти работы касались наиболее крупных и продуктивных озер. В настоящее время разработана система рыбохозяйственной классификации озер Беларуси, в основу которой положен комплекс показателей (табл. 8.2), которые отражают лимнологические, продукционные и ихтиологические показатели озер (В. Г. Костоусов, 2002).

ГЛАВА 9

ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

9.1. Закономерности образования и накопления осадков в озерах

Озерный водоем в пределах его бассейна служит базисом аккумуляции. С момента возникновения озеро становится местом привноса, формирования и накопления разнообразных минеральных и органических веществ. Их состав, скорость накопления, мощность связаны с природными особенностями водосбора и совокупностью явлений, происходящих в озере. В числе современных факторов озерной седиментации следует назвать также деятельность человека.

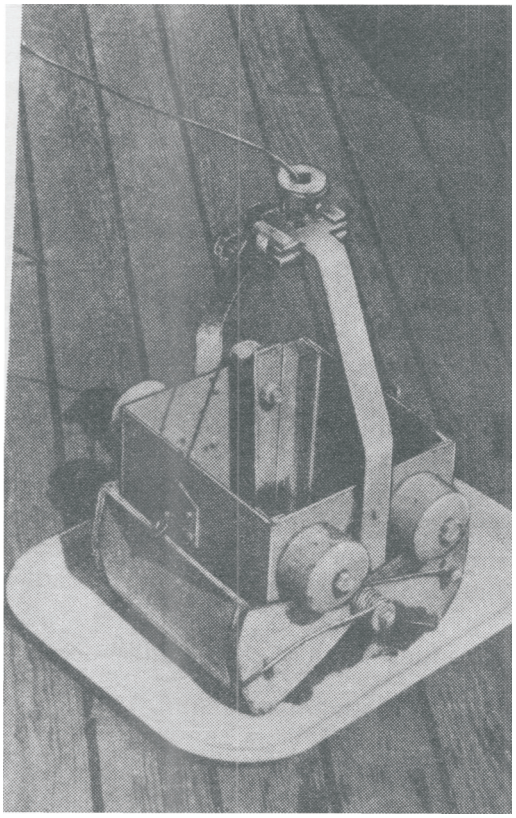


Рис. 9.1. Дночерпатель для взятия проб грунта

Исследования озерных отложений начались в начале XX в. В это время начинают проводиться специальные исследования сапропеля с точки зрения их генезиса. Накопленный опыт был обобщен в инструкции по исследованию озер, в которой подробно рассматривались генезис котловин, процессы абразии, отложение наносов и др. В этой же инструкции были описаны методы изучения грунтов озер, их химического анализа, развитие озер и превращение их в болота.

Труды М. И. Нейштадта, Н. В. Кордэ придали исследованию отложений озер прикладную направленность: были оценены общие запасы сапропелей, усовершенствованы методики их изучения. Л. Л. Россолимо рассматривал озера как накопители вещества: терригенного, хемогенного и органогенного. На этой основе была проведена типизация озер и их районирование.

Для отбора проб образцов донных отложений используются дночерпатели (рис. 9.1). Наиболее распространенны типом является дночерпатель системы Экмана–Бержи, который представляет собой металлический короб размером 0,2 • 0,2 • 0,4 м. С помощью пружинного механизма и сбрасываемого по фалу груза он закрывается снизу, что дает возможность подъема грунта в водной среде. Лучше всего дночерпатели работают на илах и сапропелях. Для работы на песках и более грубых грунтах удобен к использованию ковшовый дночерпатель Петерсена с площадью захвата 0,25 м^2. Для отбора образцов грунта из толщи донных отложений применяются грунтовые трубки и буры. При небольших глубинах на малых озерах применяются штанговые буры. На практике хорошо зарекомендовал себя бур Лаборатории озероведения БГУ, прототипом для создания которого стал бур Института торфа (рис. 9.2). Бур состоит из желонки в форме продольно усеченного цилиндра, ножа, подрезающего керн, одновременно он служит крышкой желонки, фиксатора и набора штанг с разметкой. Принцип работы заключается в последовательном отборе метровых кернов по всей толще залежи отложений. Бур с открытой желонкой опускается на необходимую глубину, поворотом штанги вокруг оси освобождается замок крышки желонки, что позволяет дополнительным нажатием закрыть ее. От бура Института торфа этот бур отличается большим объемом образца (длина 1 м при площади сечения 22 см^2), а также возможностью отбора образцов с ненарушенной структурой и слоистостью отбираемых проб грунта. Буром удавалось на практике получать хорошие керны длиной до 10 м. Существенным недостатком бура является ограниченное его использование на глубинах более 5 м и неудовлетворительное качество образцов из жидкого приповерхностного слоя. При больших глубинах используются грунтовые трубки ГОИН – 1,5. А для отбора поверхностных отложений с ненарушенной структурой используются приборы с использованием замораживания осадков, который широко использовался литовскими и эстонскими исследователями.

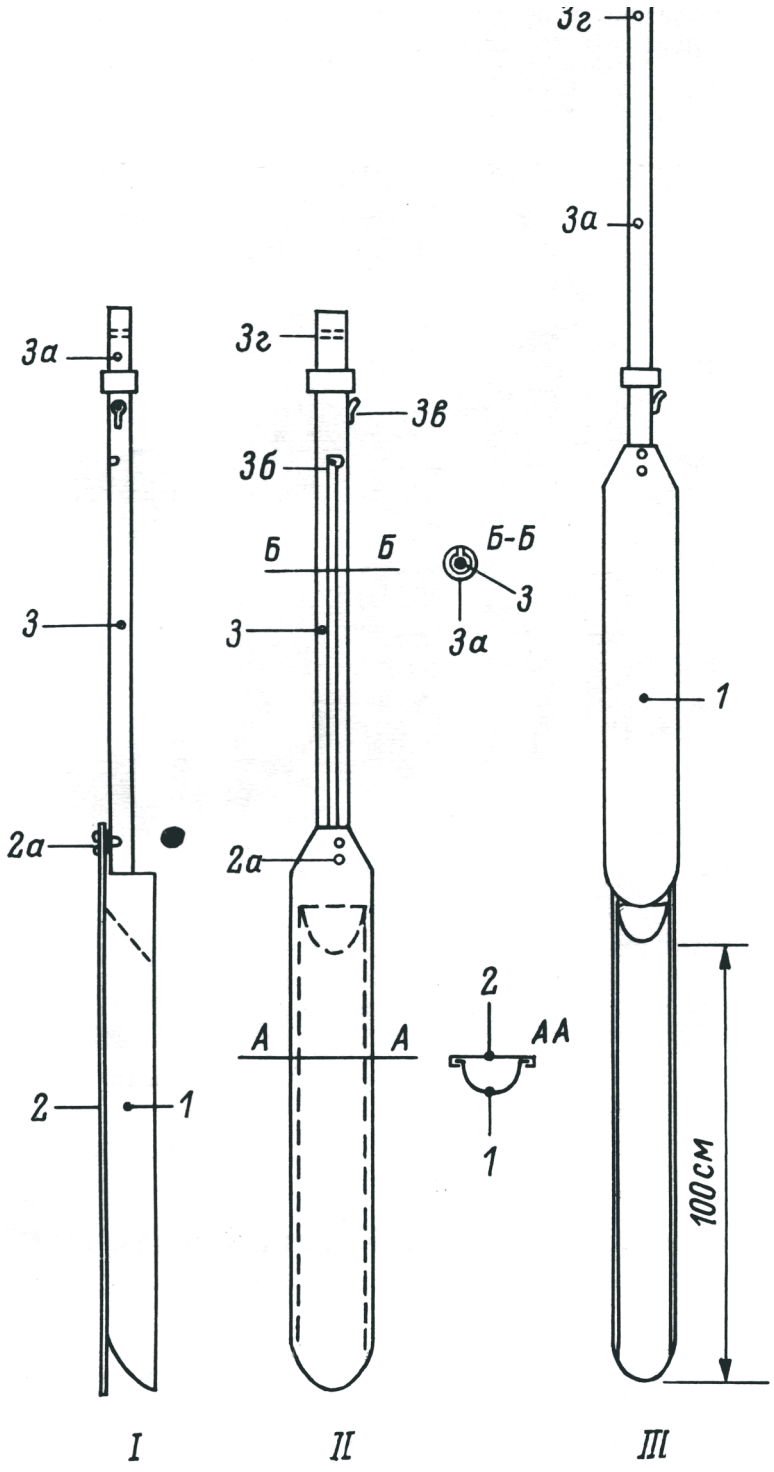


Рис. 9.2. Унифицированный бур Института торфа: I – вид сбоку; II – бур закрыт; III – бур открыт: *1* – кернозаборная желонка; *2* – крышка желонки; *2а* – крепление крышки к вращающему стержню *3а; 3* – труба с прорезью и вращающимся стержнем *3а; 3б* – фиксатор; *3в* – кольцо для страховочной веревки; *3г* – отверстие для соединения со штангой



Рис. 9.3. Отбор поверхностных проб донных отложений на Ладожском озере (сентябрь 2000 г.) с помощью дночерпателя «Экмана» с борта НИС «Талан». На палубе доктор биологических наук Н. Н. Давыдова и доктор географических наук Д. А. Субетто

На крупных озерах приборы опускаются в воду с помощью лебедки (рис. 9.3).

При бурении описывается каждая метровая колонка, она разделяется на отрезки. Из каждого отрезка отбирается сырой образец для гранулометрического и других (палинологический и диатомовый) анализов. Сырые образцы импользуются при анализах других микро- и макроостатков. Для химического анализа грунт высушивают, растирают в специальных ступках.

Гранулометрический анализ является одним из основных методов изучения донных отложений, особенно при их классификации. По Н. М. Страхову определяется средний диаметр частиц, процент фракции каждого размера. Строится кумулятивная кривая, определяется доля содержания песчаных, глинистых, крупно- и мелкоалевритовых частиц. Минералогический метод представляет собой анализ породообразующих компонентов, последовательности их образования, структурных и текстурных особенностей породы. Геохимические методы используются для определения микро- и макроэлементов в отложениях. Палинологические методы позволяют построить соотвествующие диаграммы содержания спор, пыльцы и др.

Минеральные и органические вещества в озере размещаются на различных глубинах ложа не только в зависимости от места их поступления и возникновения, но и в значительной степени под влиянием размера и удельных весов частиц, динамики водной массы. Постепенно вновь образованное вещество стабилизируется, покрывается более молодыми отложениями, изолируется от непосредственного воздействия воды и превращается в специфические породы озерного происхождения: озерные глины, пески, известняки, железо-марганцевые руды, разнообразные по составу илы и сапропели. Донные отложения, их химический и биологический состав, характер распределения, мощность отражают общее направление баланса вещества и энергии озера и являются его конечной продукцией.

По способу образования обычно выделяют отложения биогенного, хемогенного и терригенного (кластогенного) типов, но чаще всего они встречаются в разнообразных сочетаниях (рис. 9.4). Приведенные условные обозначения используются для составления карт распространения отложений по дну озер.

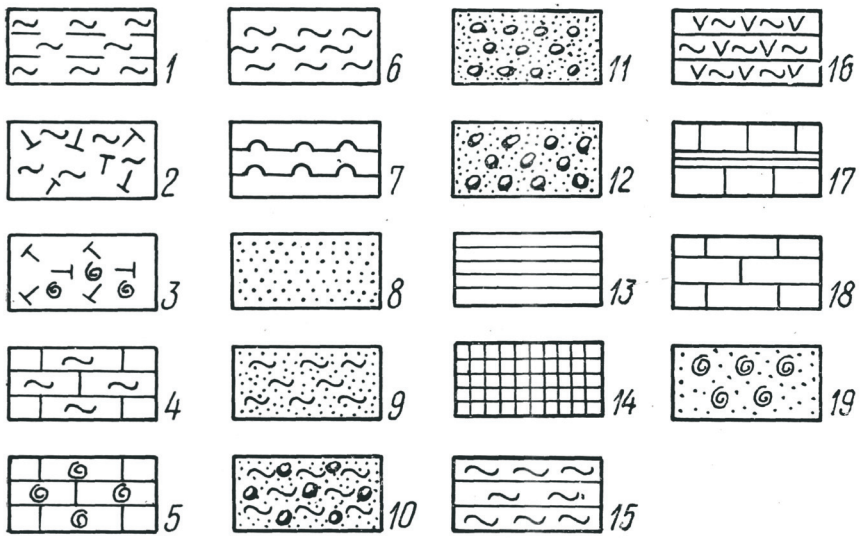


Рис. 9.4. Условные знаки донных отложений: *1* – сапропель тонкодетритовый; *2* – сапропель грубодетритовый; *3* – сапропель грубодетритовый с ракушками; *4* – сапропель карбонатный; *5* – сапропель карбонатный с ракушками; *6* – сапропель кремнеземистый; 7 – сапропель смешанный; *8* – песок; *9* – песок заиленный; *10* – песок заиленный с валунами; *11* – песок с валунами; *12*– гравийно-галечниковые отложения; *13* – глина; *14* – глина карбонатная; *15* –ил глинистый; *16* – ил глинистый ожелезненный; *17* – ил глинистый с повышенным содержанием карбонатов; *18* – известняк озерный; *19* – песок с ракушками

Терригенные осадки поступают в озерные ванны в результате абразии берегов, поверхностного стока, ветровой деятельности и размещаются согласно законам гравитации. Однако «классическая» дифференциация отложений нередко нарушается в результате проявления местных факторов. Вблизи абразионных берегов ширина терригенной полосы уже, а механический состав грубее. Конфигурация берегов и направление ветров нередко стимулируют образование мелей и кос. Большое значение имеет крутизна сублиторального уклона. В оз. Нарочь, например, в направлении от косы к югу разнозернистые пески составляют основу донных отложений до глубины 6–7 м. В районе «Гатовичских ям» песчано-алевритовый материал по крутому склону сублиторали распространяется до глубины 10–12 м, а в озере Долгом – до глубины 15–20 м (рис. 9.5).

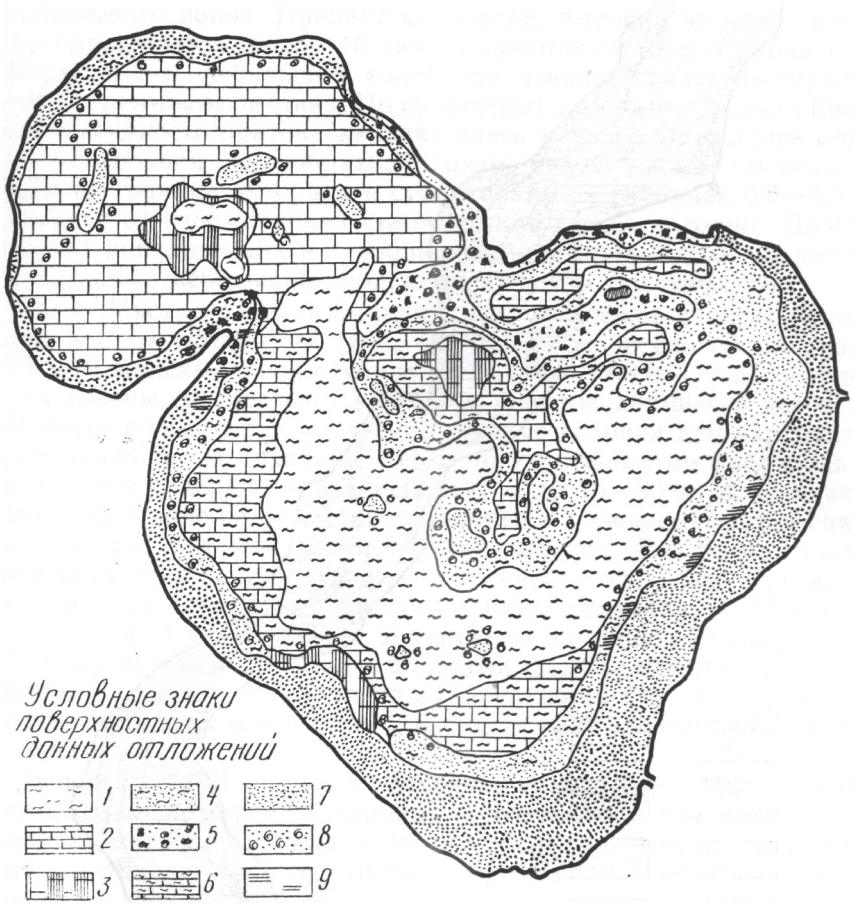


Рис. 9.5. Распределение донных отложений в оз. Нарочь:
1 – кремнеземистый сапропель; *2* – карбонатный сапропель;
3 – глинистый ил с повышенным содержанием карбонатов;
4 – песок заиленный; *5* – валунно-галечниковые отложения;
6 – смешанный сапропель; *7* – песок; *8* – ракушечник;
9 – выходы глин

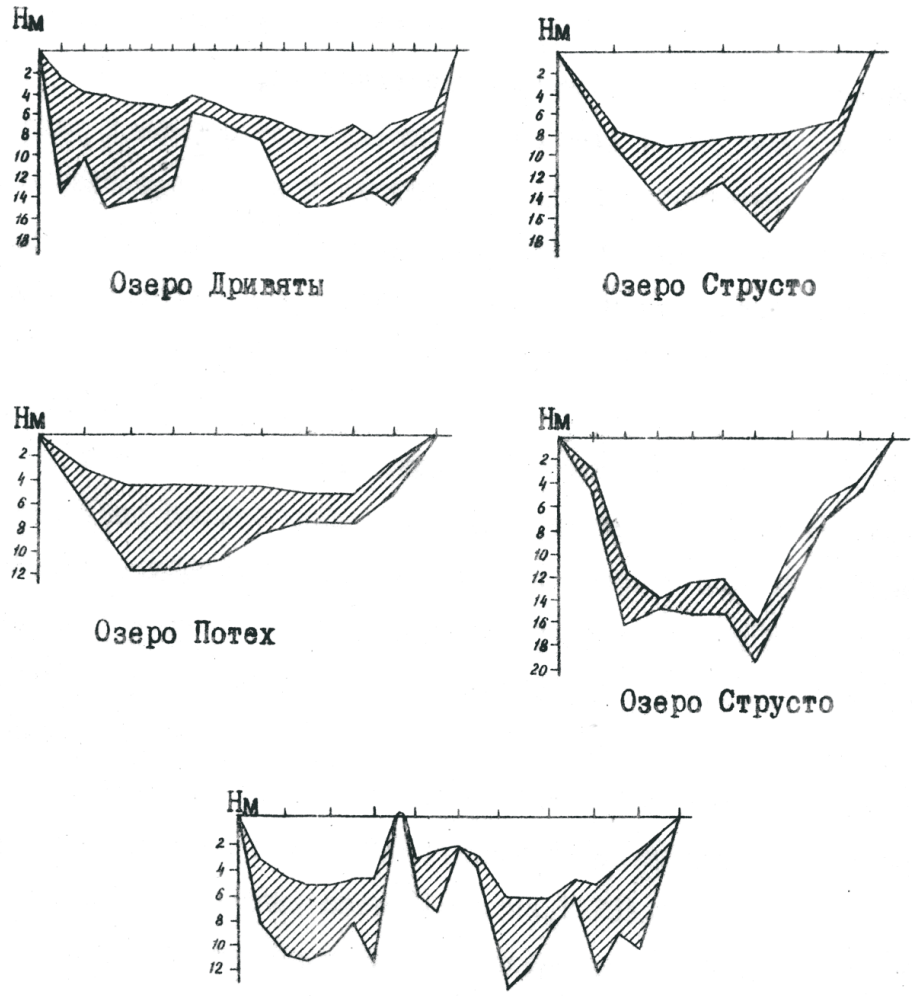


Рис. 9.6. Профили мощности донных отложений озер Браславской озерно-речной системы

В укрытых от ветра, заросших прибрежных участках, кроме минеральных, встречаются заиленные разновидности отложений; заиленные пески, опесчаненные илы. Наиболее мощные сапропели и илы залегают в глубоководной части озерных котловин (рис. 9.6).

По характеру отложений литоральная и сублиторальная зоны озера Беларуси делятся на следующие типы:

1. Песчано-галечниково-каменистые литорали, приуроченные к участкам абразионных берегов крупных водоемов: Нарочь, Снуды, Струсто, Иказнь. Отложения этого типа характеризуются слабой отсортированностью и преобладанием частиц >1 мм. В литологическом составе около 70 % приходится на долю кристаллических пород, 25–30 % составляют карбонатные.

2. Песчаные литорали и сублиторали получили наиболее широкое распространение и приурочены к незащищенным от ветра участкам берегов. В разрезе пески обнаруживают признаки слоистости. При значительном содержании фракций 1,0–0,25 мм (32–35 %) преобладают фракции 0,25–0,05 мм (до 50 %).

Более тонкие по механическому составу песчано-алевритовые отложения отсортированы лучше. Содержание характеризующей фракции (0,05–0,01 мм) в гранулометрическом спектре достигает более 50 %. Глинистая фракция (<0,01 мм) увеличивается до 11–15 %.

При изучении минералогического состава обращает на себя внимание полное преобладание в легкой фракции кварца (около 90 %), на втором месте – полевые шпаты, в разных количествах встречаются карбонаты, глауконит, мусковит. В состав тяжелой фракции входит до 30 минералов». В группе неустойчивых до 40 % приходится на долю амфибол, присутствуют также биотит, мусковит, хлорит, апатит, пирит, бурые окислы железа. В числе устойчивых доминирует гранат, иногда придающий песку характерный сиреневый оттенок (оз. Нарочь), попадаются рутил, ставролит.

3. Песчано-глинистые и глинистые литорали и сублиторали изучены в озерах Свиты, Долгое, Волос Южный, Кривое, Отолово и др. Особенности механического состава определяются суглинистым характером окружающих пород и защищенностью от ветра участков берегов. Для глинистых литоральных отложений оз. Долгое показательно уменьшение до 17,5 % содержания алевритовой и высокое содержание пелитовой (более 60 %) фракций. Глинистые литоральные отложения некоторых озер (Долгое, Свиты) относятся к древним, сформированным в начальную стадию развития водоемов. Глины, разные по цвету (красные, серые, шоколадные), нередко с признаками слоистости «просвечивают» из-под молодых современных песчано-гравелистых отложений, не смешиваясь с ними. Они часто обнаруживаются на профундальных глубинах под небольшим слоем илов. Типично в этом отношении также оз. Нарочь.

4. Песчано-заиленные литорали и сублиторали характерны для водоемов с плоскими котловинами, незначительными уклонами дна и слабым проявлением современных абразионных и аккумулятивных процессов.

5. Карбонатные литорали и особенно сублиторали встречаются реже других. В малом плесе оз. Нарочь вдоль северного берега прибрежная зона на глубинах 1–8 м сложена тонкодисперсными карбонатными отложениями с содержанием CaO 50–45 %. Такой же состав отложений участками отмечен в сублиторали озер Долгое, Мядель, Малые Швакшты, Глубля, Белое (Гродненское).

6. Особая разновидность мелководных осадков формируется при значительном участии органических (грубодетритовых) составляющих. В во-

доемах, расположенных среди болотных массивов, минеральные литорали почти отсутствуют (Межужол, Яшчиня, Ольшица, Плавно).

Хемогенный и биогенный типы донных отложений, а чаще всего их генетическое сочетание распространены главным образом в глубокой части озера – в профундали. В ней формируется и накапливается основная масса типичных органо-минеральных осадков: высокозольных илов и сапропеля, богатых органическим веществом.

Современные отложения озер настолько разнообразны, что до сих пор в литературе нет единого названия их разновидностей. Высокоорганические разности, например, называются гиттией, дью, сапропелитом и т. д. Однако большинство авторов употребляют общий термин – сапропель. В составе последнего сочетается минеральное и органическое вещество. Первое обычно имеет аллохтонное происхождение и включает глинистые и пелитовые частицы разного химического состава.

Органо-минеральная порода – сапропель является специфическим образованием пресных озер зоны смешанных лесов. Сапропель имеет только ему присущие свойства. Из физических свойств обращают на себя внимание повышенная естественная влажность, разнообразный цвет, текучая консистенция. Цвет обычно определяется визуально на свежем срезе, так как при высыхании сапропеля он изменяется.

Цвет служит индикатором минерального состава, содержания органического вещества, активной реакции и газового режима придонного слоя воды. Как правило, светлый сапропель имеет незначительное количество органического вещества, формирующегося на небольших глубинах при ярко выраженной окислительной обстановке среды. В химическом составе минеральной части такого сапропеля наряду с SiO_2 большую роль играет карбонат кальция. Светлоокрашенные отложения могут иметь глинистый состав зольной части. Это обедненные органическим веществом серые и светло-оливковые глинистые илы.

Цвет темного сапропеля варьирует от коричнево-оливкового до черного. Основа минерально составляющей такого сапропеля представлена кремнеземом. Самое большое содержание органического вещества, как правило, свойственно средним глубинам, где цвет сапропеля становится коричнево-оливковым. Оливковый и особенно черный сапропель и илы обычны на значительных глубинах, где господствуют восстановительные условия.

Верхний слой сапропеля заметно меняется в разные сезоны года. В периоды стагнации при недостатке кислорода и распространении восстановительных условий он темный, а в периоды осенней и весенней циркуляции заметно светлеет, отражая оттенки окисных соединений железа.

Консистенция сапропеля варьирует от жидкой, гелеобразной до относительно плотной, жирной, маслянистой. Гелеобразная консистенция чаще присуща высокоорганическому сапропелю, обогащенному аутигенным веществом. При повышенном содержании глинистых терригенных частиц обедненный органическим веществом сапропель приобретает более плотную, иногда маслообразную консистенцию.

Естественная влажность верхнего слоя отложений (пелогена) всегда высока и достигает 95–98 %. Глубже слои уплотняются при одновременном уменьшении влажности до 90–80 %. Меньше показатели естественной влажности в глинистых илах – до 60–50 %. Обычно наименьшая влажность (1–2 %) свойственна глинистым илам, максимальная – тонкодисперсным высокоорганическим осадкам – превышает 8–10 %. Средняя величина гигроскопичной влаги в отложениях профундали 4,5 %.

К числу важнейших особенностей сапропелей следует отнести, кроме того, изменение его физических свойств при высыхании, что тесно связано с механическим и химическим составом. Карбонатный сапропель при высыхании мало изменяет свой цвет, легко разрушается при растирании. Примерно так реагируют на механическое воздействие и глинистые илы. Что касается кремнеземистого малозольного сапропеля, то при высыхании он превращается в твердую массу серо-оливкового цвета с ржавыми пятнами. Эта масса очень устойчива против механического воздействия и не размокает в воде.

9.2. Вещественный состав и классификация озерных отложений

В основе большинства классификаций озерных отложений лежит соотношение и сочетание минеральной и органической составляющих, а также преобладание того или иного элемента в их зольной (минеральной) части. Отложения современных озер Белоруссии делятся на три типа: 1) органические малозольные сапропели; 2) органо-минеральные (высокозольные) сапропели; 3) минеральные отложения. В связи с тем, что смена осадков двух первых типов весьма постепенная, приняты условные количественные показатели каждого (рис. 9.7).

Органический сапропель содержат более 50 % органического вещества (ППП); показатель содержания органического углерода ($C_{орг}$) колеблется в них в пределах 20–25 %, а фосфатов (P_2O_5) – около 0,35–0,45 %. Сапропель с высоким значением планктонных организмов и сильно разложившихся остатков высших водных растений относится к числу тонкодетритовых. Грубодетритовым обычно называют органический сапропель с преобладанием слабо разложившихся остатков макрофитов.

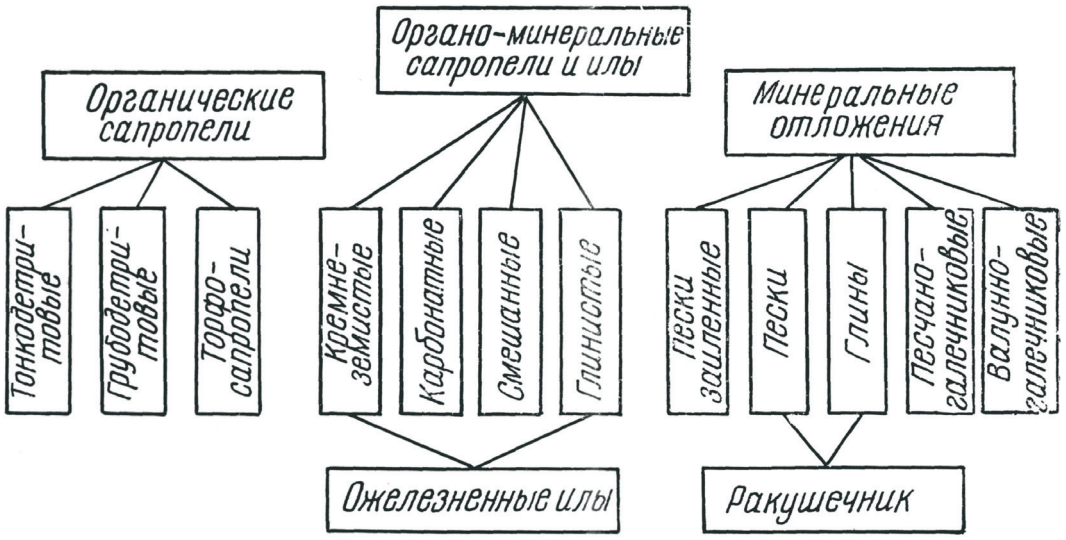


Рис. 9.7. Схема классификации донных отложений (по О. Ф. Якушко)

Органо-минеральный сапропель, содержание органического вещества в котором колеблется от 30 до 50 %, различается по преобладанию определенного элемента в зольном остатке. Выделяются: 1) кремнеземистый темноокрашенный, 2) известковистый (карбонатный светлоокрашенный, 3) смешанный (кремнеземисто-карбонатный) различных оттенков.

Разновидности органо-минеральных отложений заметно различаются по содержанию органического углерода. Наиболее высокое содержание (около 20 %) характерно для кремнеземистого сапропеля – наименьшее – для карбонатного. Содержание фосфора ($P_2 0_5$) в первом составляет 0,25–0,30 %.

Наиболее высокозольные органо-минеральные осадки, ППП которых не превышает 20–15 %, относятся к озерным илам. Последние по цвету могут варьировать от светло-оливковых до черных в зависимости от условий накопления и примесей макро- и микроэлементов; по механическому составу они чаще всего глинистые.

Среди кремнеземистого сапропеля и илов выделяется разновидность с повышенным содержанием железа (ожелезненный сапропель, илы).

Третий тип озерных отложений – *минеральный* также делится на несколько разновидностей. Тип объединяет пески заиленные, пески, глины, песчано-галечниковые осадки. К этому же типу условно отнесены пески и заиленные пески, в большом количестве обогащенные обломками раковин (ракушечник). Что касается содержания органического вещества, то его количество может варьировать от 15 % (заиленные пески) до 1–1,5 % в песчано-галечниковом материале. Минеральные осадки нередко содержат повышенное количество хемогенного карбонатного вещества (пески и глины карбонатные), количество которого достигает 10–12 % в валовом составе.

Таким образом, в состав типичных отложений озер (сапропель, илов) входят два основных компонента: органический и минеральный. Органическое вещество в осадках формируется за счет растительных и животных организмов, обитающих в озерах. Многие исследователи считают, что основной органической частью сапропелей являются остатки планктонных (главным образом фитопланктонных) организмов.

Существует также мнение, что сапропель органического типа формируется за счет развития макрофитов. Это касается главным образом грубодетритовых отложений высокоэвтрофных и зарастающих озер. Такой сапропель получает название, соответствующее преобладанию в них тех или иных растительных ассоциаций: рдестовые, телорезовые и т. д.

Органическое вещество как в озере, так и в сапропелях имеет автохтонное и аллохтонное происхождение, максимальные величины ППП свойственны грубодетритовым осадкам и достигают 90 %.

Накопление органического вещества сочетается с окислением (разложением) и превращением в простые минеральные вещества. Преобразование органического вещества в сапропеле связано также с деятельностью редуцентов, главным образом бактерий и грибков, могущих существовать даже в анаэробных условиях. В 1 г абсолютно сухого вещества верхнего слоя сапропеля оз. Червоного обнаружено несколько миллионов микроорганизмов.

Общим показателем для характеристики органического вещества сапропеля служит содержание соединений азота, углерода, фосфора, гуминовых кислот, витаминов (B_{12}, B_1, B_2), каратиноидов. Особенно богат сапропель соединениями азота, содержание которого в пелогеном слое достигает 8,5 % азота на органическую массу.

Из элементов, входящих в состав зольной части озерных отложений, наибольшее значение имеют соединения кремнезема, алюминия, железа, серы, кальция, магния, щелочных металлов. Обычно они определяются в окисных формах: $Si0_2$, $A1_2O_3$, Fe_2O_3, SO_3, CaO, MgO, Na_2O, K_20.

Во всех типах озерных отложений присутствует кремний. В песчаных литоральных осадках его содержание превышает 80 %. Минимальное количество SiO_2 обнаружено в высокоорганических грубодетритовых (2–5 %) и тонкодетритовых (около 10%) отложениях. Относительно низкое содержание кремнезема в карбонатном типе осадков – 5–7 %. Мобилизация кристаллического кремния связана с поверхностным стоком и абразионной деятельностью. В профундальной зоне отмечается повышенное количество аморфного кремния за счет скопления створок диатомовых (диатомит).

С силикатной частью осадков связано также накопление соединений алюминия, поступающих с поверхностным и грунтовым привносом. Наиболее значительно содержание алюминия в тонкодисперсной части глинистых илов и кремнеземистого сапропеля – оно достигает 15–18 %. В литоральной же зоне количество $A1_2O_3$ не выше 3,5– 5 %. Соотношение кремнезема и

алюминия в алюмосиликатной составляющей озерных отложений служит показателем пород, слагающих водосбор. Например, в озерах Браславской группы средняя величина $A1_2O_3$ 9,1 %, а в Нарочанских – всего 5,6 % в связи с более песчаным составом водосбора озер Нарочанской группы.

К числу важнейших составляющих зольной части озерных отложений относятся карбонаты, главным образом кальция. Их содержание в разных типах осадков заметно различается и вместе с тем отражает специфические черты водосборов и внутренние лимнические особенности водоемов.

В органо-минеральных отложениях кремнеземистого состава, преобладающих в озерах Беларуси, обычно карбонатов менее 10 %, т. е. содержание их ниже не только содержания кремния, но нередко алюминия. Поэтому заметное (более 20 %) увеличение карбонатов в осадках служит важным типологическим показателем при региональной классификации озер, а также индикатором литологии водосборов.

Н. М. Страхов считает, что процесс образования озерной извести контролируется четырьмя факторами: концентрацией и составом солей, растворенных в озере; давлением в воздухе и его содержанием в воде; температурным режимом водоема и развитием в нем органической жизни.

Приток карбонатного вещества в озеро – функция его запасов в породах водосбора и деятельности поверхностных и подземных вод. Можно предположить, что источником поступления карбоната кальция являются коренные породы, залегающие недалеко от поверхности. Однако известно, что минерализация грунтовых вод верхнего слоя девонских пород не превышает 0,5 г/л. Отсутствие выдержанных водоупоров между антропогенной толщей и коренными отложениями в сочетании с влажным климатом стимулирует нисходящее движение вод, что приводит к постепенному расслоению верхних водоносных горизонтов девонских пород. Основными источниками грунтового питания озер в северной и центральной части республики служат водоносные горизонты четвертичной толщи, от состава которых зависит минеральное питание водоемов.

Указанная закономерность нарушается в Полесье, где большое значение имеет восходящее движение подземных вод, обусловленное длительным изостатическим погружением. Это причина поступления в озера растворимого СаСОз из сильноокарстованных известняков, подстилающих антропогенные песчаные отложения Полесья.

На западе Беларуси содержание карбонатов в антропогенных породах более высокое, чем в восточной части. Это свидетельствует о преемственности процесса карбонатонакопления в озерах западной части республики и Средней Европы, расположенных в области Поозерского (Вюрмского) оледенения (Ютландия, Германо-Польская низменность), источником накоплений моренного материала в основном была Южная Скандинавия с

высокой степенью карбонатности горных пород. Поэтому в этих районах в течение всего голоцена и в современную эпоху формировался карбонатный фон осадконакопления.

Изучение донных отложений озер Беларуси позволяет продолжить границы распространения карбонатных морен Средней Европы в пределы Литвы и западной части Белорусского Поозерья. Она в значительной степени приурочена к области распространения крупных меловых отторженцев, а также к наиболее значительным месторождениям пресноводных известняков, залегающих под торфом. Восточнее этой границы преобладает силикатный тип антропогенных отложений и озера-карбонатонакопители практически отсутствуют. Нет их и далее на восток, в пределах Калининской, Смоленской областей и южной части Псковской.

Однако приток жестких вод (внешняя причина) еще не может обеспечить осаждения кальция в озерных осадках. Для этого необходим комплекс благоприятных физико-химических и биологических условий в конкретном водоеме. В качестве показателя карбонатной системы обычно применяются величины CO_2 агрессивной и степень насыщенности воды карбонатом кальция. В том случае, когда CO_2 свободная больше CO_2 равновесной, CaCOз в воде находится в растворенном состоянии и не выпадает в осадок: $CaCO_3 + CO_2 – H_2O \Rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$. Если же CO_2 найденная меньше CO_2 равновесной, CaCOз перенасыщает воду и выпадает в осадок:

$$Ca^{2+} + 2H\ CO_3^- + CaCO_3 + CO_2 + H_2O.$$

Равенство свободной и равновесной CO_2 соответствует карбонатному равновесию (А. Л. Жуховицкая).

Характер карбонатной системы отражает определенный тип озера. В одном и том же озере эта система может смещаться в ту или другую сторону в зависимости от сезонных изменений. Колебания в содержании углекислого газа отражают интенсивность развития жизни в озере, процессов накопления и разложения органического вещества. Большое значение при этом приобретают морфология котловины и гидродинамические особенности водной массы.

Под влиянием перечисленных факторов в озере формируются зоны карбонатообразования, растворения и осаждения кальцита.

В глубоких озерах при достаточном поступлении карбонатного вещества возможно осаждение $CaCO_3$, особенно в сублиторальной зоне, где отсутствует прибой, а количество CO_2 в воде минимально в течение безледного периода. Сумма перечисленных условий создается в мезотрофных озерах западной части республики: Нарочь, Глубля, Ричи, Струсто, Долгое, Белое (Гродненское) и др.

В неглубоких эвтрофных водоемах летом в условиях интенсивного фотосинтеза и высокой температуры карбонатообразование развивается

почти во всей толще воды, однако зимой, когда количество CO_2 резко увеличивается, во всем объеме водной массы возникают условия миграции кальция из донных отложений в воду. Поэтому карбонатонакопление в озерах эвтрофного типа наблюдается редко и при очень высоком поступлении кальция с водосбора (Мястро, Глубелька).

Образование известковистых отложений связано с жизнедеятельностью животных и растительных организмов. Это моллюски с карбонатными раковинами и некоторые виды макрофитов (харовые, телорез, элодея). Они создают густые ассоциации в сублиторальной зоне озер-карбонатонакопителей. Особенно ярко выражена способность усваивать растворимый в воде $CaCO_3$ у харовых водорослей, которые отличаются жесткой кальциевой инкрустацией и после отмирания обогащают донные осадки карбонатным веществом.

Наиболее известный карбонатонакопитель среди озер Беларуси – это оз. Нарочь. В малом плесе озера известковистые сапропели в виде грязно-белой кашицеобразной массы мощностью до 6 м составляют основу осадконакопления на глубинах 2–8 м. В большом плесе широко распространен смешанный сапропель и кремнеземистые отложения с повышенным (15–20 %) содержанием СаСОз (табл. 9.1).

Таблица 9.1

Содержание карбонатов в поверхностном слое донных отложений, % на абсолютно сухое вещество

Озеро	Место расположения	Глубина отбора воды (м)	CaO	$CaCO_3$
Фуресье	Дания	0,1	28,00	50,0
Тиструпсье	>>	6,0	13,44	24,0
>>	>>	7,0	17,90	32,0
Мадю	Польша	7,0	20,20	36,0
>>	>>	20,0	42,27	75,48
Миколайское	>>	8,5	35,48	63,35
Кортово	>>	8,9	17,40	31,0
>>	>>	25,0	14,30	25,5
Нарочь	Беларусь	2,5	40,9	73,01
>>	>>	6,0	25,00	44,6
Глубля	>>	6,8	43,25	77,20

В числе озер Беларуси имеются водоемы, в современных осадках которых повышено содержание железа. Присутствие в воде и отложениях железа, способного активно соединяться с кислородом и образовывать закисные и окислые формы – важный типологический показатель при классификации озер и донных отложений. В бассейны седиментации железо поступает в

виде терригенной взвеси вместе с кремнекислотой, которая служит защитным коллоидом к трехвалентному железу. Источником железа являются морена, озорно-ледниковые отложения, дерново-подзолистые почвы. С грунтовыми водами оно поступает чаще всего в закисной форме. Попав в озеро в условиях окислительной среды, железо превращается в трехвалентное и выпадает в осадок. Поэтому накопление окисных форм железа характерно для мезотрофных озер с высоким окислительно-восстановительным потенциалом и силикатным фоном осадконакопления. Повышенная гумификация эвтрофных озер уменьшает возможность осаждения железа.

В некоторых глубоких озерах Северной Беларуси (Нарочь, Долгое, Ричи) окисные формы железа обнаружены в виде железистых корочек, конкреций ржавого цвета. В оз. Ричи в литоральной зоне накапливаются железо-марганцевые (Fe_2O_3 25 %, MnO 4%) конкреции вокруг мелких валунчиков. Все эти формы в миниатюре напоминают отложения озерного железа в Ладожском, Онежском и других озерах-железонакопителях в области Балтийского кристаллического щита.

Кроме указанных образований окисного железа, для озер Беларуси характерно накопление ожелезненных осадков во впадинах профундали стратифицированных озер с заметным дефицитом кислорода в гиполимнионе. В периоды циркуляции поступившее в озеро железо окисляется и вместе с тонкодисперсными частицами заносится в профундальную зону, стабилизируясь в осадке. По мере осаждения положительно заряженные гидрозоли железа соединяются с отрицательными частицами кремнезема и гумуса, захватывая также ионы фосфора и марганца. В периоды стагнации при кислородном дефиците создаются условия, способствующие миграции железа из верхнего слоя осадков в воду. При этом содержание его в воде резко возрастает по сравнению с периодом циркуляции.

К числу озер с ожелезненными осадками условно относятся водоемы, в донных отложениях которых Fe_2O_3 содержится >7 % (валовой анализ). Максимальное количество его превышает 15 %, а среднее составляет 8,9 %. Однако в стратиграфических разрезах обнаружены слои, в которых содержание Fe_2O_3 достигает 30 % (оз. Ячменек). Железистые осадки в озерах Белоруссии имеют кремнеземистый**,** глинистый фон накопления. При высоком содержании железа обычное для высокозольных осадков соотношение SiO_2>$A1_2O_3$> Fe_2O_3 изменяется в направлении SiO_2>Fe_2O_3>$A1_2O_3$. В глубоких впадинах дна железистые осадки имеют характер кашицеобразного черного с синим отливом ила, иногда с ярко-синими вкраплениями вивианита. На воздухе ил быстро приобретает ржавый оттенок.

Все перечисленные элементы – Si, Al, Ca, Fe, входящие в состав озерных отложений, составляют основу их зольной части. Остальные элементы (Mg, S, Na, K и микроэлементы) встречаются в меньшем количестве, увеличиваясь главным образом в глинистых илах и кремнеземистом сапропеле.

Содержание магния обычно колеблется от 2,5–3 % к сапропеле кремнеземистого типа до 4,5 % в карбонатном. Максимальное количество SO_3 (27 %) отмечено в илах, богатых сульфидными соединениями железа. Как правило, его содержание не превышает 1,5 %. Наибольшее суммарное количество щелочных металлов (5–6 %) обнаружено в составе высокозольных кремнеземистых сапропелей и глинистых илов. Во всех типах отложений сумма окисей щелочных металлов $Na_2O + K_2O$ меньше суммы CaO + MgO (щелочноземельных).

В озерных отложениях обнаружены практически все микроэлементы, однако количество их очень небольшое (табл. 9.2). Наибольшие показатели всех микроэлементов приурочены к высокозольному кремнеземистому сапропелю, глинистым илам и глинам. Следовательно, седиментация их отражает состав пород водосбора, характер озерной котловины и условия питания. Некоторые микроэлементы, например титан и марганец, присутствуют в отложениях озер в таком количестве, что могут быть поставлены в один ряд с основными. Максимальное количество марганца обнаружено в озерах Женно, Кривое, Ричи вместе с железистыми отложениями в наиболее глубоких участках профундали. Оно достигает 1,0–2,5 % MnO.

Таблица 9.2

Содержание микроэлементов в сапропеле и илах, мг/кг воздушно-сухого образца

Озеро	Глубина отбора, м	Mn	Co	Cu	Mo	J	Характер отложений
Воробьи	3,20–3,40	650	1,50	5,5	1,18	1,95	Сапропель карбонатный
	6,40–6,50	1500	1,50	5,7	1,66	1,79	>>
	7,15–7,20	1475	14,0	8,5	0,67	9,97	Глина карбонатная
	8,25–8,40	875	2,50	12,0	0,67	0,40	Глина
Клевел	2,65–2,95	333	2,66	11,0	1,77	4,56	Сапропель тонкодетритовый
	4,70–4,75	933	5,28	15,0	1,77	2,79	Сапропель смешанный
	6,25–6,50	1733	5,33	14,7	6,21	3,25	Сапропель кремнеземистый
Нобисто	1,50–2,0	500	6,65	10,3	2,60	8,74	Сапропель грубодетритовый
	7,30–7,55	750	4,50	8,5	2,00	6,22	Сапропель тонкодетритовый
	8,75–8,85	525	3,50	5,5	2,00	1,48	Ил опесчаненный

Среди других микроэлементов особый интерес представляет содержание в сапропеле иода, в связи с тем что Беларусь относится к биохимической провинции с йодистой недостаточностью. Накопление иода обязано биологическому фактору. Наибольшее содержание иода обнаружено в органических осадках и достигает 7–8 мг/кг.

Являясь частью природного ландшафта, озера отражают черты определенной зоны и в направлении процессов седиментации. Именно поэтому в классификации Л. Л. Россолимо (1964) озера Беларуси относятся к водоемам органонакопителям, что характерно для лесной зоны в целом. В отличие от них в озерах степной и пустынной зон седиментация выражается в накоплении солей в осадке; слабоминерализованные озера севера Восточно-Европейской равнины относятся к числу образователей глинистых осадков и железо-марганцевых руд.

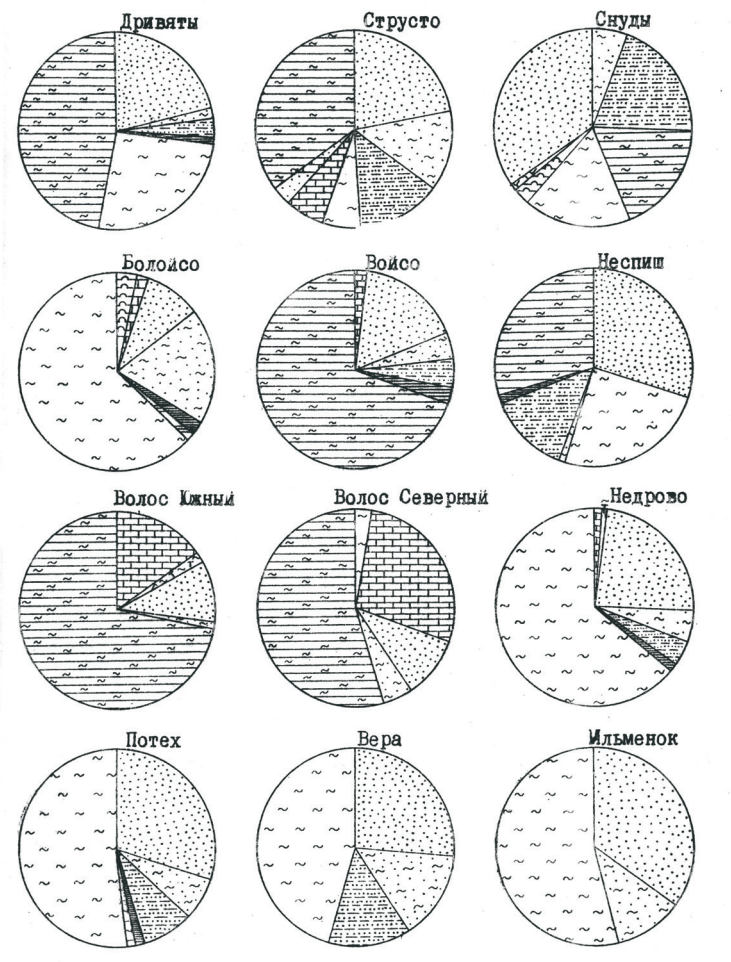


Рис. 9.8. Диаграммы распределения поверхностных донных отложений разного типа в озерах Браславской озерно-речной системы

Наряду с зональными чертами седиментации органического вещества в озерах Беларуси наблюдаются азональные черты, которые проявляются в накоплении солей кальция (CaCOз) и железо-марганцевых руд. Первые характеризуют особенности более южной природной зоны, вторые – более северной зоны. Линия, определяющая границу накопления карбонатных солей, идет через территорию Беларуси в меридиональном направлении (запад – восток); образование же железистых и железо-марганцевых руд ограничено линией, проходящей в широтном направлении (север–юг).

Как показали исследования озер Браславской озерно-речной системы, в профундали озер накапливаются органо-минеральные отложения (сапропель кремнеземистый, ил глинистый). В эвтрофных неглубоких озерах (Недрово, Потех, Ильменок) преобладает сапропель кремнеземистый. В озерах Дривяты, снуды, Струсто, Волос) он занимает наиболее глубокие участки котловин, что связано с крутизной их склонов и накоплением подвижного пелогена на дно локальных понижений ложа. Высокозольный глинистый ил выстилает наибольшие площади в озерах Волос Северный и Волос Южный, Струсто. В размещении отложений обнаруживается определенная система, которая выражается в вертикальной дифференциации осадков и процессов на водосборе и в прибрежной зоне. Площадь и глубина распространения типов могут существенно различаться по отдельным озерам (рис. 9.8).

9.3. Стратиграфия и мощность озерных отложений

В главе II «История формирования и развития озер Беларуси» вопрос стратиграфии озерных отложений рассмотрен достаточно подробно. Для озер всей Беларуси стратиграфический разрез имеет идентичный рисунок и выражает закономерность развития природных процессов на ее территории в зональном и провинциальном аспектах в течение позднеледниковья и голоцена.

Изучение более 300 стратиграфических колонок позволило обнаружить различные варианты их несмотря на общие черты седиментации (рис. 9.9).

Преобладающая часть стратиграфических разрезов (более 50 %) отнесена к классическому типу, который отражает все этапы эволюции природной среды за указанный отрезок времени. Классический тип разрезов характеризуется последовательной сменой отложений от силикатных (кластоенных) к карбонатным и выше – к кремнеземистым и органическим сапропелям. Примерами могут служить скважины на озерах Дривяты, Потех, Мястро, Жеринское, Межужол, Баторин и др.

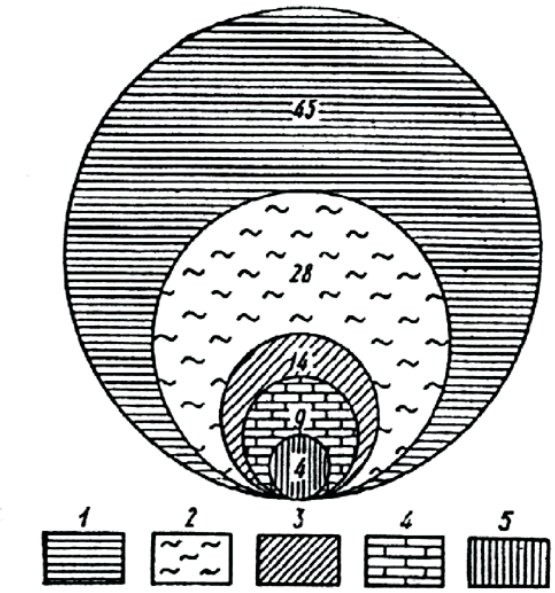


Рис. 9.9. Соотношение типов стратиграфических разрезов озерных отложений: 1 – классический; 2 – силикатный; 3 – органический; 4 – карбонатный; 5 – нарушенный

Около 26 % изученных разрезов относятся к силикатному типу. Во всей толще таких разрезов преобладают кремнеземистые отложения, чаще всего последовательная смена песчано-глинистых пород высокозольными илами или кремнеземистым сапропелем. Типичные силикатные разрезы изучены в озерах Свито, Крушиновское, Должа, Вымно, Долгое, Навлицкое и др.

Разрезы классического и силикатного типов широко распространены по всей территории Беларуси, однако силикатный тип чаще встречается в восточной части.

Разрезы, отнесенные к типу органических, составляют около 13 % общего числа. Вся толща озерных отложений представлена в них высокоорганическим тонко- и грубодетритовым сапропелем; в большинстве случаев они приурочены к мелководным и дистрофирующим водоемам. К этому типу относятся стратиграфические колонки озер Мошно, Червоное, Судобле, Окулево и др.

Карбонатный тип разрезов характерен для северо-запада и запада республики и составляет около 7 % общего числа. В них сверху донизу преобладают отложения с высоким содержанием $CaCO_3$. К этому типу принадлежат озера Глубелька, Глубля, Нарочь, Белое.

Наконец, к числу разрезов, верхняя часть которых носит черты нарушений под влиянием хозяйственной деятельности человека, относится около 4 %. В верхней части их отмечено увеличение силикатной составляющей за счет интенсивного сноса минеральных частиц с прилегающих распа-

ханных участков водосбора. Это разрезы в озерах Кривое, Лукомское, Камайское, Круглик и др. (рис. 9.9).

Для характеристики озерного осадочного комплекса немаловажное значение имеют скорость накопления осадков и их мощность. Последняя варьирует в очень широких пределах. Максимальные величины достигают 10 и даже 25 м (оз. Судобля), но обычно не превышают 5–6 м.

Запасы сапропеля в озерах Беларуси точно не подсчитаны, поэтому в разных источниках цифры различаются. В работе М. З. Лопотко (1978) приводятся запасы в 373 млрд м^3; около 80 % из них сконцентрировано в озерах Витебской, Гомельской областей, северной части Минской области. В новых работах эта цифра уменьшена до 2,63 млн м^3 (Б. В. Курзо, 2002). Наименее обеспечены сапропелем Могилевская и Гродненская области. Всего исследованных на сапропель озер 661.

Крупные эвтрофные озера Беларуси обладают значительными запасами органо-минерального сапропелевого сырья. Запасы озера Освейского, например, составляют 1175 млн м^3, Лукомского – 88,7, Червоного – 7,0. Обычно самая большая мощность осадков приурочена к впадинам ложа озера, так что профиль дна и отложений повторяют друг друга. Следовательно, озерные осадки нивелируют первоначальный профиль ложа. Такое выполаживание ложа следует считать одним из признаков старения котловины и самого водоема.

Скорость накопления озерных отложений различалась в разные периоды голоцена. Стратиграфические разрезы отложений свидетельствуют о значительной мощности осадков в атлантическое и субатлантическое время. Это связано с повышенной влажностью климата, интенсивным развитием жизни в эвтрофных водоемах, а в современный период – с распашкой водосборов и поступлением биогенных и минеральных элементов с сельскохозяйственных угодий.

Попытки определить скорость современной седиментации экспериментальным путем предпринимались Л. Л. Россолимо и литовскими исследователями. Примерная величина накопления – менее 2 мм в год.

Для определения скорости озерной седиментации нами изучено оз. Глубля. Здесь на глубине 5 м в скважине вскрыта 2,5-метровая толща карбонатных глин и сапропеля, подстилаемых грубозернистым песком. В результате постепенного заполнения котловины седиментация карбонатных сапропелей сменилась песчаными отложениями, свойственными литоральным глубинам. В ходе естественной эволюции водоема пески явились заключительной фазой озерного комплекса. Однако выше песчаных отложений в скважине обнаружены типичные светлые кашицеобразные карбонатные сапропели мощностью 45 см с содержанием CaO 40,3 %. Их появление – следствие искусственного повышения на 1,5 м уровня озера Глубля в 1929 г. После воздушного высушивания карбонатного слоя его объем уменьшился в 10 раз

(сухой остаток 10 %). Таким образом, в пересчете на воздушно-сухое вещество за 40 лет накопилось 5 см осадка, или 1,1 мм в год.

Аналогичные исследования были проведены на озерах с искусственным понижением уровня на 2 м. В современной литорали озер Снуды и Струсто разрез отложений представлен разнозернистыми песками, покрытыми 4-метровым слоем известковистых сапропелей, которые до искусственного понижения уровня в 1926 г. были основным типом сублиторальных осадков этих озер. В результате понижения уровня сублитораль обмелела и стала местом накопления чистых песков литорального типа, мощность которых не превышает 5 см. По-видимому, этот верхний слой образовался за последние 40–45 лет. При воздушно-сухом высушивании объем песка уменьшился лишь на 3,7 % (сухой остаток 96,3 %). Таким образом, скорость накопления в этих озерах составила 1,2 мм в год. Сопоставив полученные результаты с имеющимися в литературе, можно утверждать, что скорость озерной седиментации в районах интенсивной хозяйственной деятельности составляет до 1,5 мм в год.

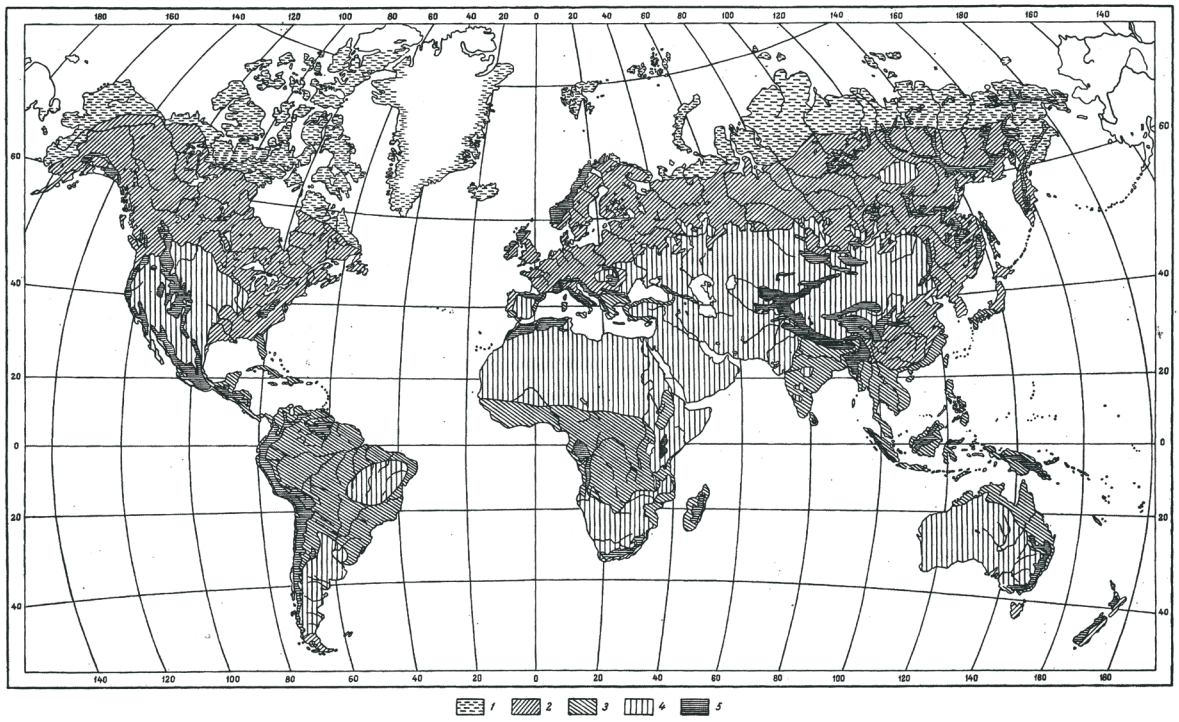


Рис. 9.10. Схема распределения донных отложений по земному шару (Алабышев, 1932): *1* – зона тундры с маломощными сапропелевыми пресноводными озерами (до 0,5 м); *2* – зона таежноподзолистых мощных сапропелевых пресноводных отложений (до 30 м); *3* – зона субтропических и тропических пресноводных озерных сапропелей; *4* – зона солоноводных сапропелитов и минеральных лечебных грязей, самосадочных озер и солончаков; зональные месторождения поваренной и глауберовой соли, соды, магниевых солей, селитры и гипса; *5* – вертикальная горная зона пресноводных сапропелей (до 10 м)

9.4. Использование донных отложений озер

Общие запасы сапропелей в бывшем СССР оценивались в 250 млрд $м^3$ сырой массы, а во всем мире около 500–600 млрд $м^3$. Каждый год объем сапропелей в озерах увеличивался на 1–2 млрд $м^3$. Наибольшие запасы сапропелей сосредоточены в зоне тайги (рис. 9.10).

В районах, богатых озерами, в частности в Беларуси, все большее значение приобретает вопрос добычи и использования сапропеля в народном хозяйстве. При этом идет речь о мощных залежах, заполняющих котловины высокоэвтрофных и дистрофирующих озер, которые сосредоточены в основном в Белорусском Поозерье (рис. 9.11).

Все месторождения сапропеля образовались в голоцене. Залежи сапропеля межледниковых озер встречаются редко. Более древние сапропели превратились в горючие сланцы.

Мощность сапропеля не превышает 10 м, но в отдельных случаях бывает и более 40 м (оз. Сомино Ярославской области).

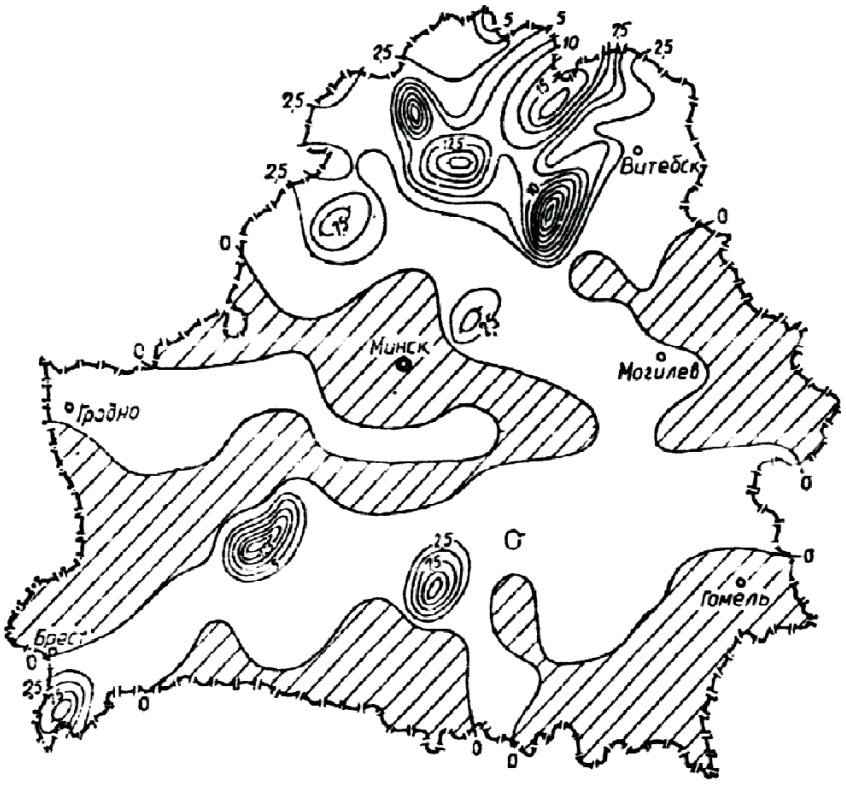


Рис. 9.11. Прогнозная схема обеспеченности территории Беларуси малозольными (30 %) сапропелями: изолинии обеспеченности проведены через 2,5 тыс. $м^3/км^2$; штриховкой обозначена территория, где отсутствуют малозольные сапропели (по Б. В. Курзо, 1989)

Сапропель обладает коллоидной структурой и в естественном состоянии имеет очень высокую влажность (60–97 %). Наибольший эффект дает применение сапропеля в смеси с другими минеральными и органическими удобрениями. Для решения конкретных вопросов необходимо сотрудничество между озероведами и агрономами.

Методика отбора донных отложений в принципе не отличается большой оригинальностью. При небольших глубинах озер для отбора проб отложений с разной глубины применяются различные конструкции буров. Одним из самых удачных конструкций является бур Райта. При глубине воды 30 м конструкторам бура удавалось получать керн длиной более 10 м. Бур Института торфа состоит из желонки длиной 1 м, пластины длиной 1 м способной вращаться внутри желонки и соединительных штанг. Отбор керна в желонку производится поворотом пластины вокруг оси на нужной глубине в толще отложений.

В первую очередь сапропель – великолепное удобрение под различные сельскохозяйственные культуры. Он служит в качестве добавки в корм животным и птице. Все чаще сапропель находит применение в медицине, главным образом в бальнеологии. Использование сапропеля в промышленности связано с производством некоторых строительных материалов, а также с литейным делом.

В настоящее время органический сапропель добывается в озерах Судобле (Минская область), Дикое (Гродненская область), Святое (Гомельская область), Червоное (Гомельская область), Мотоль (Брестская область),

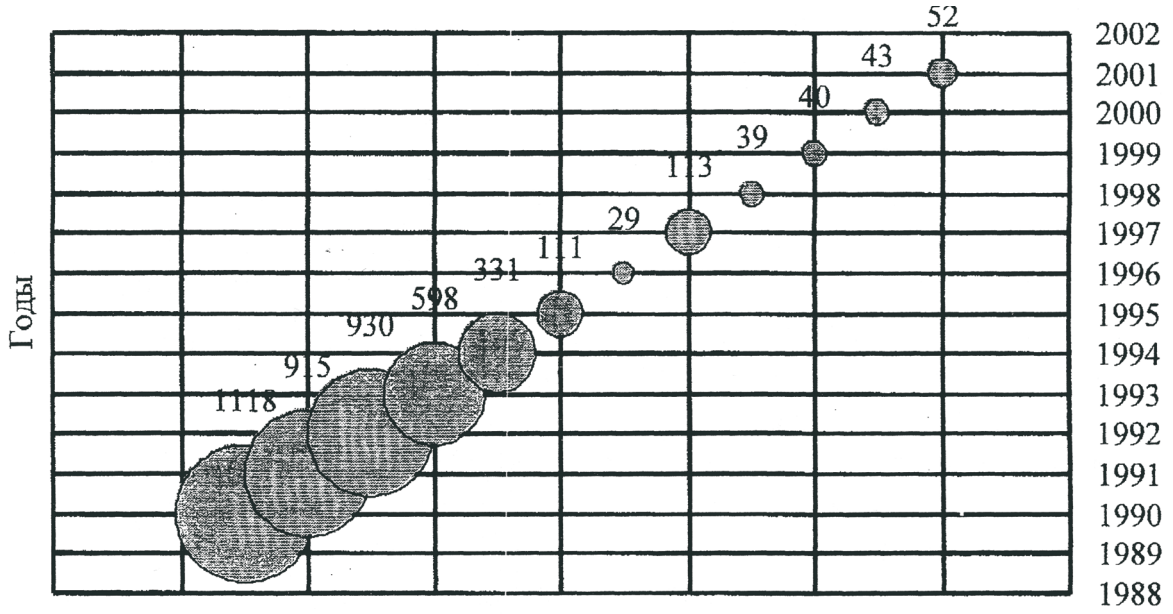


Рис. 9.12. Динамика добычи сапропеля в Беларуси, тыс. т/год

Мяно (Витебская область). Однако в связи с экономическими трудностями и трудоемкостью и сложностью добычи сапропелей динамика добычи имеет тенденцию к ее снижению (рис. 9.12). Наибольшие объемы добычи приходятся на конец 1990-х гг., когда многие озера были взяты в аренду и на них была организована добыча сапропелей предпринимателями.

Несмотря на определенные технические трудности добычи сапропелевого сырья, возможность использования их в народном хозяйстве весьма перспективна (рис. 9.13).

При добыче сапропелей важным является экологический фактор. Нарушение экосистемы приводит к изменению трофности озера. В малых озерах сосредоточено около 0,7 млрд $м^3$ сапропелей, или 25 % от общих геологических запасов. Поэтому для восстановления озер необходимо извлечение из экосистем донных отложений. В настоящее время в Беларуси применяют гидромеханизированный, грейферный и шнековый способы добычи. Анализ этих способов добычи дает основание на создание новых схем селективной добычи сапропелей естественной влажности с требуемыми свойствами.

Практика добычи сапропеля на оз. Судобль методом изолированных объемов показало, что взмучивание пелогена приводит к обогащению придонного слоя воды азотом в 1,5–2,0 раза, железом – в 3 раза, в меньшей степени – фосфором и калием. На основании модельных лабораторных и производственных исследований разработаны факторы экологобезопасной добычи сапропелей (табл. 9.3), в основу которых положены морфометрические характеристики озер и состояние сапропелей в залежи (О. Гайдукевич, 2002). В качестве основных экологических критериев, оказывающих ощутимое влияние на экосистему озера, является заиленность водоема, мутность и площадь ее распространения, реорганизация рельефа водосбора при устройстве полей сушки. Технико-экономический анализ применяемых в республике способов добычи сапропелей показывает, что гидромеханизированный способ эффективен в основном на больших озерах с сезонной производительностью более 6 тыс. т, грейферная технология – на сравнительно малых водоемах средней площадью около 30 га.

Таким образом, современным экологическим и технико-экономическим требованиям при эскавации донных отложений в малых водоемах в наибольшей степени соответствуют многоковшовые рабочие органы. Метод дает возможность вести селективные добычные работы с нужного горизонта вышележащих донных отложений повышенной влажности и удаления слоя пелогена.

Возможные области применения сапропеля (по Лапотко, 1978):

- Производство строительных материалов
- Литейное дело
- Кормопроизводство

- Сорбент при утилизации стоков животноводческих ферм
- Орошение сельскохозяйственных угодий водосапропелевой пульпой и отстойными водами
- Удобрения
- Бальнеология
- Пористая керамика
- Формовочные смеси
- Добавки в корм животным и птицам
- Кольматация почв
- Фармакология
- Тепло- и звукоизоляционные материалы
- Гранулированные комбикорма
- Нейтрализующее средство
- Пиелофоно-терапия
- Спецзаполнители бетона
- Выращивание дрожжей
- Органо-минеральные гранулированные смеси

Конец 1960-х годов прошлого века явился началом интенсификации сельского хозяйства, роста городов и промышленности, широкого развития мелиоративных работ. Как не парадоксально, но НТР оказала отрицательное влияние на состояние лимносистем. Озера становятся не только источниками водоснабжения, но и активно включаются в мелиоративные системы, в качестве приемников, неочищенных промышленных бытовых стоков. Кроме токсических примесей, они содержат биогенные элементы, главным образом фосфор и азот, в результате чего скачкообразно увеличиваются продукционные процессы, уровень трофии, что в конце концов приводит к ухудшению качества воды и гипертрофированию.

Наличие большого количества материала позволило определить ряд приоритетных показателей для оценки качества воды и степени антропогенного эвтрофирования (табл. 9.4). В итоге озера Беларуси разделены на 3 основные группы с количественными показателями основных репрезентативных элементов (табл. 9.5):

I группа (около 10 %) включает мезотрофные с признаким олиготрофии озера с водой высокого качества, пригодная для питьевого водоснабжения.

II группа (до 70 %) с разной степенью трофического уровня, в основном неглубокие и мелководные, пригодные для всех видов хозяйственного использования.

III группа (около 10 %) озер отличается водой низкого качества, утративших природно-ресурсный потенциал в порядке экстенсивного антропогенного загрязнения. Они могут относиться к мезотрофным и эвтрофным озерам.

В таблице для каждой группы приводится пример.

Таблица 9.3

Основные факторы экологобезопасной добычи озерных сапропелей

Операция	Факторы		Влияние на экосистему озера	
	Технологический	Экологический	Положительное	Отрицательное
Экскавация	Объем извлечения	Заиленность водоема	Снижение заиленности, увеличение объема воды	Замедление водообмена
	Площадь разработки	Уничтожение водной растительности	Увеличение площади зеркала	Нарушение равновесия в системе планктон–макрофиты и усиление трофности
	Способ и глубина разработки, селективность извлечения	Глубина воды, равномерность и полнота извлечения. Высвобождение биогенных элементов	Увеличение глубины воды, отсутствие застойных зон, сдерживание эвтрофирования	Образование застойных зон, усиление эвтрофирования, ухудшение кислородного режима
	Производительность установки	Мутность воды и состав гидробионтов	Ускорение гидрохимических и гидробиологических процессов	Увеличение поля мутности
Транспорт	Потребление нефтепродуктов	Образование нефтяных пленок и сорбция их донными отложениями		Ухудшение кислородного режима. Загрязнение донных отложений
	Способ и структура коммуникаций	Мутность воды, площадь распространения и ее миграция	Минимальные изменения скорости фото- и хемосинтеза	Нарушение фото- и хемосинтеза, миграция и распространение поля взвеси
Сушка	Площадь и расположение полей сушки	Изменение рельефа водосбора и характера сельхозугодий	Снижение поступления веществ с водосбора в озеро	Изъятие плодородных земель
	Объем и состав возвратной воды	Увеличение поступления биогенных элементов	Возврат в озеро осветленной воды	Рост продуктивности фитопланктона за счет увеличения внешней нагрузки

Таблица 9.4.

Озеро генетический тип	Группа	Прозрачность, м	Цветность, град.	Перманентная окисляемость	ППК, мгO_2/л	Содержание кислорода, %	PO_4^{-}, мг/л	Биомасса фитопланктона, г/м^3	Соотношение биомассы фито- и зоо
Болдук, мезотр. С приз.	I	5–4	<15	<10	1,4	До 100	0,005	1,60	0,5:1
Олиготроф. С призн. Олигот. Рудаково	I	5,5	<10	12	2,8	До 100	0,006	До 1,5	0,5:1
Мнюта Эвтрофное	I	>7	10	<10	1,6	100–110	0,003	До 3,0	2:1
Нарочь мезотрофн	II	1,9	15	10	3,2	110–115	0,002	5,70	2:1
Загатье Эвтрофное мелководное	II	1,7	–	90	2,5	100–110	0,003	6,80	2:1
Лесковичи с призн. Олиготр. Загрязнен.	III	0,5	40	15	>5	>110	>0,05	>30	30:1
Круглик тоже	III	0,6	35	18	>5	110–115	0,05	До 40	22:1
Забельское мелководн. загрязненное	III	0,3	80	22	>6	120	До 1,0	35	22:1

Таблица 9.5

Перспективным направлением является использование сапропеля в бальнеологии (рис.) (по Иванову, Малахову, 1963)

Основные группы грязей	Условия образования	Основные типы	Место образования	Характерные подтипы
А. Торфяные	В болотных условиях в результате разложения высшей растительности	I. Пресноводные торфяные грязи II. Минерализованные торфяные грязи	В пресноводных болотах В болотах с минерализованными водами	1. Низкозольные 2. Высокозольные 1. Сероводородные 2. Кислые железистые (купоросные)
Б. Иловые	Отложение в водоемах органических, органо-мине-ральных и минеральных илов, изменение их под влиянием биологических, физических и химических процессов	III. Сапропели IV. Сульфидные (минеральные) грязи V. Глинистые илы и глины	В пресноводных водоемах, богатых органическим материалом В водоемах с минерализованными водами, с различным количеством органического материала В водоемах, бедных органическими материалами	1. Низкозольные 2. Высокозольные 1. Озерно-ключевые 2. Материковые 3. Приморские 4. Морские 1. Пресноводные 2. Соленоводные
В. Псевдовулканические	Разложение горных пород под действием высоких давлений, газов, минерализованных вод	VI. Сопочные грязи VII. Гидротермальные грязи	В кратерах грязевых вулканов В районах современного вулканизма, на участках выхода газо-паровых струй	

ГЛАВА 10

ВОПРОСЫ КЛАССИФИКАЦИИ ОЗЕР

10.1. Общие закономерности

Конечной целью изучения любого компонента природы обычно является разработка системы типологических единиц с последующим районированием. Районирование должно раскрывать сущность, взаимосвязь и взаимообусловленность составляющих элементов, определяющих направленность физико-географических процессов, хозяйственный потенциал и др.

Существуют многочисленные общие лимнологические и специальные классификации озер. Чаще всего они строятся на комплексной физико-географической основе, причем озера рассматриваются как один из компонентов природного ландшафта.

В лимнологической и гидробиологической литературе наибольшее распространение получили классификации А. Тинемана (1926) и Э. Наумана (1928), существенно доработанные современными исследователями. В основе выделения типов озер лежит трофностъ – результат проявления зональных и азональных особенностей, присущих каждому озеру. По показателю трофности Тинеман и Науман разделяют все озера на олиготрофные, эвтрофные, дистрофные. К дистрофным относятся неглубокие, бедные биогенными элементами водоемы с кислой средой и значительным содержанием гуминовых соединений. Эти особенности затрудняют развитие фитопланктона, а следовательно, резко снижают продуктивность. Такие водоемы наиболее характерны для тундры и северной тайги. Эвтрофные, чаще всего неглубокие озера с богатым минеральным питанием отличаются оптимальными условиями развития планктонных организмов н относятся к высококормным и рыбопродуктивным. Они распространены в основном в лесной и лесостепной зонах умеренного пояса. Олиготрофные озера с холодной прозрачной водой и низкой продуктивностью типичны для высокогорных областей. К ним же относятся глубокие озера лесной зоны.

Для Беларуси в той или иной мере характерно развитие всех перечисленных типов, связанное с влиянием определенных азональных факторов.

Из классификаций, построенных главным образом на азональных признаках, практическое значение имеет гидрологическая классификация Б. Б. Богословского (1960). В ее основу положены особенности водного

баланса, рассматриваемого в качестве ведущего фактора. Важнейшим показателем районирования озер является соотношение площади озера и его водосбора. По расходной части водного баланса автор выделяет два типа водоемов: стоковые (С) и испаряющие (И).

Попытку учета главным образом зональных факторов отражает классификация И. В. Баранова (1961). По его мнению, основой классификации должны быть физико-химические факторы и гидрохимическая зональность. Вместе с тем он отмечает, что круговорот веществ, свойственный каждому типу озер, в значительной мере определяется морфометрией. И. В. Баранов выделяет зону низкоминерализованных вод подзолисто-болотных почв, зону среднеминерализованных вод дерново-подзолистых почв, зону среднеповышенно- и высокоминерализованных вод черноземных и каштановых почв, зону высокоминерализованных вод черноземно-карбонатных и каштановых почв. Согласно этой классификации озера Беларуси относятся к зоне среднеминерализованных вод дерново-подзолистых почв.

В 1964 г. классификация на зональной основе предложена Л. Л. Россолимо. Основанием для выделения типологических единиц должен служить характер накопления озерных отложений как заключительное звено в сложном балансе вещества и энергии водоемов. Автор выделяет три основных типа озер: аккумуляторы наносов, концентраторы растворенных минеральных веществ и накопители органического вещества. По этой классификации озера Беларуси принадлежат в основном к третьему типу.

Принцип единства зональности и азольности заложен в схеме лимнологического районирования В. В. Богданова (1970). Основными критериями зональных показателей он считает величину радиационного баланса и уровень первичного продуцирования. В. В. Богданов выделяет две лимнологические зоны формирования «минералогенных» и «органогенных» водоемов. В пределах последней он оконтуривает полярный, северотаежный и южнотаежный лимнологические пояса. Низшей и в то же время основной таксономической единицей служит лимнологический район, выделяемый на основании преобладания продуцирования или деструкции в том или ином ландшафте. К числу основных азональных показателей автор относит интенсивность поступления в озеро и состав аллохтонных веществ, а также морфометрические показатели.

Термины «олиготрофный», «дистрофный», «эвтрофный» встречаются в литературе часто. Их употребляют такие лимнологи, как Л. Л. Россолимо, Г. Г. Винберг, Х. Ярнефелт, Н. И. Семенович и др. Так, в основе биологической классификации озер Г. Г. Винберга лежит величина первичной продукции, которая составляет первое звено биотического баланса водоема. Вместе с тем автор неоднократно подчеркивает значение климатического (зонального) и морфометрического (азонального) факторов при выделе-

нии типов озер. По величине первичной продукции озера разделены на четыре класса:

1) наиболее высокопродуктивные (политрофные) озера с валовой продукцией фитопланктона в летний период 7,5–10 г O_2/м^2 в сутки, или 2500–3500 ккал/м^2 в год; 2) относительно мелководные гомотермные звтрофные озера, расположенные среди культурных ландшафтов, с высокими величинами первичной продукции – 2,5–7,5 г O_2/м^3 в сутки, или 1000–2500 ккал/м^2 в год; 3) мезотрофные и вторичноолиготрофные озера с высокой прозрачностью и значительными глубинами; первичная продукция в этом случае колеблется от 1 до 7,5 г O_2/м^2 в сутки, а валовая первичная продукция за год составляет 300–2500 ккал/м^2; 4) малопродуктивные озера. К ним относятся мелководные дистрофные озера с кислой реакцией (pH<7), а также глубокие прозрачные первичноолиготрофные озера с показателем первичной продукции – 0,5–1,0 г O_2/м^2 в сутки, или < 300 ккал/м^2 в год.

Широко применяется понятие «трофичность» и в классификации Х. Ярнефелта (1953). Отмечая необходимость учета всего комплекса природных факторов, на территории Финляндии автор выделяет два основных типа озер: эвтрофные и олиготрофные. Дистрофные и олиготрофные озера объединяются на том основании, что они весьма бедны биогенными элементами.

Американский лимнолог Д. Хатчинсон (1969) к числу важнейших показателей типологии озер относит морфологию котловин и динамику водной массы.

Состав биокомпонетов донных осадков можно рассматривать как индикатор статуса овременных озер. Трофность озер оценивается как показатель физико-химических и биологических водной массы озер.

Результаты анализа биокомпонентов озер иллюстрирует диаграмма (рис. 10.1), которая разделена на VII полей. В поле I расположились большинство исследованных озер мезотрофной стадии, в осадках которых преобладают золотистые водоросли, ткани и створки *Cyclotella.* В поле II попали в основном озера дистрофной стадии и единичные водоемы, характеризуемые по показателям качества воды, как эвтрофные. В поле III преобладают биокомпоненты эвтрофной стадии, куда относится абсолютное большинство озер, находящихся на этой стадии развития, а также некоторые мезотрофные (Лукомское, Лосвида, Лесковичи, Долгое) и дистрофные (Деменец. Плавно) водоемы, подверженные интенсивному антропогенному эвтрофированию.

Поля IV, V и VI характеризуют соответственно промежуточные эвтрофно-мезотрофные, мезодистрофные и дисэвтрофные стадии развития водоемов. Центральную часть диаграммы занимает поле VII, где располагаются слабоэвтрофные озера, для осадков которых характерны равновеликие концентрации основных биокомпонентов. Дополнительную информацию об эвтрофных условиях дают высокая общая численность остатков в единице

объема обводненного осадка (более 6 млн экз/см^3), доминирование планктонных синезеленых с участием спор *Aphanizomenon sp.* и *Anabaena sp.,* постоянное присутствие среди протококковых водорослей оболочек *Teetaedon minimum,* спикул губок и домиков простейших. Среди остатков диатомовых доминируют планктонные формы *Au1acosira, Cyc1oatepanos, Asterionella, Synedra,* реже обрастатели родов *Cembella, Nitzschia, Comphonema.*

При отсутствии в осадках остатков эвгленовых и вольвоксовых водорослей, незначительной концентрации десмидиевых можно предполагать о существовании дистрофной стадии в момент формирования отложений. Флора диатомовых представлена в основном эпифитными видами рода Fragillaria s*p.* Среди фрагментов животных 20–40 % принадлежит насекомым, домики простейших отсутствуют. В донных отложениях озер мезотрофной

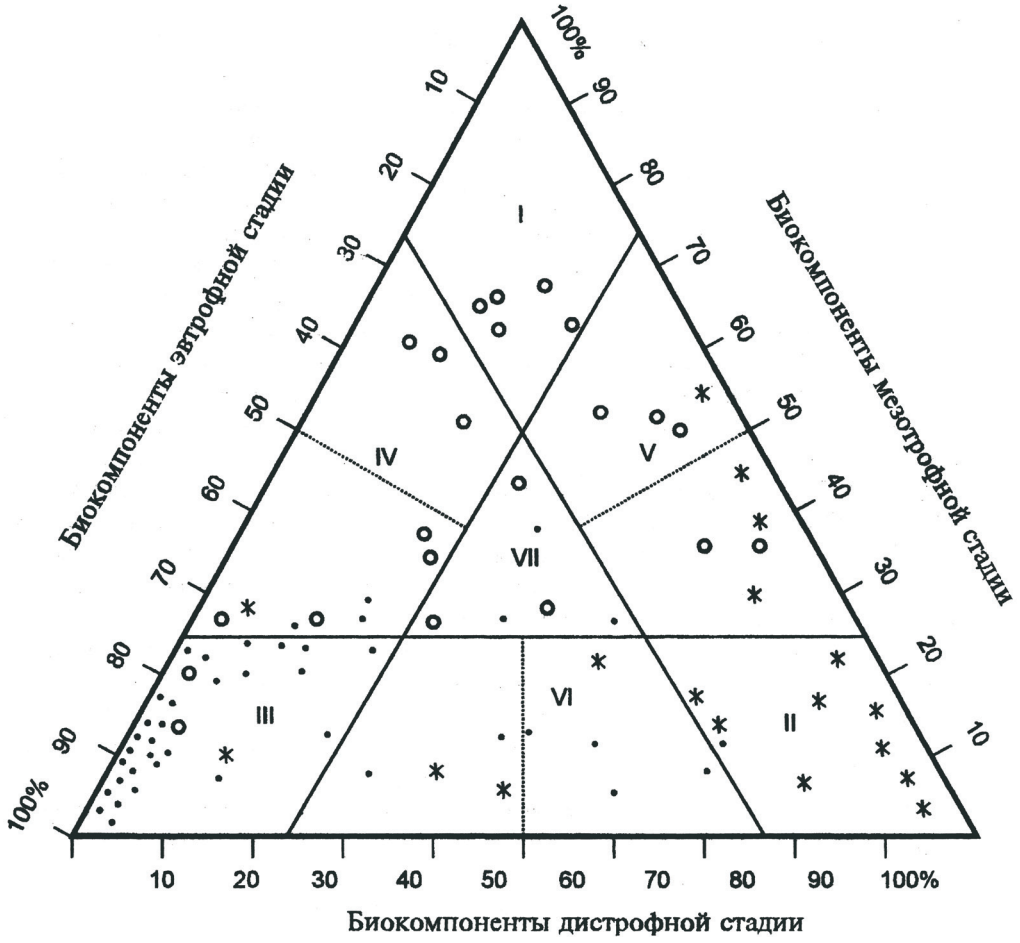


Рис. 10.1. Схема выделения трофического состояния озер по биокомпонентам (по А. Л. Жуховицкой, Б. П. Власову, Б. В. Курзо и др., 1998). Стадии озер: •·– эвтрофна, **o** – мезотрофная, * – дистрофная

стадии общее количество биологических остатков невелико, как правило, 1–4 млн экз/см^3 осадка естественной влажности. Часто трудно выделить одну (две) преобладающую группу биологических остатков. Диатомовые водоросли отличаются заметным разнообразием; массового развития достигают планктонные виды *Cyclotella, Aulacosira,* реже – донные *Navcula, Pinnularia, Ophephora, Amphora, Girosigma.*

В развитии озер имеет большое значение их положение в системе «водосбор–водоем». Большинство озер, развитие находится в тесной зависимости от водосбора. Исключение составляют старичные озера, карьерные водоемы и копани, которые имеют постоянную, периодическую гидравлическую связь с водотоками водосбора или она отсутствует вообще. В связи с этим вследствие небольшого малого водосбора и объема поверхностного притока развитие их природы происходит полуавтономно или автономно.

Значительная часть озер и водохранилищ образует озерно-речные системы. Озерно-речные системы характерны для Поозерья, где сформировались известные «группы» озер: Браславская, Ушачская, Докшицкая, Вымно, Мядельская, Нарочанская и др. (О.Ф. Якушко, 1967). Озера этих систем представляют более сложные экосистемы, развитие которых зависит от водосборов и гидрологического режима рек, которые, в свою очередь, являются их подсистемами.

От степени связи водоема с водосбором, например, зависит накопление и деструкция органического вещества, соотношение автотрофии и аллотрофии и, соответственно, основные трофические типы озер (рис. 10.2).

По С. Д. Муравейскому (1937, 1960), биологическую продуктивность водоема определяет его положение в водосборе и в системе стока.

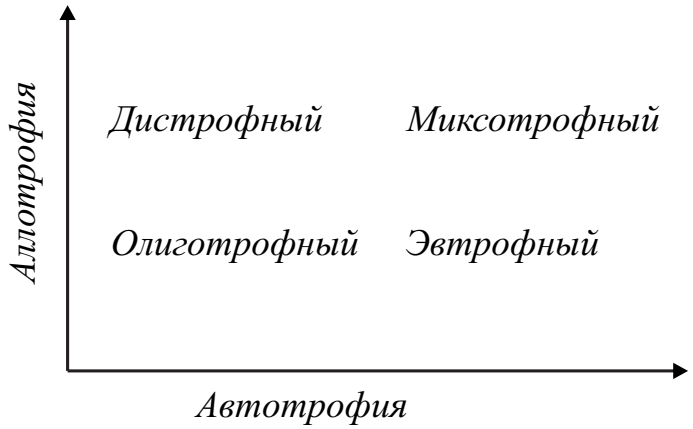


Рис. 10.2. Соотношение автотрофии и аллотрофии и основные трофические типы озер (W. Rodhe, 1969)

Реализацию возможности воздействия водосбора на водоем определяет ряд природных факторов, и в первую очередь осадки, сток и испарение, которые, по Г. П. Калинину (1971), отражают условия существования водоема при соответствующих соотношениях его площади и водосборной площади при данных климатических условиях:

$$\frac{F}{f_0} - \frac{z-x}{y},$$

где F и f – соответственно площади водосбора и зеркала водоема, x – осадки на зеркало, z – испарение с водной поверхности, y – слой стока с водосбора.

Хорошо коррелируется с величиной продукции и биомассы фитопланктона и показатель Д. Шиндлера (1971):

$$\frac{Ad + A_0}{V},$$

где Ad – площадь водосбора, A_0 – площадь озера, V – объем массы озера.

Учитывая роль «малого» водосбора, интерес представляет соотношение его площади с площадью и объемом водоема:

$$\frac{F_m}{V} \text{ и } \frac{F}{f_0},$$

где F_m – площадь малого водосбора. Роль малого водосбора у малых озер увеличивается и приравнивается к общему водосбору, а соотношение к *1*.

По величине водосборов, гидрофизическим особенностям и конфигурации водосборы разделяются на простые и сложные. Сложные водосборы, как правило, большой площади, имеют и объединяют систему (природный каскад) озер. Небольшие, отдельно взятые водоемы (озера) имеют небольшую площадь и простую форму. Водохранилища при своей относительной мелководности имеют большую площадь водосбора. Пруды строятся в основном в верховьях рек и отличаются достаточно простым по форме и малым водосбором.

Большинство водоемов замедленного водообмена располагаются в нижней части водосбора в замыкающем створе. Эта особенность характерна для искусственных водоемов. Сток с водосбора после некоторой трансформации в русловой части поступает в водоем. Небольшие бессточные озера, карьерные водоемы имеют малый водосбор и в большинстве случаев находятся в его центре или сдвинуты относительно продольной или поперечной оси.

Симметричность водосбора, как и местоположение водоемов на водосборе, определяет поверхностный приток с той или другой части водосбора. Этот фактор должен особенно учитываться в случае наличия источников поступления загрязняющих веществ в водоемы.

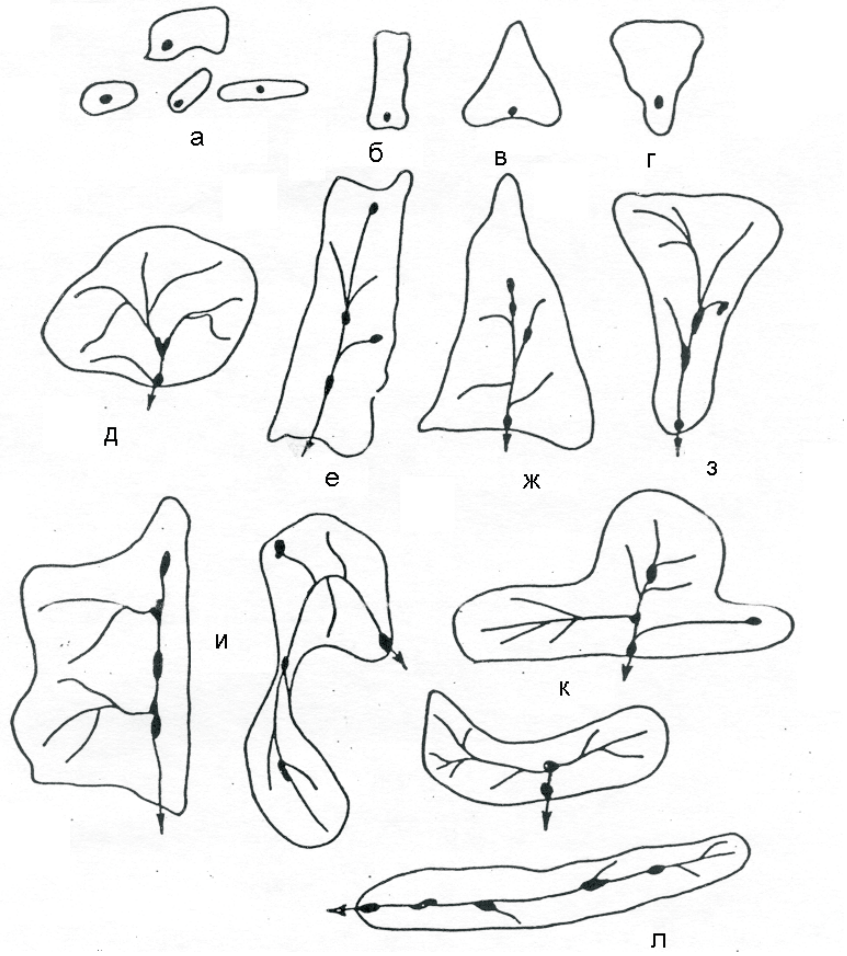


Рис. 10.3. Типы водосборов отдельных озер и озерно-речных систем: *озер*: *а* – овальный, *б* – прямоугольный, *в* – треугольный с расширением в нижней части, *г* – треугольный с расширением в верхней части; *озерно-речных систем*: *д* – овальный, *е* – прямоугольный, *ж, з* – треугольный, *и* – асимметричный, *к* – симметричный, *л* – вытянутый

В равнинных условиях и при достаточном увлажнении территории большую роль играет форма бассейна. Роль формы бассейна в формировании притока в водоем существенно различается для отдельных озер (объемом до 10 млн м^3, площадью до 5 км^2 и водосбора до 50 км^2) и при наличии на водосборе озерных систем (рис. 10.3) с площадью водосбора более 50 км^2. Как видно из рисунка, и небольшие одиночные озера имеют водосбор овальной формы *(а*), прямоугольной *(б*), треугольной, с расширением средней части (*в*), треугольной с расширением в верхней части (*г).* Большинство озерно-речных систем Белорусского Поозерья имеет значительную площадь водосбора (до 2000 км^2), а иногда и более. Наиболее распространенные формы водосборов озерно-речных систем: овальные *(д*); прямоугольные (*е*); треугольные, с расширением в нижней (*ж*) или верхней (*з*) частях, асимметричные (*и*).

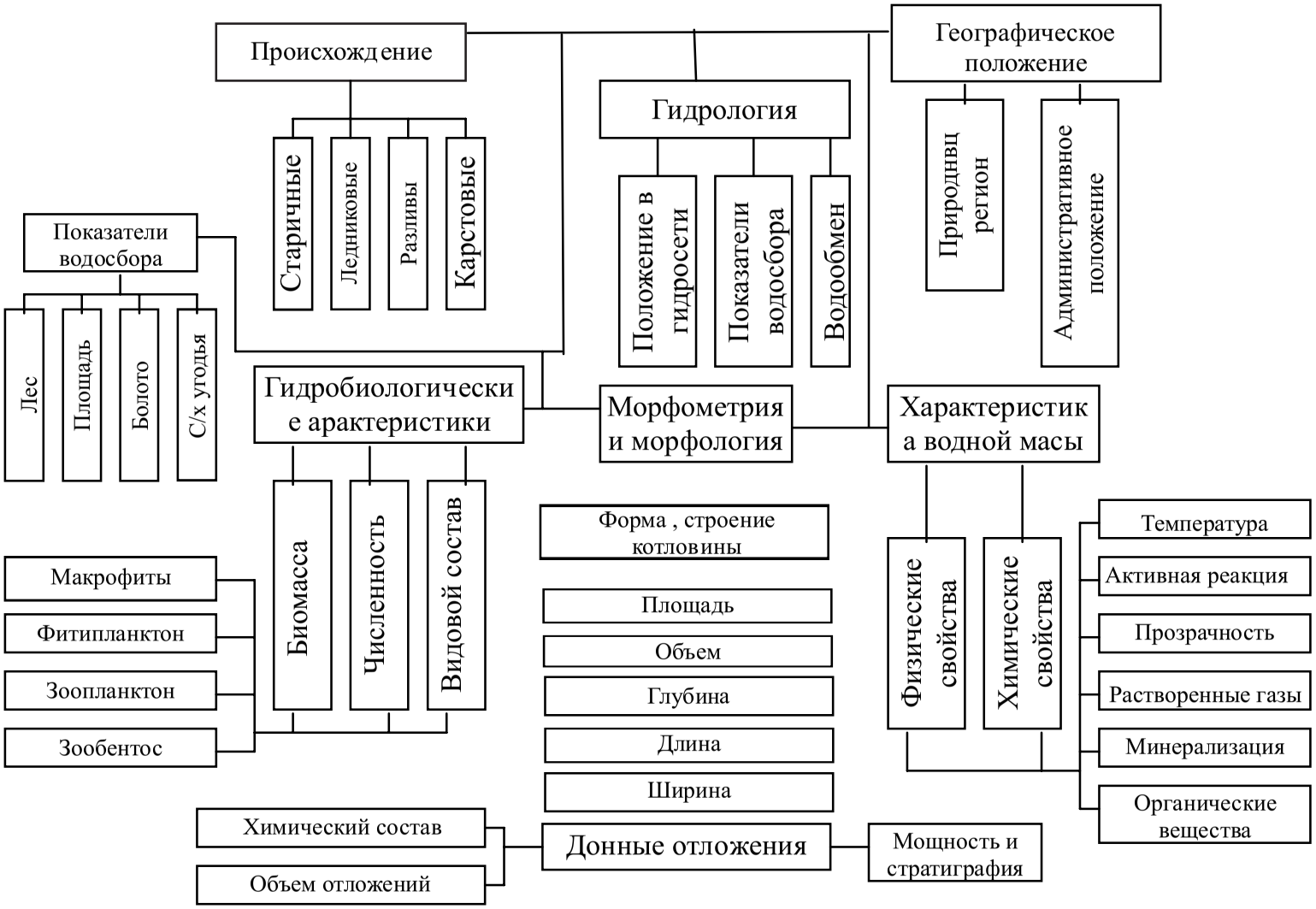


Рис. 10.4. Система классификационных показателей природно-генетической классификации озер (О. Ф. Якушко, 1971)

При впадении в водоем замедленного водообмена водный проток трансформируется. В зависимости от параметров и гидроморфологических особенностей чаши водоема образуется различная система транзита водной массы (или система проточности). Чем меньше и более вытянут водоем, тем больший объем водной массы проходит транзитом через его, а на мелководьях вне русловой ложбины образуются застойные зоны.

Развитие природы озер в естественных условиях тесно связано с рядом природно-генетических факторов и является тем фоном, на котором происходит развитие природы других водоемов, включая некоторые природные (озера-старицы, вертебы) и искусственные (водохранилища, пруды, карьерные водоемы). В этой связи наиболее интересной является природно-генетическая классификация О. Ф. Якушко, основы которой были заложены в 1967–1971 гг. и развиты в более поздних ее работах (О. Ф. Якушко,1967; 1971; О. Ф. Якушко, Б. П. Власов, С. В. Богданов, и др., 1995). Предложенная система классификационных показателей учитывает зональные, азональные и продукционные особенности водоемов (рис. 10.4).

10.2. Генетические типы озер Беларуси

На основе изучения многочисленных материалов исследований озер Беларуси и литературных данных нами разработана классификация озер Беларуси на широкой лимнолого-географической основе, которая применима для малых озер лесной зоны земного шара. За основу приняты следующие положения: озера – один из компонентов зональных природных ландшафтов. Черты, присущие озерам лесной зоны, характерны для озер страны и выражаются в температурном режиме, годичных колебаниях уровня, сезонных сменах циркуляции и стагнации, значениях биотического баланса и др.

Однако все многообразие озерных водоемов не может быть охвачено только зональными признаками. Для этого необходим учет азональных и частных показателей. К их числу относятся внешние показатели, характеризующие взаимосвязи озера и его водосбора (удельный водосбор, рельеф и состав пород, распаханность и облесенность, притоки и вытоки), и внутренние (морфометрические показатели, гидродинамические процессы в водной массе). Один из азональных признаков должен быть основным, способным оказывать влияние на все стороны лимнического процесса и вместе с тем отражать его основные типологические признаки. Таким показателем следует считать морфометрические параметры водоема и обусловленные ими характер и интенсивность перемешивания водной массы.

В самом деле морфометрические показатели котловины (площадь, объем, глубина, коэффициент открытости и т. д.) предопределяют (в одной и той же климатической зоне) отличия одного водоема от другого. При одной и той же температуре воздуха и силе ветра в плоских широких котловинах появляется гомотермия, а в глубоких и укрытых устанавливается четкая стратификация водной массы. Именно в гиполимнионе формируются индивидуальные качества водоема: низкие температуры, дефицит кислорода, избыток углекислого газа, повышенная минерализация, появление восстановительных реакций, миграция некоторых составляющих осадка и многое другое. Вместе с тем при значительном ветровом перемешивании и отсутствии гиполимниона в открытых котловинах во всей толще воды возникают однородные гидрологические, гидрохимические и биологические условия.

Сочетание морфометрических особенностей и связанных с ними гидродинамических условий только тогда получает значение типологических показателей, когда они выражаются в определенных цифровых величинах, характеризующих все стороны озерных природных комплексов.

В Беларуси выделено четыре основных генетических типа озер.



I тип. **Мезотрофные с признаками олиготрофии, глубокие, небольшие.** Эталон – оз. Долгое. К типичным представителям относятся озера Болдук, Белое (Глубокского района), Гиньково, Волос Южный, Ричи. При максимальной глубине более 25 м средние глубины колеблются в пределах 10–15 м. Озера этого типа располагаются на моренных возвышенностях и равнинах. Котловины относятся к ложбинным, сложным эворзионным, отличаются высокими (>25 м) крутыми склонами, узкой (5–15 м) литоралью, четко ограниченной склоном сублиторали. В рельефе ложа чередуются поднятия и глубокие плесы, обладающие индивидуальными особенностями гидрохимического режима.

При слабой водообменности (условный водообмен < 0,5) строение котловины, изрезанность и высокая распаханность водосбора способствуют интенсивности поверхностного стока дождевых вод, а также привноса минеральных веществ. Значительные глубины котловин обеспечивают постоянный приток грунтовых вод. Вместе с тем указанные особенности делают озера этого типа легко уязвимыми при усилении хозяйственной деятельности в процессе антропогенного эвтрофирования (озера Лесковичи, Волос Северный, Круглик).

Донные отложения в глубоких озерах отличаются небольшой мощностью, но разнообразием и признаками вертикальной дифференциации. Для литоральных глубин характерны песчано-глинистые и галечниковые отложения, которые на склонах сублиторали сменяются алевритами, глинами, карбонатными осадками. Средние глубины до 18–20 м чаще всего выстилаются глинистыми илами разных оттенков, реже кремнеземистыми сапропелями с содержанием органического вещества не более 30 %. Глинистые илы обычно заполняют и наиболее глубокие ямы. При низком содержании органического вещества (ППП < 20 %) они характеризуются высоким количеством (10–12 %) соединений железа в окисной или закисной форме, часто в виде сульфида (гидротроилита), придающего отложениям черный цвет. В глубоководных осадках повышено содержание микроэлементов.

Общая минерализация озер I типа обычно слегка понижена (до 200 мг/л), но в условиях заметного антропогенного эвтрофирования она возрастает. Содержание гидрокарбонатов в разных озерах колеблется от 50 до 100 мг/л, сумма Ca^{2}+ и Mg^{2+} – от 20 до 35 мг/л. Увеличение минерализации ко дну небольшое, и в целом гидрохимические показатели каждого водоема постоянны как по вертикальному разрезу, так и в годовом цикле. При значительных глубинах величина pH колеблется всего от 8 на поверхности (летом) до 7,9–7,4 у дна. Указанная особенность отражает слабое развитие жизни и олиготрофный режим водоемов.

Глубокие озера отличаются определенными температурным и газовым режимами. Для летнего сезона характерна резко выраженная температурная стратификация при небольшой мощности эпилимниона, значительном (4–5°/м) градиенте в металимнионе и низкой (5,5–6,5) температуре гиполимниона, мощность которого превышает половину водного слоя в точке максимальной глубины. Зимний режим температуры нередко зависит от погодных условий. После холодной ветреной осени переохлажденные озера замерзают намного позднее мелководных и придонная температура не поднимается выше 2,5–3°, зимнее разогревание проявляется незначительно. Однако, несмотря на низкие температуры в течение всего года, годовой тепловой бюджет в озерах I типа достигает наибольшей величины.

Мезотрофные с признаками олиготрофии озера богаты кислородом не только во время циркуляции, но и в периоды стагнации, хотя вблизи дна его содержание понижается до 30–25 %, особенно при усилении антропогенного влияния. По сравнению с неглубокими хорошо прогреваемыми озерами кислородное перенасыщение верхних слоев – явление редкое, так как фотосинтез ослаблен даже в жаркую погоду. Черты олиготрофии, присущие глубоким водоемам, выражаются также в низкой окисляемости воды: 5–7 мгО/л (перманганатная) и 25–28 мгО/л (бихроматная), что согласуется с высокой (5–7 м) прозрачностью и небольшой цветностью (10–15°).

Глубокие озера, как правило, плохо обеспечены основными биогенными элементами. Содержание нитритного азота летом не превышает 0,001–0,002, фосфора минерального < 0,01 мг/л.

В жизни озер I типа большую роль играют макрофиты. Их распространение не ограничивается узкой полосой литорали: значительная прозрачность позволяет высшей растительности проникать на склоны сублиторали. Именно макрофитам принадлежит основная роль в создании первичной продукции, величина которой не выше 1 г O_2/м^2 в сутки. Биомасса фитопланктона обычно около 1 г/м^3, а зоопланктона 0,1–0,25 г/м^3.

В фитопланктоне преобладают диатомовые, а в составе зоопланктона – веслоногие рачки, среди которых сохранились реликтовые формы. Озера отличаются разнообразием ихтиофауны при невысокой рыбопродуктивности. Из холодолюбивых представителей распространены сиговые, снеток, радужная форель. На мелководьях обитают угорь, щука, плотва, уклея и др.

Среди водоемов с ярко выраженными чертами олиготрофии необходимо отметить немногочисленные озера с очень низкой минерализацией воды – 20–30 мг/л (Чербомысло, Глубокое в Полоцком районе). Во всех случаях это небольшие (менее 1 км^2) неглубокие (до 10 м) водоемы, с очень малыми и полностью облесенными песчаными водосборами. Особенности водосборов, отсутствие притоков и вытоков резко снижают возможности

минерального питания, а следовательно, жизнедеятельность гидробионтов. Активная реакция даже летом не выше 6, вода очень прозрачная (до дна), слабоцветная, содержание биогенных элементов ничтожное. В результате биомасса фитопланктона обычно не более 0,5 г/м^3. В условиях кислой среды слабо развиваются макрофиты, за исключением полушника озерного – представителя озер лесотундры и тундры.

II тип. **Мезотрофные, среднеглубокие, с большой площадью.** Эталон – оз. Нарочь. К типичным представителям относятся озера Мядель, Снуды, Струсто. Максимальные глубины достигают 25 м, средние 6–9 м.

Значительные по площади подпрудные, открытые котловины не препятствуют интенсивному перемешиванию воды и образованию мощного эпилимниона (> 10 м). На долю гиполимниона приходится не более 5–6 % объема водной массы. Слабая стратифицированность сочетается с постоянно высоким содержанием кислорода, низкими температурами зимы при большой величине годового теплового бюджета.

Водосборы озер II типа разнообразны по рельефу и степени хозяйственной освоенности, поэтому процессы седиментации в разных частях водоема заметно различаются. Вблизи абразионных склонов усиливается поступление грубообломочного материала и формируется песчано-галечниковая и даже каменистая литораль. В сублиторали отложения нередко обогащены карбонатами, именно здесь образуются типичные карбонатные сапропели. Глубоководные части ложа выстилают маломощные глинистые илы, реже кремнеземистые сапропели. Для гидрологического режима среднеглубоких озер, как и для глубоких, характерна слабая проточность, связанная не только с небольшой водностью дренирующих водотоков, но и со значительной врезанностью (переуглубленностью) котловин в сравнении с долинами рек.

Общая минерализация воды в мезотрофных озерах средняя – 200–220 мг/л, стабильная в годовом цикле. Содержание HCO_3 достигает 150 мг/л, сумма Ca + Mg около 35 мг/л, активная реакция зимой близка к нейтральной, летом – к слабощелочной. Прозрачность воды высокая: 5–7 м, цветность не более 10–15°.

В числе биологических показателей отмечается пониженная окисляемость (перманганатная 5–7 мгO_2/л). Общая биомасса фитопланктона несколько возрастает по сравнению с биомассой озер I типа, но не превышает 2–3 г/м^3. Состав фитопланктона диатомовый и пирофитовый. В условиях проявления антропогенного эвтрофирования появляются синезеленые водоросли. В формировании первичной продукции большую роль продолжают играть макрофиты. Основную биомассу составляют погруженные растения, образующие густые подводные луга из харовых, элодеи, некоторых видов рдестов.

Биомасса зоопланктона небольшая – около 0,25–1 г/м^3, в то время как биомасса бентоса нередко составляет 5–6 г/м^2. Однако кормовое значение бентоса невелико, так как в основном он представлен моллюсками.

Разнообразна ряпушко-сиговая ихтиофауна. Озера богаты и такими видами рыб, как угорь, щука, уклея, плотва; акклиматизирован чудский сиг.

III тип. **Эвтрофные, неглубокие и мелководные, с разной площадью.**

III$_1$ подтип – слабоэвтрофные, неглубокие, со значительной площадью. Эталон – оз. Дривяты. К типичным представителям относятся озера Лукомское, Мястро, Лосвидо, Полуозерье, Яново. Обычно озера III типа характеризуются небольшими средними глубинами (4–6 м), открытыми асимметричными подпрудными котловинами с отдельными впадинами до 10–13 м. Морфометрические особенности способствуют интенсивному ветровому перемешиванию в безледный период при сокращении гиполимниона до 3–4 % от общего объема водной массы. Высокое насыщение кислородом охватывает всю толщу воды, а на поверхности в жаркую погоду наблюдается небольшое перенасыщение.

В летний сезон вода в озерах подтипа Дривяты хорошо прогревается. Зимние температуры у дна обычно колеблются от 3 до 3,8° благодаря зимнему разогреванию. Однако годовой тепловой бюджет в озерах этого подтипа ниже, чем в мезотрофных.

Значительная площадь водосборов, свойственная озерам III$_1$ подтипа, обусловливает разнообразие их природных особенностей. При преобладании моренных суглинков и широко распаханных дерново-подзолистых почв распространение получили и большие пространства, облесенные и заболоченные. Основной приток минеральных веществ в озера поступает из пород моренного состава с поверхностными и грунтовыми водами. Основу приходного баланса обычно составляет поверхностный приток, а расход связан с испарением с водной поверхности и вытоком. Проточность озер подтипа Дривяты невысокая благодаря слабому врезу дренирующих рек. Показатель условного обмена от 0,14 (оз. Лукомское) до 0,51 (оз. Дривяты).

В строении озерного ложа эвтрофных озер подтипа Дривяты отмечается широкая литораль, заросшая надводными и подводными макрофитами, четкий, но не крутой сублиторальный склон и волнистая поверхность ложа.

По сравнению с мезотрофными озерами гранулометрический состав донных отложений эвтрофных озер тоньше, а органическая часть богаче. Наиболее распространены кремнеземистые сапропели, мощность которых в углублениях достигает 3–3,5 м, и глинистые илы.

Минерализация воды в озерах подтипа обычно колеблется в пределах 220–250 мг/л. Содержание гидрокарбонатного иона превышает 150 мг/л, а сумма Ca и Mg достигает 35–40 мг/л.

Летом в условиях значительного перемешивания изменения химических компонентов по вертикальному разрезу выражены слабо, но в укрытых заросших заливах по сравнению с центральной частью акватории заметны отклонения. Эта закономерность проявляется и в величине активной реакции, показатель которой в заросших заливах возрастает до 8,2–8,5, а в открытой зоне обычно не превышает 8.

Более высокая степень трофности эвтрофных озер по сравнению с озерами I и II типов выражается в значительных годичных колебаниях минерализации, увеличении окисляемости (перманганатная 10–12 мгО/л, бихроматная около 40 мгО/л). Показатель цветности достигает 20–25°, прозрачность уменьшается до 3–2,5 м. Средняя биомасса фитопланктона повышается до 5–7 г/м^3, главным образом за счет синезеленых водорослей. Основу первичной продукции составляет фитопланктон при подчиненной роли макрофитов. Последние распространены широко и представлены всеми группами.

Биомасса зоопланктона колеблется от 3 до 4 г/м^3, основу составляют ветвистоусые ракообразные. В составе бентоса преобладают личинки хирономид и других насекомых, которые ценны в кормовом отношении. Биомасса бентоса около 3,5–4 г/м^2.

Озера отличаются богатством и разнообразием ихтиофауны. В целом они относятся к лещево-рипусовым и лещево-судаковым. Кроме того, водятся угорь, щука, уклея, в заливах сазан, линь.

Ш$_2$ подтип – эвтрофные (слабоэвтрофные), небольшие, неглубокие, с воронкообразными котловинами. Эталон – оз. Гульбеза. Типичными представителями могут служить озера Каймин, Туросы, Иодово, Камайское. При средних глубинах 4–6 м озера подтипа имеют значительные (15–18 м) максимальные глубины и малые площади. Бассейны озер обычно небольшие, однако преобладание моренных суглинков, глубокий врез котловин обеспечивают богатый приток минеральных веществ.

Котловины относятся к числу ложбинных и эворзионных. Для них характерны значительные высота (до 20 м) и крутизна (25–35°) склонов. Глубокие плесы отличаются узкой литоралью и крутым сублиторальным склоном. Ложе нередко имеет серию более или менее изолированных впадин. Литораль выстлана песчаными и песчано-заиленными наносами. В профундали скапливаются высокозольные кремнеземистые сапропели и ожелезненные глинистые илы темно-оливкового и густо-черного цвета. Благодаря значительной крутизне подводных склонов они образуют скопления в понижениях профундали мощностью 2–4 м.

Выделение III$_2$ подтипа обязано гидрохимическому режиму водной массы озер. Морфометрические особенности препятствуют ветровому перемешиванию. Показатель глубинности достигает большой величины –

8–10, его можно сравнить только с показателем озер I типа. Показатель открытости очень низкий. Значительная переуглубленность котловин обеспечивает слабую проточность и высокую удельную водообменность. В результате уже в конце весеннего периода (май) водная масса в таких озерах приобретает признаки четкой стратификации при мощности эпилимниона 4–5 м. В зоне металимниона градиент температур достигает 4–4,5 °/м, а на долю гиполимниона приходится 10–17 % объема водной массы. Придонные температуры летом нередко не поднимаются даже до 5°.

К отличительным особенностям газового режима озер подтипа следует отнести исчезновение кислорода во всем гиполимнионе в периоды стагнации. Это связано с отсутствием перемешивания воды, застоем плотных холодных придонных слоев и потреблением кислорода в процессе окисления органического вещества и железа. Исчезновение кислорода нередко сопровождается выделением сероводорода при значительном накоплении CO_2. Для озер III_2 подтипа нередко возникновение меромексии.

Бескислородная зона в конце летней стагнации расширяется. Одновременно увеличивается концентрация элементов минерализации. В частности, содержание гидрокарбонатного иона, как правило, превышает 200–250 мг/л, а в Малом Камайском достигает 300 мг/л.

Что касается активной реакции, то у дна ее величина опускается до 6,5. В ярко выраженных анаэробных условиях усиливается процесс восстановления железа в осадке и миграция его в воду. В результате к концу летней стагнации содержание железа в гиполимнионе достигает 3–4 и даже 5 мг/л. О бедности органическим веществом озер $Ш_2$ подтипа свидетельствует невысокая окисляемость (5–7 мгО/л). Низкие также показатели биологической продуктивности: биомасса фитопланктона около 1 г/м^3.

III_3 подтип – эвтрофные (высокоэвтрофные), мелководные, с разной площадью. Эталон – оз. Баторин. К типичным представителям относятся озера Черствяты, Шо, Паулье, Выгонощанское, Червоное.

Максимальная глубина озер подтипа обычно не превышает 5 м, а средняя – менее 2 м. Площади колеблются в значительных пределах – от очень малых до таких крупных, как Выгонощанское – 26 км^2. Котловины подпрудные, разливы термокарстовые, остаточные, иногда открытые, иногда асимметричные. Литоральная зона обычно широкая, заиленная, а профундаль выстлана мощными кремнеземистыми и органическими сапропелями, содержащими более 20 % органического углерода. Донные осадки нивелируют понижения ложа, делают его ровным, плоским.

Преобладание поверхностного питания способствует усиленному притоку в озера минеральных частиц и увеличению зольности донных отложений. Проточность в озерах этого подтипа изменяется от хорошей (озера Березовое, Медзозол, Паулье) до слабой (Черствяты, Червоное,

Баторин), но даже в последнем случае смена воды в мелководных озерах происходит относительно быстро. Условный водообмен в озерах Черствяты и Шо составляет 1,74 и 1,75.

Интенсивное ветровое перемещение воды в безледный период создает условия, близкие к гомотермическим. Зимние температуры вблизи дна за счет придонного разогревания достигают 4° и даже выше. Вместе с тем годовой тепловой бюджет таких озер самый низкий.

К числу отличительных черт кислородного режима относятся значительное перенасыщение верхних слоев воды летом в результате массового «цветения» и заметное недонасыщение в придонном слое при условии устойчивой безветренной погоды. Зимний сезон в слабопроточных озерах характеризуется резким дефицитом кислорода, охватывающим всю водную толщу. Нередко отрицательно сказывается усиленная хозяйственная деятельность вблизи озера, в этих случаях отмечаются заморные явления.

Одной из особенностей высокоэвтрофных озер следует считать резкие колебания всех гидрохимических показателей в течение года и даже суток. Если летняя минерализация обычно составляет около 200, то зимой она увеличивается до 250–280 мг/л. Изменяется показатель активной реакции от >8,5 летом до 7 зимой. Характерно также значительное увеличение биогенных элементов в течение зимней стагнации. Содержание PO_4, в частности, растет на целый порядок, то же можно сказать об аммиачном азоте и железе. Озера этого подтипа отличаются повышенной окисляемостью (>10 мгО/л) и цветностью (40–50°) при низкой прозрачности, которая летом снижается до 1 м и менее.

В составе фитопланктона преобладают синезеленые водоросли, нередко хорошо представлены и другие группы. Средняя биомасса фитопланктона более 10 г/м^3, а максимальные величины достигают 35–45 г/м^3 (озера Паулье, Черствяты). Биомасса зоопланктона примерно 4,5–5 г/м^3. В составе бентоса преобладают личинки хирономид, средняя биомасса его небольшая – около 1 г/м^2. Величина первичной продукции значительная: 2,5–3,5 гO_2/м^2 в сутки.

Высшие водные растения образуют широкую полосу вдоль берегов до глубины около 2 м. По составу ихтиофауны озера относятся к лещево-щучьим, реже сазаньим, лещево-судаковым и отличаются высокой рыбопродуктивностью.

IV тип. **Дистрофирующие, мелководные, с разной площадью**. Эталон – озера Жеринское и Ельня. К типичным представителям относятся озера Добеевское, Судобле, Густата, Червоное, Межужол, Черное. Все они имеют плоские остаточные котловины, незначительные глубины, температурная стратификация в них отсутствует.

Выделяя тип дистрофирующих озер, мы исходим из их низкокормности. Однако одного этого показателя оказалось недостаточно. Обнаружено по крайней мере два варианта (подтипа) озер IV типа, различных по происхождению и современному состоянию.

***IV_1* подтип** – дистрофирующие типа Жеринское, Добеевское, унаследовавшие черты высокоэвтрофных озер и пережившие все стадии естественной эволюции от олиготрофных к эвтрофным и дистрофирующим. Внешне озера этого подтипа отличаются высоким зарастанием надводными макрофитами и представителями земноводных растений, занимающих широкие полосы сплавин. Литораль чаще всего заиленная, подводный рельеф ложа не выражен, а мощность сапропелей достигает 5–6 м.

В этих озерах мутная непрозрачная вода, высокие (50–80°) цветность и окисляемость (>15 мгО/л). Если в летний сезон деятельность живых организмов угнетена, то зимой при высоких температурах, накоплении углекислоты возникают заморы. В отдельные годы летний период характеризуется значительной биомассой фитопланктона (4–6 г/м^3), который беден в видовом отношении. При однообразии видового состава ихтиофауны (карась, линь) такие озера до определенного времени могут быть высокопродуктивными.

По классической схеме дистрофирующие озера подтипа Добеевское в результате эволюции превращаются в низинные болота с богатой растительностью. Однако наблюдаются случаи быстрого дистрофирования высокоэвтрофных озер (Густата, Судобле) при условии вмешательства человека (понижение уровня и др.).

От описанных заметно отличаются **дистрофирующие озера *подтипа* Ельня IV_2.** Как правило, они располагаются в центре крупных верховых или переходных болот. Основу питания таких озер составляют атмосферные осадки и болотные воды, несущие большое количество гуминовых кислот. Это служит причиной низкой минерализации воды (80–50 мг/л), кислой реакции, крайне слабого показателя трофности.

Болотная вода придает воде озер оттенок густого чая (цветность >150°), а слабое развитие жизни, отсутствие минеральной мути обусловливают высокую (до дна) прозрачность.

Биомасса фитопланктона в этих условиях менее 1 г/м^3. Исключительной бедностью характеризуется ихтиофауна, представленная окунем.

Окружающие болота образуют крутые торфяные берега, торф нередко выстилает прибрежную зону и даже плоскую профундаль озер.

Озера подтипа Ельня существуют в качестве реликтов с эпохи таяния ледника. Они эволюционируют вместе с питающим их торфяным массивом, но в отличие от дистрофирующих водоемов подтипа Жеринское никогда не переживали стадии эвтрофного водоема. В будущем они должны заполниться торфом и превратиться в болота верхового типа, минуя стадию низинного.

ГЛАВА 11

ИЗМЕНЕНИЕ ЛИМНОСИСТЕМ ПОД ВЛИЯНИЕМ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

11.1. Проблемы эвтрофирования лимносистем

Конец 60-х гг. XX в. явился своеобразным началом интенсификации сельского хозяйства, роста городов и промышленности, широкого развития мелиорации. Как это не парадоксально, но НТР оказала отрицательное воздействие на состояние лимносистем. В этот период озера становятся не только источниками водообеспечения, но и активно включаются в мелиоративные системы в качестве приемников дренажных вод, неочищенных отходов промышленных и бытовых вод, талых и дождевых вод с распаханных водосборов. Кроме токсичных примесей, все эти сбросы содержат минеральные и органические вещества, а также биогенные элементы, главным образом фосфор и азот, которые являются основными источниками повышения уровня трофии, т. е. скачкообразного увеличения продукционных процессов в результате бурного развития автотрофных организмов, главным образом фитопланктона. Он вызывает летнее «цветение» воды, накопление автохтонного органического вещества, снижение способности самоочищения. Совокупность процессов антропогенного эвтрофирования ведет к резкому ухудшению качества воды, появлению глубокого дефицита кислорода, увеличению общей минерализации за счет ионов SO_4^{2} и Cl^{-} и других примет внезапного, на протяжении 10–15 лет, «старения» озер, которые существуют в природном состоянии более 10–12 тыс. лет. В критическом или угрожающем состоянии оказались озера, расположенные вблизи крупных городов: Мяделя, Постав, Сенно, Глубокого, Браслава, Лепеля, Миор и др.

Процесс *антропогенного эвтрофирования* формируется за счет рассеяных и точечных источников. В бассейне оз. Нарочь, например, с каждого водосбора поступает 0,2 кг фосфора и 2,0 кг азота в год. Определенное значение имеют и атмосферные осадки, которые приносят в него около 50 % всех биогенных элементов, что выражает преобладание западного переноса воздушных масс. Источниками поступления биогенных и загрязняющих веществ являются животно-

водческие комплексы и фермы, предприятия пищевой промышленности, бытовые городские сбросы, мелиоративные каналы (табл. 11.1). Из 497 озер, обследованных НИЛ озероведения Белгосуниверситета, к числу сильно трансформированных, гипертрофированных относятся около 8 озер.

Для обоснования методов рекультивации, охраны и рационального использования озер разработаны наиболее репрезентативные показатели, которые характеризуют трофический уровень на данный момент. Это прозрачность воды, количество фосфора, биомасса фитопланктона и ее отношение с биомассой гетеротрофных организмов в летний сезон, показатель биохимического потребления кислорода ($БПК_5$). Обработка полученных материалов позволила разделить все озера на три группы: с сильной (I), средней (II) и слабой (III) степенью антропогенного эвтрофирования (табл. 11.2).

Выяснилось, что в I группу с ярко выраженными признаками вошли относительно немногочисленные мезотрофные, глубокие, небольшие озера (Лесковичи, Круглик) и наиболее распространенные высокоэфтрофные (гипертрофные мелководные водоемы (Забельское). Первые отличаются весьма неустойчивой экосистемой благодаря стратификации и мощному гиполимниону, в котором в периоды стагнаций кислород полностью потребляется на разложение и окисление. В мелководных озерах процесс гипертрофирования сопровождается бурным процессом фотосинтеза летом в прогретой массе воды. Зимой на разложение новообразованного органического вещества затрачиваются все запасы кислорода до состояния заморов. Во вторую группу объединена основная часть озер республики, которые ощущают антропогенное эвтрофирование, главным образом за счет поступления биогенных веществ с распаханных территорий.

Влияние хозяйственной деятельности на лимносистемы проявляется также во внешних преобразованиях, связанных с техническими мероприятиями на водосборе или в котловине. Этот процесс условно назван *техногенной трансформацией озер*.

Основная идея современных техногенных преобразований заключается в создании на базе озер-водохранилищ для забора вод по мелиоративным канавам. В этих случаях нередко изменяются взаимоотношения водосбора и озера, которые уже установились, перераспределяется поверхностный сток, включаются новые гидротехнические сооружения. Озера теряют свой природный облик. Типичны в этом отношении озера Полесья.

Таблица 11.1

Источники загрязнения озер территории Поозерья

№ п/п	Административный район	Кол-во озер	Мелиорация		Сельскохозяйственные угодья	Животноводство	Населенные пункты		Промышленность	Автотранспорт	Рекреация	Вырубка леса	Отсутствуют
			Повышение уровня	Понижение уровня			Сельские населенные пункты	Города					
1	Бешенковичский	17	–	1	14	7	12	–	–	–	3	–	–
2	Браславский	75	4	10	54	34	99	4	5	2	5	2	6
3	Верхнедвинский	8	2	–	4	1	4	1	–	–	–	–	3
4	Витебский	15	3	1	12	9	6	1	1	1	3	–	–
5	Глубокский	19	3	5	15	8	30	1	1	–	1	–	1
6	Городоккский	38	2	–	15	16	33	1	–	–	8	1	5
7	Лепельский	45	2	1	38	23	42	1	–	–	1	1	3
8	Миорский	32	8	3	23	16	42	1	3	1	–	–	5
9	Полоцкий	63	7	10	40	29	49	4	4	2	3	–	16
10	Поставский	24	3	4	20	14	12	–	2	–	–	–	–
11	Россонский	29	5	–	20	4	16	1	–	–	1	–	5
12	Сенненский	11	–	3	9	3	16	1	–	1	–	–	1
13	Ушачский	66	4	7	60	28	70	–	3	5	1	–	3
14	Чашникский	22	3	2	22	14	21	1	2	–	1	–	–
15	Шумилинский	8	–	1	8	3	6	–	1	–	–	–	–
16	Мядельский	14	–	–	2	2	2	3	2	1	5	–	–
17	Островецкий	11	–	1	2	4	1	–	–	–	–	–	–
	Всего	497	46	49	358	215	471	20	24	13	32	4	48

Таблица 11.2

Основные показатели озер с разной степенью антропогенного эвтрофирования

Озеро	Генетический тип	Средняя величина Р,мг/дм^3	БПК$_5$ Мг0$_2$/дм^3	Максима. биомасса фитопланктона, г/м^3	Отношение биомассы фито и зоопланктона	Прозрачность, м	Степень антропогенного эвтрофирования (группы)
Забельское	Мелководное, эвтрофное	1,6	9,5	34,8	17:1	0,2	1
Великое	Мелководное, эвтрофное	0,2	4,0	53,14	26:1	0,3	1
Лесковичи	Глубокое, мезотрофное с признаками олиготрофии	0,5	3,0	32,22	32:1	0,5	1
Круглик	То же	0,5	–	42,08	22:1	0,9	1
Загатье	Мелководное, эвтрофное	0,05	2,5	6,7	2:1	1,7	2
Мнюта	Эвтрофное	0,038	–	5,2	5:1	2,8	2
Нарочь	Среднеглубокое, мезо-трофное	0,014	1,5	0,8	0,5:1	7,4	3
Рудаково	Глубокое, мезотрофное с признаками олиготрофии	0,010	0,8	0,5	0,25:1	6,5	3
Болдук	То же	0,02	0,4	1,58	2:1	4,2	3

11.2. Антропогенное эвтрофирование лимнических экосистем

Проблема чистой воды относится к важнейшей в современном мире. Тесная зависимость деятельности человека от источников пресной воды стала особенно актуальной в эпоху научного прогресса, урбанизации и техногенеза.

В последние 30–40 лет повсеместно стали отмечать резкое ухудшение качества озерных вод в районах повышенной плотности населения, концентрации сельскохозяйственного и промышленного производства. Исследования показали, что изменения, происходящие в этих случаях в озерах, отражают резкую активизацию продукционно-биологических процессов, повышение трофического уровня в результате внезапного увеличения концентрации биогенных элементов в воде. Этот процесс, получивший название антропогенного эвтрофирования, приводит к коренному нарушению естественной эволюции озерных экосистем (Л. Л. Россолимо, Г. С. Шилькрат).

Может показаться, что антропогенное эвтрофирование, способствующее повышению трофического уровня озер, выгодно с точки зрения увеличения их рыбопродуктивности. Однако в первую очередь оно вызывает ухудшение качества воды, кроме того, искусственно разрушает установившуюся схему внутренних связей в водоеме и, наконец, «загрязняет» озеро продуктами распада мощной массы органического вещества, приближает старение водоема.

Изменение качества воды, которое несет с собой антропогенное эвтрофирование, обесценивает водоем как источник водоснабжения и других видов водопользования, как важнейший элемент природных комплексов рекреационного назначения, с которым связаны разные виды отдыха, туризма и, наконец, как рыбохозяйственное угодье.

Скорость проявления антропогенного эвтрофирования зависит от ряда причин, к числу которых относятся интенсивность поступления биогенных элементов, проточность, морфометрические параметры озер. Естественно, что признаки этого процесса наблюдаются прежде всего в небольших и мелководных озерах, но в глубоких они более устойчивы благодаря значительной мощности гиполимниона.

В литературе приводятся многочисленные примеры антропогенных нарушений лимнических экосистем. Еще в конце XIX в. признаки антропогенного эвтрофирования зафиксированы в типично олиготрофном альпийском Цюрихском озере. Они появились в результате усиления коммунальных стоков.

Сведения по антропогенному эвтрофированию собраны по американским озерам в системе р. Св. Лаврентия. Великие озера (общая площадь 245,2 тыс. км^2, объем воды 22,7 тыс. км^3) – крупнейший резервуар пресной воды. В их бассейне сосредоточено 13,5 % населения США и треть

населения Канады. Особенно большая плотность вблизи озер Эри, Мичиган, Онтарио. Огромный объем воды и относительно небольшой водосбор долгое время способствовали сохранению олиготрофных черт озер. Сдвиг экологических систем в последние десятилетия заставил обратить на эти озера внимание специалистов и природопользователей. Наиболее заметны изменения в самом мелководном оз. Эри (средняя глубина 18 м), расположенном в центре района с интенсивно развитым сельским хозяйством. Наименьшие изменения произошли в озерах Верхнем и Гурон, в водосборах которых промышленность развита слабо, лесистость достигает 70–80 %. Антропогенное эвтрофирование озер Северной Америки – серьезная угроза качеству воды во внутренних бассейнах. Этот процесс ярко выражается в увеличении биомассы синезеленых водорослей, исчезновении и сокращении сиговых, лососевых, корюшковых рыб, понижении прозрачности, повышении содержания в воде минеральных и органических веществ.

Вблизи г. Сиэтл быстро эвтрофируется оз. Грин, которое интенсивно используется в рекреационных целях. Таковы же причины экологических изменений оз. Тахо, занимавшего первое место в мире по чистоте и прозрачности. С начала XX в. неочищенные стоки г. Сиэтл сбрасывались в олиготрофное оз. Вашингтон. Озеро стало эвтрофироваться настолько быстро, что менее чем за 20 лет биомасса фитопланктона увеличилась в нем почти в 20 раз; пришлось строить сбросовые сооружения в залив Пьюджет-Саунд.

Необходимость детального изучения и предотвращения антропогенного эвтрофирования заставила правительства Канады и США выделить особую «территорию экспериментальных озер» в северо-западной части провинции Онтарио площадью около 500 км^2 для проведения долгосрочных исследований (не менее 20 лет) озер, находящихся до сего времени в естественном состоянии.

Основываясь на исследованиях экспериментальной озерной области, американский лимнолог Шиндлер считает, что скорость поступления веществ в озеро пропорциональна площади его водосбора и акватории, т. е. бассейна в целом, а концентрация веществ в самом водоеме обратно пропорциональна объему водной массы.

В работах Фолленвейдера (1970) рассматриваются связи между нагрузкой озера биогенными элементами, его средней глубиной и трофическим уровнем.

Исследования, связанные с антропогенным эвтрофированием водоемов, проводятся Институтом географии АН СССР на оз. Валдайском, Институтом озероведения АН СССР на малых озерах Латвии, лабораториями озероведения и экспериментальной биологии БГУ на озерах Нарочанской группы, Лимнологическим институтом на Байкале и др.

Основоположник этой отрасли лимнологии Л. Л. Россолимо выделяет три основные стадии в развитии антропогенных нарушений озерных экосистем.

Первая стадия характеризуется усилением развития и изменением состава автотрофных гидробионтов, что отражает повышение обеспеченности питательными веществами. Однако это не вызывает заметных нарушений гидрохимического режима. Кислородная кривая еще сохраняет черты олиготрофного и мезотрофного режимов. По данным американского ученого Сойера, летнее «цветение» озер в умеренной зоне начинается при содержании минерального азота 0,3 мг/л, а минерального фосфора 0,01 мг/л.

Вторая стадия отличается высоким и устойчивым уровнем развития фитопланктона с преобладанием синезеленых водорослей и летним «цветением». При этом уменьшается прозрачность воды, увеличивается биомасса некоторых макрофитов, в частности нитчатых водорослей. С увеличением первичной продукции фитопланктона возрастает напряженность окислительно-восстановительных процессов в мета- и гиполимнионе, которая выражается в резкой контрастности распределения газов и минеральных компонентов водной массы. Кислородная кривая приобретает черты эвтрофного типа, ей соответствует и распределение CO_2 по вертикали. В придонных слоях скапливаются восстановленные соединения (железо) и продукты разложения органического вещества, аммонийного азота, сероводорода. На контакте воды и осадков возникает восстановленная микрозона. Изменяется ихтиофауна, исчезают холодолюбивые сиговые и оксифильные бентические беспозвоночные. Все эти процессы протекают при участии специфической бактериальной флоры.

В третью стадию наступают глубокие изменения во всей озерной экосистеме. В первую очередь это сказывается на структуре биоценозов, которые характеризуются более стенотопными организмами. При увеличении общей биомассы фитопланктона прибрежная зона густо зарастает полупогруженными макрофитами. Заметные преобразования происходят и в ихтиофауне, которая становится карасево-линевой.

При дальнейшем усилении процесса не столько увеличивается объем первичной продукции, проявляются показатели загрязнения, которые выражаются в накоплении автохтонного и аллохтонного органического вещества, заморных явлениях, резкой кислородной недостаточности. В этом состоянии озера нередко относят к числу ультраэвтрофных (гиперэвтрофных). Уместно также называть это явление антропогенным дистрофированием (вторичным загрязнением).

Основной причиной антропогенного эвтрофирования служит поступление в водоем таких биогенных элементов, как азот и фосфор. Источники антропогенных эвтрофирующих веществ связаны с хозяйственной деятельностью человека. Для Европы одним из сравнительных показателей распределения азота и фосфора принимается плотность населения и размещение основных сельскохозяйственных угодий. В Западной Европе средняя плотность населения 150 человек на 1 км^2; 30 % ее территории

занимают пашни, 30 % –луга и пастбища, 20 % – леса и 20 % прочие земли. Выделение азота, фосфора в составе продуктов обмена веществ человека, коммунальных, ливневых, рекреационных и других сбросов при такой плотности принимается равным в среднем 0,66 гN и 0,08 гP в год на 1 $м^2$. Важную роль в обогащении питательными веществами играет сельскохозяйственная деятельность человека. В Европе на гектар пашни приходится в среднем 235 кг удобрений, что дает на каждый квадратный метр общей площади 2,3 г азота и 0,5 г фосфора. Количество эвтрофирующих веществ, поступающих с экскрементами сельскохозяйственных животных, оценивается цифрами 7,6 г/$м^2$ азота и 1,4 г/$м^2$ фосфора в год. Из них в водоемы поступает примерно 10–25 % N и 1–10 % P.

Для наиболее урбанизированных и промышленных районов Западной Европы эти цифры выглядят намного заниженными. Например, в Германии среднее количество питательных веществ на 1 $км^2$ поверхности в течение года составляет: коммунальные воды 1 110 кг азота и 266 кг фосфора; продукты обмена веществ человека 1 110 кг азота и 136 кг фосфора; хозяйственные загрязнения 130 кг фосфора; стоки с сельскохозяйственных угодий 2 560 кг азота и 27 кг фосфора. Чтобы рассчитать прогноз антропогенного эвтрофирования, была использована населенность водосбора Великих озер Америки: на водосборе олиготрофного оз. Верхнего за 1900–1960 гг. население увеличилось на 400 тыс. человек, на водосборе оз. Эри, в котором ярко выражено антропогенное эвтрофирование, за этот же период количество населения с 3 млн возросло до 10,1 млн человек.

В связи с интенсивным использованием озер в качестве центров рекреации следует учитывать поступление биогенных элементов с рекреационными стоками. Примером эвтрофирования ультраолиготрофного водоема может служить оз. Тахо в США, продуктивность которого за 4 года (1968–1971) возросла на 25 % в результате усиленного использования озера для рекреационных целей.

Изучение процесса антропогенного эвтрофирования озер Белоруссии затрудняется рядом обстоятельств: большое количество водоемов находится в стадии естественного эвтрофирования, а сведения о режиме мезотрофных озер стали появляться только с конца 50-х гг. XX в., поэтому сравнительная характеристика их охватывает не более 20 лет.

Природные черты и особенности хозяйственного освоения основных озерных районов республики (Поозерья и Полесья) долгое время способствовали сохранению естественного состояния озер. К их числу относятся небольшая плотность населения на водосборах, высокая лесистость и заболоченность низинных пространств.

Заметные антропогенные нарушения лимнических экосистем начали проявляться в последние 15–20 лет, в первую очередь в связи с урбаниза-

цией территории, ростом промышленности и интенсификацией сельского хозяйства. Они коснулись озер, расположенных вблизи городов и принимающих городские коммунальные и промышленные стоки (Браслав, Миоры, Глубокое, Поставы, Мядель и др.). Наряду с этим большое эвтрофирующее (и загрязняющее) воздействие стали оказывать многочисленные предприятия по переработке сельскохозяйственного сырья: мясо-молочные, овощеконсервные комбинаты, льнозаводы, потребляющие воду из озер и сбрасывающие ее (нередко без очистки) обратно в водоемы. В результате этого озера приобретали черты гиперэвтрофных. Менее заметное, но широкое распространение получило антропогенное эвтрофирование, связанное с поступлением питательных веществ с пахотных территорий. В Витебской области, например, при общей площади 40,1 тыс. км^2 1,2 млн га приходится на пашни и 700 тыс. га – на сенокосы и пастбища.

Самая высокая степень антропогенных нарушений отмечается в мелководных гиперэвтрофных водоемах. Нарушения выражаются в частых зимних заморах, сильно щелочной реакции воды в период «цветения», повышенной минерализации и резких ее колебаниях, большом количестве фосфора и азота. Например, вода оз. Великого (в черте г. Глубокое) мутная, с неприятным запахом и цветностью больше 100°, окисляемость ее около 27 мгО^2/л, биомасса фитопланктона превышает 50 г/м^3. В 1974 г. в озере было очень много фосфатов – 3,568 мг/л. Озеро Ковальки вблизи города Поставы отличает высокой минерализацией. Летом в нем содержится 500 мг/л минеральных веществ, прозрачность составляет не более 0,5 м, биомасса фитопланктона превышает 55 г/м^3. В 1973 г. количество фосфатов (PO_4) в озере повысилось до 0,53 мг/л.

Озеро Забельское в Глубокском районе имеет большую нагрузку биогенных веществ за счет коммунальных стоков и стоков крупной птицефермы. Мутная вода, неприятный запах, сильно щелочная (pH > 9,5) реакция летом, высокая биомасса (24 г/м^3) фитопланктона, содержание PO_4 0,83–0,90 мг/л, аммонийного азота 0,02–0,04 мг/л (июнь 1975 г.) – свидетельства антропогенного загрязнения.

Несколько иначе выглядит процесс антропогенного эвтрофирования в глубоких с признаками олиготрофии озерах. Прежде всего он сказывается в резком разграничении верхней трофогенной области и глубинной трофической. Последняя занимает около половины объема водной массы и характеризуется резким дефицитом кислорода, возникновением придонного восстановленного слоя, иногда появлением сероводорода, исчезновением характерных для многих чистых глубоких озер реликтовых представителей зообентоса. Происходят заметные изменения в составе ихтиофауны, сигово-снетковые озера превращаются в лещево-щучьи.

Озеро Даубле в Браславском районе получает большое количество биогенных элементов вместе со стоками многочисленных ферм. По дан-

ным 1957 г., озеро имело признаки олиготрофии. В настоящее же время прозрачность в нем не превышает 0,8 м, в гиполимнионе в периоды стагнации полностью отсутствует кислород, появляется сероводород. Величина фосфатов достигает 0,8–0,7 мг/л.

Признаки антропогенного дистрофирования появились в глубоком живописном оз. Лесковичи (Шумилинский район), принимающем неочищенные стоки маслозавода и фермы. Это мутная, с неприятным запахом вода, отсутствие кислорода в гиполимнионе, высокое содержание фосфатов. Мало того, озеро сильно загрязняет связанное с ним глубокое оз. Круглик. В последние годы признаки антропогенного эвтрофирования наблюдаются в оз. Долгом (вблизи озера построен животноводческий комплекс).

Антропогенное дистрофирование в оз. Лядно (Лепельский район), принимающем промышленные сточные воды, выражается в резком дефиците кислорода, высоком сероводородном насыщении и очень низкой биомассе фитопланктона (1,5 г/м^3).

Значительное влияние хозяйственной деятельности сказывается также в процессе техногенной трансформации. В этих случаях нарушаются уже сложившиеся взаимосвязи озер и водосбора, нарушается питание, понижается уровень и др. В оз. Ореховском (Малоритский район) в результате мелиоративных работ площадь водосбора уменьшилась в 17 раз. Оно соединено каналом с оз. Олтушским, водосбор которого в связи с нарушением гидрологических условий уменьшается с 301,9 до 47 км^2. Наливное водохранилище при полном отсутствии природного водосбора превращено в наливное водохранилище, коренные изменения произошли в системе оз. Вечелье в Любанском районе, которое в результате мелиоративных болот потеряло водные источники с водосбора и уже в 1930-х гг. питается водными ресурсами р. Оресы.

При условии определенной осредненности показателей озера Белоруссии разделены на три группы с сильной (I), средней (II) и слабой (III) степенью антропогенной трансформации.

В первую группу включены озера, имеющие признаки антропогенного загрязнения городскими, промышленными отходами и сбросами крупных животноводческих комплексов. Вода их непригодна для использования. Средние показатели $БПК_5$>6 мгO_2/л; PO_4>0,1 мгР/л; максимальная биомасса фитопланктона >10 г/м^3.

Вторая группа объединяет большое количество озер средней и малой глубины, расположенных среди распаханных полей, вблизи небольших населенных пунктов. Вода их относительно чистая и может употребляться на культурно-бытовые нужды: $БПК_5$<6 мгO_2/л; PO_4 0,01 – 0,1 мг/л; биомасса фитопланктона 5–10 г/м^3.

Наиболее чистые озера, принадлежащие к III группе, используются для водоснабжения. Обычно это глубокие и удаленные от населенных

пунктов водоемы: $БПК_5$ до 3 мгO_2/л; PO_4 менее 0,01 мг/л; биомасса фитопланктона <5 г/м^3.

Важнейшим индикатором состояния лимнической экосистемы и степени антропогенной трансформации следует считать соотношение биомассы зоо- и фитопланктона за летний сезон. Для водоемов первой группы это соотношение достигает 1:20 и свидетельствует о «перегруженности» экосистемы автохтонным органическим веществом. Во второй группе соотношение резко изменяется в направлении сокращения биомассы продуцентов и возникновения определенного баланса с биомассой зоопланктона 1:5 и даже менее. В озерах третьей группы соотношение биомассы основных групп планктонных организмов характеризует некоторую «угнетенность» фитопланктона и составляет 1:2, 1:0,5.

Одной из важнейших задач современной лимнологии следует считать разработку путей восстановления озерных экосистем, испытавших антропогенное эвтрофирование, а также рекультивацию загрязненных гиперэвтрофных водоемов.

11.3. Трасформация лимносистем под влиянием хозяйственной деятельности

Наиболее подробная характеристика влияния хозяйственной деятельности на экосистемы озер рассмотрены в монографии Б. П. Власова (2004).

Гидротехническое строительство. Говоря о негативных последствиях техногенной трансформации, нельзя не подчеркнуть их положительные черты. К ним, в частности, следует отнести озерные водохранилища, которые созданы в целях энергетических (Браславская ГЭС, Гомельская ГЭС, ГЭС «Дружба народов», «Путь к коммунизму», Лепельская, Лукомльская, Селявская, Тулава, Белозерская), орошения (Мотоль, Любань, Лукомское, Гоща), рыборазведения и рекреация (Освейское, Погост, Харабровка).

Создание озерных водохранилищ приводит к увеличению площади зеркала и дополнительного объема воды, снижению уровня трофности, созданию условий для сомоочищения загрязненных придонных вод при обваловании озерных котловин (Полесье), изменяются морфометрические параметры в сторону сокращения длины береговой линии, а также возникновения четкой и устойчивой температурной стратификации.

Изучение вопросов антропогенных трансформаций около тысячи озерных экосистем позволило выделить наиболее репрезентативные признаки этих явлений и дать им количественную оценку. К числу последних отнесены показатели: биологическое потребление кислорода ($БПК_5$), содержание в воде фосфора минерального (PO_4) и максимальная биомасса фитопланктона в летний сезон.

Основные показатели трансформации озер при создании водохранилищ приведены в табл. 11.3.

Таблица 11.3

Структура геоэкологических факторов, определяющих развитие гидроэкосистемы озер при создании водохранилищ озерного типа (П. С. Лопух , 2001)

Группа факторов	Основные геоэкологические факторы	Показатели (критерии) трансформации гидроэкосистемы
Морфометрические	Увеличение объема воды; изменение соотношения мелководной и глубоководной частей ложа; изменение глубин, показатель удельных затоплений при подъеме уровней	Показатели формы котловин; средний уклон котловин; теплозапас воды, мощность эпилимниона
Морфологические	Характер и выраженность морфологических элементов котловины озера (террас, пойм и др.); контур береговой линии нового водоема; сопряжение морфологических элементов озера и озерного водохранилища	Показатели формы котловин; средний уклон котловин; теплозапас воды
Гидрологические	Вид осуществляемого регулирования; призма сработки; полезный объем; тип проточности; гидродинамические условия (длина разгона волн; длина напорного фронта, др.)	Расчетная мощность эпилимниона; содержание кислорода; индекс запаса
Гидротехнические	Обвалование котловин озер; дноуглубительные работы; принудительная подача воды; укрепление естественных берегов; формирование искусственных пляжей; планировка берегов и ложа; уборка торфяных залежей; добыча сапропелей	Соотношение лимнических слоев; содержание кислорода, форма котловины
Влияние на окружающую среду	Переформирование берегов; подтопления прибрежной территории; изменение животного мира и растительности; микроклимата	Ширина зоны влияния на прибрежную территорию
Изменение в нижнем рельефе	Деформация русла, изменение газового и гидрохимического режимов; температура воды и др.	Расстояние (протяженность) измененного режима вытекающих рек
Изменение природы на водосборе	Изменение структуры сельскохозяйственных угодий на водосборе; установление водоохранных зон; перенос хозяйственных объектов и населенных пунктов; увеличение площади водосбора; санитарные мероприятия на водосборе	Запас кислорода; изменение минерализации воды

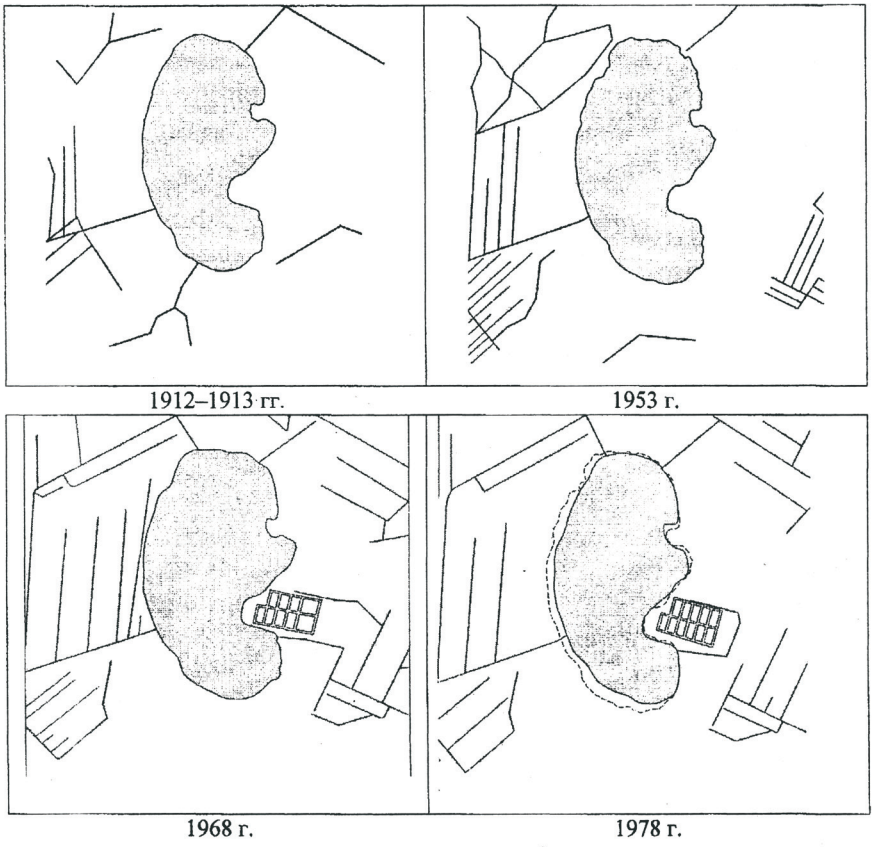
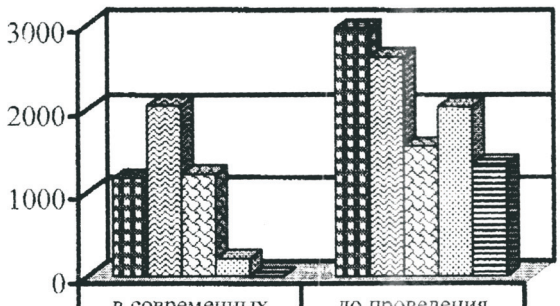


Рис. 11.1. Изменения контуров оз. Вечера
под влиянием мелиораций в XX в.

Влияние осушительных мелиораций. Наиболее существенные изменения озер под влиянием осушительных мелиораций произошли на озерах Вечера, Ореховское, Колдычевское, Червоное. Под влиянием мелиоративных работ озера изменяют морфометрические характеристики котловин, очертания береговой линии, изменяется уровневый режим, водный баланс, гидрохимические и гидробиологические показатели. Существенные изменения в очертаниях озера произошли в оз. Вечера (рис. 11.1). Площадь озера сократилась с 3,24 до 2,46 км^2, длина береговой линии на 0,45 км.

В развитии фитопланктона и зооплантона оз. Вечера отмечено снижение видового разнообразия и увеличение продуктивности альгофлоры. Ухудшение газового режима сказалось на ихтиофауне. Современная ихтиофауна стала более бедной и низкопродуктивной.

Расчет водного баланса оз. Ореховское для различных лет обеспеченности показывает, что основу баланса составляет поверхностный приток с водосбора и атмосферные осадки. В маловодный год преобладают расходная часть баланса. Гидрологические изменения после мелиорации вызваны снижением доли притока с водосбора (рис. 11.2).



	в современных условиях	до проведения мелиорации
Приток к озеру (тыс. $м^3$)	1179	2972
Потери на испарение (мм)	2053	2629
Осадки (мм)	1217	1562
Отток из озера (тыс. $м^3$)	211	2045
Накопление (+), сработка(-) озера (тыс. $м^3$)	-132	1350

Рис. 11.2. Изменение водного баланса оз. Ореховское под влиянием мелиораций (по Б. П. Власову, 2004)

Многолетняя динамика и тренды основных компонентов минерализации оз. Червоное свидетельствует о снижении окисляемости и цветности, биогенных элементов и содержания органического вещества.

В целом широкомасштабные мелиорации негативно сказываются на гидрологическом режиме озер.

Влияние сельскохозяйственного производства на озера. Сельскохозяйственное производство, расширение пахотных земель, внесение удобрений в XX в. привело к усилению процесса эвтрофирования озер. Пик интенсивности воздействия сельского хозяйства пришелся на 1980–1990 гг. Последние десятилетия прошлого столетия отмечались спадом сельского хозяйства и снижением притока биогенных и других химических веществ в озера. Строительство крупных животноводческих комплексов создало экологические проблемы, важнейшая из которых – утилизация отходов. Рыбохозяйственная деятельность сказывается в основном на изменении видового состава и продуктивности ихтиофауны, изменении водного баланса озера в связи с забором воды для рыбоводных прудов (Червоное, Луково, Погост и др.).

Качество воды, сбрасываемой после ее использования в рыбоводном цикле, не влияет на качество вод озер. Вместе с тем наиболее сильное влияние на озера оказывают садковые комплексы (озера Белое и Лукомское). Так, например, фосфорная нагрузка на оз. Белое превышает более чем в 70 раз, внутренняя – в 22 раза, а внешнее поступление в 50 раз превышает допустимую величину.

Хозяйственно-бытовое загрязнение и рекреация. Хозяйственно-бытовые и сточные воды с территории населенных пунктов имеют минерализацию от 600 до 2000 мг/л, а в отдельных случаях в районах плотной застройки до 4000 мг/л. Наиболее сильному загрязнению подвержены озера Лепельское, Миорское, Великое, Кагальное, Сенно. В озере Великое общая минерализация за последние 30 лет возросла на 37–65 %, в Лепельском – с 240 до 397 мг/л- с 276 до 370 мг/л. Увеличение минерализации произошло в основном за счет увеличения натрия, хлора, сульфатов при незначительном увеличении гидрокарбонатов, кальция и соединений азота.

При воздействии рекреационной нагрузки в озерах увеличивается биогенная нагрузка. Наибольшую нагрузку испытывают водоемы, представляющие собой крупные для Беларуси рекреационные центры (озера Нарочанской, Браславской групп, озера Белое, Должа, Свитязь).

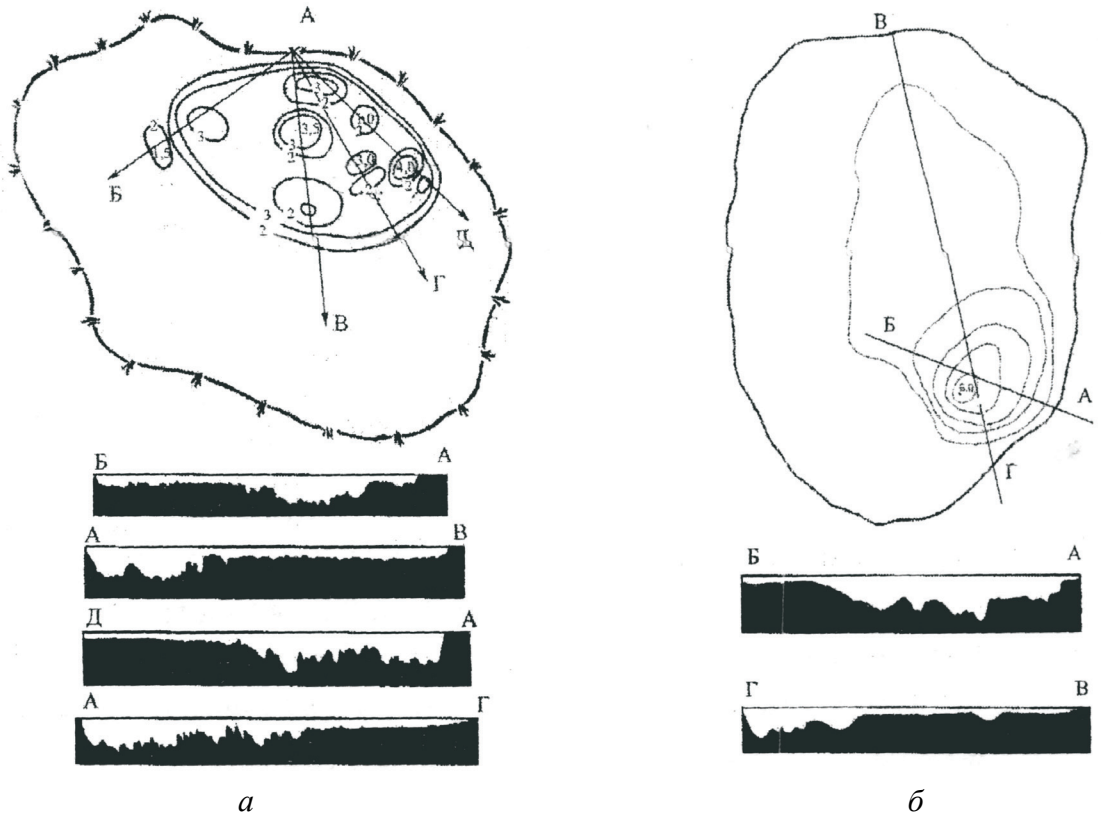
Годовое поступление от неорганизованных туристов на оз. Нарочь составляет 65 кг фосфора и 210 кг азота, от организованных туристов поступает 770 кг азота и 82 кг фосфора. Общее годовое поступление в озеро от рекреационной деятельности составляет около 1 т азота и 0,15 т фосфора.

Промышленное производство. Сточные воды льнокомбинатов Беларуси образуются при обработке льна при подготовке мочильной жидкости, промывке и искусственном увлажнении тресты (Плисский, Лепельский, Миорский, Браславский, Поставский, Шумилинский и Ушачский районы). Основным загрязняющим веществом являются продукты биохимического разрушения органических веществ льняной соломки. Состав и концентрация загрязняющих веществ вод заводов перерабатывающей промышленности (Лепельский и Миорский молочные заводы, Браславский овощесушильный заводы) зависят от особенностей технологического процесса производства и ассортимента выпускаемой продукции. Сточные воды содержат большое количество органических веществ – белки, жири, углеводы, а также загрязнения от мытья тары, оборудования и полов.

Пылегазовые выбросы промышленных агломераций являются одним из наиболее распространенных источников загрязнения (Могилев, Гродно, Новополоцк, Минск, Гродно, Орша, Жлобин). Промышленные предприятия выбрасывают в атмосферу более 25 видов химических веществ различной токсичности.

Наиболее существенные изменения в экосистемах озер происходят в случае теплового загрязнения (озера Лукомское, Белое, Черное).

Трансформация озер под влиянием изъятия ресурсов. Рыболовство оказывает влияние на изменение видового состава и продуктивности ихтиофауны. Вылов рыбы имеет тенденцию к уменьшению. С 1946 по 1951 г увеличение уловов было связано с интенсификацией рыболовства.



а *б*

Рис. 11.3. Изменения глубин озер Бецкое (*а*) и Судобле (*б*) в результате добычи сапропелей

После 1951 г. уловы стабилизировались, а затем отмечалось ее постепенное снижение. С начала 1960-х гг. соотношение изменилось в сторону увеличения количества ценных видов в результате систематического зарыбления озер карпом, сазаном, судаком, угрем, пелядью. Основу уловов (до 80 %) ценных видов рыб составляет лещ, щука. Послевоенная ихтиофауна включала около 60 видов рыб, в их числе 45 видов представляли аборигенную ихтиофауну, 14 видов завезены с других географических регионов для акклиматизации и зарыбления.

Добыча сапропелей рассматривается как основной способ восстановления озер или разработка экологически безопасных технологий, которые можно использовать как способ восстановления заиленных и загрязненных озер. При добыче сапропелей происходит коренная перестройка ложа озерных котловин, создаются озерные водохранилища применением других способов: обвалование, подъем уровня воды (рис. 11.3).

ГЛАВА 12

ХОЗЯЙСТВЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЗЕР

12.1. Общая характеристика природно-ресурсного потенциала озер

В современных условиях хозяйственная деятельность исключает озера из сферы хозяйственного использования. Проблема состоит в том, чтобы использовать их наиболее рационально, сохранив ресурсы и создав условия охраны озерного фонда от загрязнения. Результаты многолетних исследований, выполненных Лабораторией озероведения БГУ, позволили определить несколько направлений для решения этих задач в настоящее время и в перспективе. Естественно, получают дальнейшее развитие наиболее древние направления использования озер – водопотребление и рыболовство.

Озера – хранилища и источники чистой воды для питьевого и хозяйственного использования. Сложность состоит в величине изымаемого объема. Следует особо подчеркнуть целесообразность сохранения естественного уровня водоемов. Водные ресурсы изученных озер слагаются из общей площади 861,71 км^2 и объема водной массы 4260 млн м^3. Призма ежегодной сработки за счет межсезонной амплитуды колебания уровня в среднем 0, 4 м, составляет 350, 5 млн м^3 (табл. 12.1).

Для целей промышленного водоснабжения и энергетики в условиях Белорусского Поозерья большое распространение получает искусственный подъем уровня и создание озер-водохранилищ, что во многих случаях облегчается морфометрическими особенностями котловин, имеющих значительные глубины, крутые склоны, сложенные водоупорными породами. Подъем уровня способствует повышению водообменности, улучшению газового режима и общему омоложению лимносистемы. Положительным примером могут служить озера Ушачской группы, подпруженные при сооружении Гомельской ГЭС – озера Яново, Паулье; озера группы Обстерно – Нобисто, Укля, Обстерно. Вместе с тем для сохранения естественного режима подъем уровня не должен превышать 1–1,5 м, в противном случае резко нарушаются морфометрические параметры, трансформируется литоральная зона как место нерестилищ и произрастание макрофитов. Отрицательно сказывается подтопление и даже заболачивание

прибрежной полосы, усиление абразии и аккумуляции, а также притока биогенных и загрязняющих веществ. В этом отношении показателен пример оз. Лепельское.

В условиях мелкоконтурности рельефа и сельхозугодий издавна наблюдалось стремление искусственного понижения уровня озер в целях осушения прилегающих заболоченных участков водосбора.

Таблица 12.1

Призма ежегодной сработки, площадь водной поверхности, объем водной массы, запас сапропелей озер территории Белорусского Поозерья (межсезонная амплитуда колебаний уровня – 0,4 м)

Административный район	Количество озер	Призма ежегодной сработки (млн $м^3$)	Площадь озер ($км^2$)	Объем воды, (млн $м^3$)	Объем сапропелей, (млн $м^3$)
Бешенковичский	17	5,17	12,91	85,59	10,20
Браславский	75	69,61	173,55	948,50	176,74
Верхнедвинский	8	30,92	77,95	164,65	103,80
Витебский	15	7,32	14,18	56,13	22,10
Глубокский	13	10,26	17,86	137,43	54,30
Городокский	38	26,76	66,89	327,74	86,00
Лепельский	45	12,57	31,44	152,03	51,60
Миорский	32	16,64	41,53	149,18	69,79
Полоцкий	63	23,64	59,07	213,51	118,19
Поставский	24	4,14	10,45	48,63	18,50
Россонский	29	25,39	63,50	213,79	30,30
Сенненский	11	5,71	14,28	74,02	8,0
Ушачский	66	28,97	70,01	326,93	187,95
Чашницкий	22	22,13	55,34	292,88	65,02
Шумилинский	8	2,26	5,65	19,29	16,30
Мядельский	14	57,44	143,6	1030,2	109,7
Островецкий	11	1,64	4,1	16,0	11,9
Всего	497	350,57	861,71	4260,5	1141,39



Рис. 12.1. Структура ресурсной классификации озер
(по Б В. Власову, 2004)

Известен в этом отношении опыт значительного (более 2-х метров) понижения уровня Браславской озерной системы в 1929–1930 гг. Для восстановления и стабилизации режима уровень озер частично восстановлен в 1950-е гг. с помощью небольшой плотины на р. Друйке. Как правило, понижение уровня, особенно в целях сброса мелиоративных вод, неблагоприятно сказывается на режиме лимносистемы и ставит озера под угрозу загрязнения и прямого исчезновения.

В перспективе значительное число озер-водохранилищ, по-видимому, будет использовано в качестве водоемов-охладителей тепловых и атомных станций. Уже отмечались характерные черты теплового загрязнения для небольших озер Берзовской станции – Белое и Черное в Полесье. Пример использования в этих целях относительно крупных озер (Лукомское, Дрисвяты) свидетельствует о возможности стабилизации их режима при условии принятия охранительных мероприятий.

Рациональное использование природных ресурсов озер связано с добычей сапропелей, запасы которых в изученных озерах превышают 2,8 млрд $м^3$ при общих запасах по республике 3,7 млрд $м^3$. Добыча сапропелей производится на мелководных дистрофирующих и гипертрофных водоемах при условии сохранения 1–1,5-метрового нижнего слоя осадков. Извлечение сапропелевых отложений принципиально меняет все стороны сложившейся лимносистемы: гидрологические и морфологические черты, накопительную и продукционную способность. Как правило, увеличение глубин и объема водной массы даже при условии понижения уровня, изъятие высокоограниченного пелогена оказывает благотворное, очистительное влияние. Однако одновременно обогащение водной массы биогенами при взмучивании сокращает прозрачность, последующее повышение продукционных процессов вызывает ухудшение газового режима, появление в зимний сезон анаэробных условий. Изменения в прибрежной зоне связаны с нарушениями флористического состава растительных сообществ, нередко с разрушением полосы макрофитов и прямым загрязнением отходами добычи. Таким образом, добыча сапропелей должна производиться не только в целях получения ценного органического сырья, но и омоложения мелководных озер разного трофического статуса, а также сохранения благоприятного экологического состояния прилегающих угодий.

Говоря о важнейших природных ресурсах Белорусского Поозерья, нельзя не упомянуть об исключительной живописности озер в сочетании со своеобразным обликом рельефа, окружающими лесами и болотами. Использование таких районов в целях рекреации относится к числу наиболее перспективных, учитывая благоприятные экологические условия. А также увеличение плотности населения в связи с переселением из чернобыльской зоны. Однако нельзя не отметить, что, за небольшим исключением, состояние

«рекреационной индустрии» находится на очень низкой ступени и ограничивается наплывом в летнее время организованных туристов и в лучшем случае созданием плохо организованных туристических и детских лагерей.

Скопление в зоне пляжей большого количества отдыхающих создает реальную угрозу стабильному состоянию лимносистемы. Достаточно знать, что каждый купающийся вносит в озеро в среднем 106 мг фосфора. Рекреационные центры нуждаются в глубоком экологическом обосновании; разумном ограничении количества отдыхающих, обеспечении эстетических и санитарных условий отдыха при обязательном условии охраны самого водоема. В прибрежной зоне оз. Нарочь, например, в летний сезон скапливается около 80 тыс купающихся, а по имеющимся нормативам их число не должно превышать 30 тыс.

Из сказанного выше возникает вывод, что значительная часть (около 8–10 %) изученных водоемов испытывает значительный антропогенный пресс за счет поступления биогенных и загрязняющих веществ из точечных источников – городских стоков, ферм, промышленных предприятий и т. п. Такие водоемы включены в I группу и на 80–100 % потеряли естественные черты, перейдя в стадию гипертрофных. Процесс восстановления и рекультивации таких водоемов достаточно длительный и требует теоретических и практических разработок для каждого конкретного случая. Меры по восстановлению касаются как преобразования водосбора, так и самого озера. Работы по облагораживанию малого водосбора связаны в первую очередь с уничтожением источников загрязнения и эвтрофирования; созданием и сохранением лесокустарниковых и болотно-луговых полос шириной не менее 100 м. На основной части водосбора необходимо максимальное сокращение пахотных культур в пользу многолетних трав. Важно также повышение проточности и водообменности за счет очистки и сохранения естественного режима впадающих и вытекающих проток.

Основные меры рекультивации самого озера сводятся к созданию в водной массе постоянной окислительной среды, обеспечивающей самоочищение при отсутствии источников загрязнения. Опыт техногенного воздействия для этих целей сводится к нескольким приемам. Перемешивание и термическая дестратификация для выравнивания содержания кислорода по глубине и уменьшения температуры поверхностного слоя летом (санация водоема). Аэрация, или кислородное насыщение, с помощью искусственного нагнетания воздуха в гиполимнион (пневматическая аэрация). В этом случае температурная стратификация не разрушается и биогены не попадают из придонных слоев в зону эпилимниона. В некоторых мелководных рыбоводных прудах нашей республики используются механические аэраторы «Ерш», СВИП для поддержания оптимального кислородного режима. Физические манипуляции для регулирования лим-

нических процессов выбираются в зависимости от трофического уровня, морфометрии котловины, термической структуры, внешнего водообмена. Мелководные озера, отнесенные к I и II группам по степени антропогенного эвтрофирования, нуждаются в зимней аэрации. Для глубоких озер с высокой степенью антропогенной трансформации необходимы кислородное насыщение гиполимниона в летний сезон и зимняя аэрация.

Из числа обследованных НИЛ озероведения Белгосуниверситета в мерах по рекультивации нуждается более 55 озер. Из них 67 % мелководные, 33 % глубокие и неглубокие.

12.2. Природно-хозяйственная классификация озер

Классификация предназначена для объединения в хозяйственно значимые группы водоемов, различающихся природно-ресурсным потенциалом и его хозяйственным использованием: водных, минеральных, биологических, рекреационных, энергетических и информационных. Оценка хозяйственного использования водоемов базируется на нескольких тематических признаках. В качестве основных признаков выделяются: 1) тип потребляемых ресурсов; 2) качество ресурсов; 3) степень и объем потребления (частичное, полное).

В зависимости от вида потребляемых ресурсов озера можно разделить по видам использования: водопотребление, водопользование, рыболовство, рыбоводство, рекреация, гидрохимическая мелиорация, добыча сапропелей, добыча растений и животных (рис. 12.2).

По степени и объему использования ресурсного потенциала можно выделить: отсутствие использования, частичное использование, комплексное (многофункциональное) (рис. 12.3).

Составляющими частями природно-хозяйственной классификации являются объект классификации (ресурсы озер), природная классификация, хозяйственные классификации. В основу положены объем, тип природных ресурсов озер, вид, степень использования и потребления, показатели изменения природных ресурсов озер, оценка природно-ресурсного потенциала озер республики позволили выявить группы озер, в которых преобладающим видом ресурсов являются: рыбные (31,0 %), сапропелевые (30,0 %), водные (24,7 %), информационные (8,7 %), рекреационные (4,6 %, энергетические (1 %). По структуре природно-ресурсного потенциала (ПРП) доля озер, имеющих простой ПРП, – 86,4 %. Из общего количества изученных 64,4 % озер имеют малый, 19 % – средний и 16,6 % – большой потенциал. По качеству ПРП преобладают озера среднего качества – 70,6 %, высокое качество имеют 17,5 %, низкое – 11,9 %.

Настоящие классификации позволяют разработать рекомендации по приоритетным направлениям хозяйственного использования озер и мерам охраны и резервирования их ресурсов.

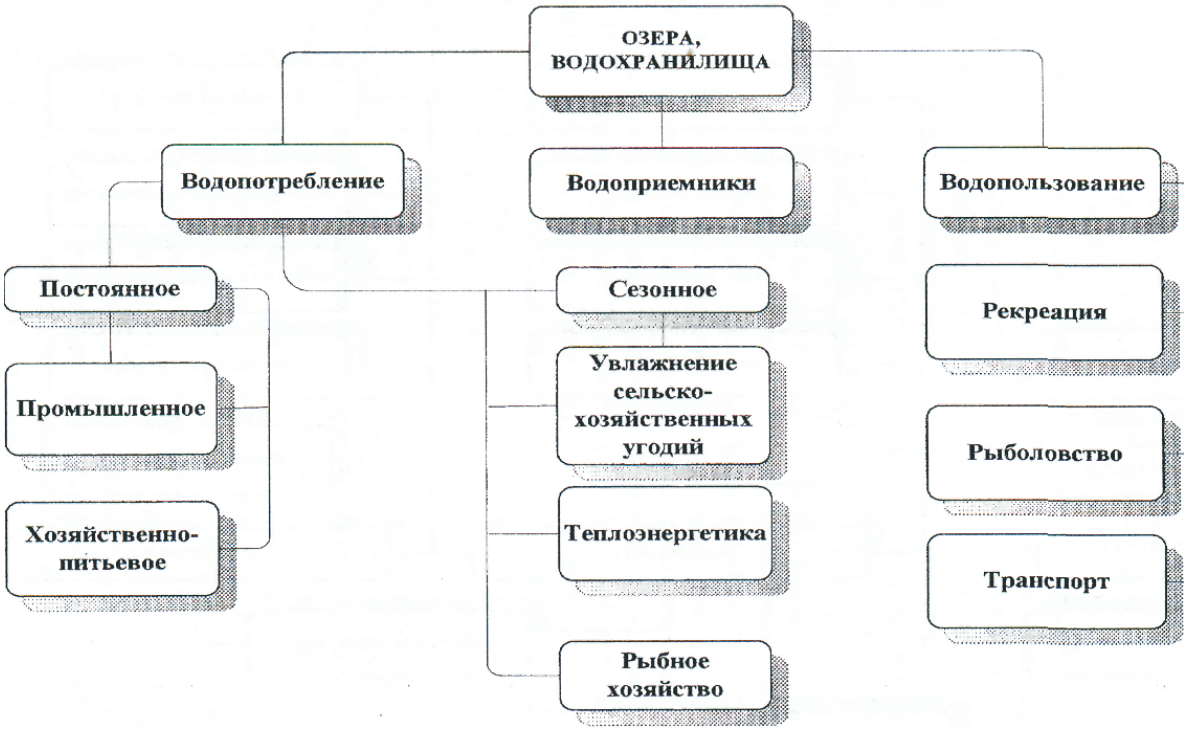


Рис. 12.2. Классификация озер по характеру водопользования и водопотребления (Б. П. Власов, 2004)



Рис. 12.3. Структура хозяйственной классификации озер (Б. П. Власов, 2004)

12.3. Современное хозяйственное использование озер

Озера обладают способностью быстро реагировать на любые изменения внешней среды, в том числе и искусственные (случайные или целенаправленные). Для проявления последствий таких изменений иногда требуется всего несколько лет. Эта особенность озер облегчает прогнозирование мероприятий по их использованию и одновременно позволяет учитывать возможность неблагоприятного влияния хозяйственной деятельности.

Влияние антропогенного фактора на режим озер Беларуси распространено достаточно широко. Вне прямого воздействия человека находятся лишь озера, расположенные в заповедниках и заказниках, однако их водосборы нередко располагаются в зоне хозяйственной деятельности.

Наиболее древними и распространенными видами использования озерных водоемов человеком следует считать бытовое водопотребление и рыболовство. Города и многочисленные населенные пункты республики издавна строились вблизи озер, которые служили для населения источником воды и рыбы. К числу таких городов относятся Браслав, Глубокое, Миоры, Лепель, Мядель, Сенно и др. Эта статья использования озер сохраняет свое значение и сейчас, однако влияние деятельности человека на их режим приобрело активный характер.

Современное использование озер имеет несколько направлений: в мелиоративных системах, сельскохозяйственном производстве, в коммунальном городском хозяйстве, в энергетике, для добычи сапропелевого сырья, для организации на базе озер рекреационных центров.

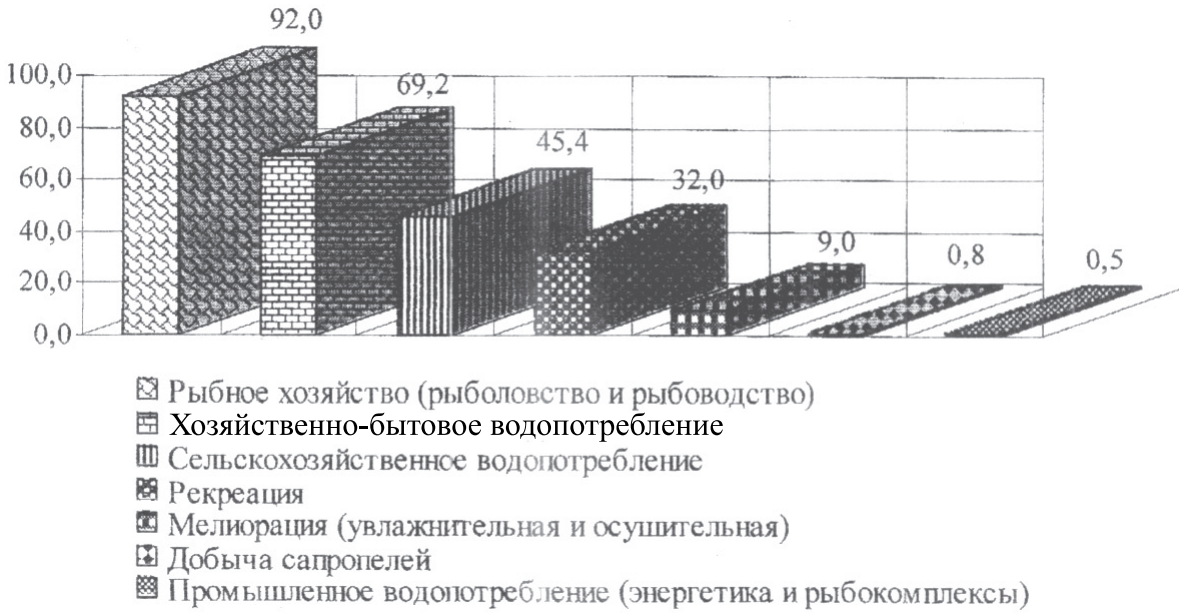


Рис. 12.4. Хозяйственное использование озер, % (по Б. П. Власову, 2002)

В настоящее время в нашей стране трудно отыскать озерную группу, не затронутую мелиоративными мероприятиями. В начале 1930-х гг., а затем в 1950-е гг. массовое распространение получило понижение уровня водоемов в целях осушения близлежащих луговых и пастбищных массивов. Нередко эти работы проводились в узко местных интересах.

С начала 1960-х гг., когда мелиоративные работы в республике были поставлены на научную основу, использование озер в этих целях потребовало серьезного изучения и подготовки каждого из них.

Сброс болотных вод в озеро предусматривает понижение уровня с помощью выводных каналов, спрямления русел и углубления дна вытекающих из него речек. При этом изменяются морфометрические параметры озера.

В гидрологическом аспекте наблюдаются нарушение проточности, изменение газового режима, особенно в мелководных озерах. Приток болотных вод способствует увеличению кислотности, окисляемости, цветности, снижению минерализации и в конце концов ведет к дистрофированию. Озеро Густата (Миорский район) может служить примером искусственного дистрофирования высокоэвтрофного озера. В результате значительного понижения уровня широкая прибрежная полоса озера превратилась в непроходимое болото. Лишь в центре сохранились «окна», где глубина достигает 1,5–2 м. Озеро практически потеряло свое значение как источник воды и рыбы. После осушения прилегающего к оз. Вечера (Любанский район) болотного массива для поддержания в озере хотя бы минимального уровня вода насосами подается из р. Ореccы. Глубокие изменения режима озера Червоного – также результат мелиоративных работ. Отрицательные последствия таких работ в той или иной степени проявились в озерах Пазушное, Лезвинка, Черствяты, Савонар, Ореховское, Тетерка, Островиты и др.

В Беларуси имеются примеры искусственного подъема уровня озер и создания водохранилищ с помощью строительства небольших плотин на вытекающих из озер реках. В первую очередь это связано со строительством гидроэлектростанций – озера Яново, Лепельское и др. С точки зрения общих законов лимнологии повышение уровня способствует «омоложению» озер, за исключением тех, которые занимают очень плоские котловины (например, в Полесье). Однако надо иметь в виду, что подъем уровня может вызвать повышение горизонта подземных вод, оглеение почв на прилегающих участках водосборов, усиление эрозии и абразии.

Озера Северной Беларуси, чаще всего занимающие глубокие котловины, удобны для создания водохранилищ. Перспективны в этом отношении озера группы Сарро, Будовичи, Зароновское, Бобыничи, Свиты, Ушачские,

Глубокские и др. Они могут быть использованы также для межбассейновой переброски вод.

В 1968 г. с помощью невысокой плотины на р. Храбровке был поднят на 1 м уровень озер группы Обстерно. Уже через 4 года среднеглубокие эвтрофные озера приобрели черты мезотрофных, а мелководное сильно загрязненное озеро Нобисто превратилось в высокоэвтрофный водоем.

Есть основание считать, что сохранение установившегося режима некоторых озер Ушачской группы в значительной степени обязано искусственному подъему их уровня.

В послевоенные годы увеличилось количество озер, испытывающих тепловое загрязнение при использовании их в качестве бассейнов-охладителей тепловых электрических станций. Это Ореховское (БелГРЭС), Белое и Черное (Березовская ГРЭС), Лукомское (Лукомльская ГРЭС).

Естественный режим озер-охладителей тепловых станций существенно нарушен. В зависимости от конкретных условий такие озера по-разному реагируют на техногенное воздействие. Небольшое оз. Белое потеряло свой естественный облик после очистки от сапропелей. Содержание сульфатиона за 18 лет наблюдений возросло почти в 20 раз. Использование воды на охлаждение пара турбогенераторов заметно повысило содержание меди.

Тепловое загрязнение выразилось в резком увеличении биологической продуктивности. В результате наблюдаются резкое ухудшение санитарного и технического качества воды, массовое развитие фитопланктона (50–60 г/м^3), изменение гидрохимического режима и другие явления, связанные с увеличением трофности озер в условиях повышенной температуры. Исчезновения ледяного покрова и появление черт тропических водоемов.

Техногенные нарушения естественного состояния слабоэвтрофного озера Лукомского выразились в уменьшении степени трофности и появлении через 10 лет ряда признаков, свойственных мезотрофным озерам: увеличилась прозрачность, снизились окисляемость и показатели биомассы фито- и зоопланктона и т. д. Это временное своеобразное «омоложение», или «очищение», озера, по-видимому, обусловлено резким сокращением его водообменности в связи с созданием оборотной системы водопользования и слабым поступлением свежей воды с водосбора.

Добыча сапропелей и использование их в народном хозяйстве имеют большие перспективы. Работы в этом направлении выполняются на мелководных озерах со значительными запасами сапропелевого сырья: Червоное, Судобля, Сергеевичское. В перспективе количество таких озер увеличится. Однако добыча сапропелей нарушает естественное состояние озерной экосистемы, загрязняет береговую полосу. Это вызывает понижение уровня, обеднение водоема питательными веществами, изменение мест обитания бентальных организмов и высших водных растений. Вместе с

тем извлечение определенного слоя органических сапропелей способствует омоложению высокоэвтрофных озер, улучшению их газового режима, сокращению содержания органического вещества в воде и т. д. Процесс очищения от сапропелей требует предварительного изучения озера и соблюдения охранных норм.

Озера все чаще становятся центрами районов рекреации. Это один из рациональных видов их использования. Однако скопление большого количества отдыхающих и туристов в сравнительно короткий летний период значительно усиливает антропогенную нагрузку на озера. Г. С. Шилькрот (1975) приводит цифры Сампля, который рассчитал, что каждый купающийся вносит в водоем 75 мг фосфора и 695 мг азота. Чтобы избежать эвтрофирования, на каждого купальщика должно быть не менее 160–200 м^2 озерного зеркала. В Советском Союзе охранные меры применяются для ряда глубоких, чистых, пользующихся популярностью у туристов озер. Это оз. Рица на Кавказе, Иссык-Куль на Тянь-Шане, Байкал в Сибири, Нарочь в Беларуси. В районе оз. Нарочь создан крупный курортный центр. Для этого предусмотрено изучение состояния нарочанской экосистемы и разработка мер по охране озера от антропогенного эвтрофирования и загрязнения. Озера Браславской группы включены в состав национального парка «Браславский». Большие работы рекреационного плана предполагаются в бассейне группы Ушачских озер и других озерных групп.

ГЛАВА 13

ГЕОГРАФИЯ КРУПНЕЙШИХ ОЗЕРНО-РЕЧНЫХ СИСТЕМ БЕЛАРУСИ

Ушачская озерная система. Одна из крупнейших озерных систем Беларуси, включающая более 100 водоемов, принадлежит бессейнам двух левых притоков Западной Двины – рекам Ушача и Дива. Расположение в Ушачском, Полоцком, Лепельском районах. Водосборы обеих рек заметно различаются в природном отношении и разделяются примерно пополам шоссе Минск–Полоцк.

Река Дива, начинаясь из оз. Урода, течет по широкой заболоченной низине с юга на север. Пересекает ряд крупных озер: Столово, Березовское, Паульское, Яново. На выходе из Яново у д. Турженец в 1952 г. была построена плотина Гомельской ГЭС. Которая подняла уровень озер Яново, Паулье, Березовкое менее чем на 1,0 м. Плотина сохранилась до настоящего времени, где по настоящее время работает Гомельская ГЭС. Ниже плотины река впадает в оз. Гомель. Выходит из него под названием Туровлянка и, пройдя через озера Суя и Туровля, впадает в Западную Двину. Система озер, таким образом, вытянута с северо-запада на юго-восток на расстоянии 40–45 км.

Водность реки небольшая. Вблизи впадения в оз. Яново средний расход около 4,5 $м^3$/с. С многочисленными озерами бассейна она соединяется небольшими протоками и ручьями.

Озера бассейна р. Дивы расположены на границе Ушачско-Лепельской возвышенности и Полоцкой низины. После отступания последнего ледника здесь сформировался усложненный холмисто-моренный рельеф, сложенный тяжелыми валунными суглинками и водно-ледниковыми песками. Разнообразие рельефа способствует мелкоконтурности почвенно-растительного покрова и сельскохозяйственных угодий.

Территория отличается незначительной лесистостью – не более 20 % площади водосборов озер, относительно высокой заболоченностью – более 20 %. Пашни и выгоны занимают 35–40 %, однако площадь распаханных участков не превышает 5–6 га. Многие болота отчасти мелиорированы еще в начале 1950-х гг. с помощью углубления и спрямления проток и речек, соединяющих озера. В результате уровень понизился на 1,0–1,5 м. В оз. Усвея добывается сапропель. Мелиоративные работы выполне-

ны на примитивном уровне. Негативное влияние на озеро оказало также строительство животноводческих ферм. Многочисленные деревни и фермы являются серьезными источниками загрязненных вод, тем более что большинство озер не имеет водоохранных полос. В большинстве озера не защищены и от стоков биогенных веществ с распаханных территорий, что также способствует быстрому эвтрофированию и старению экосистем. Несмотря на указанные негативные факторы, озера бассейна р. Дивы сохранили относительно чистую воду и статус слабоэвтрофных и эвтрофных лимносистем. Единственное наиболее глубокое оз. Кривое с очень чистой водой является республиканским заказником, благодаря уникальным ландшафтам и распространению редких и исчезающих видов фауны (снеток) и флоры (полушник озерный, гидрилла мутовчатая), занесенных в Красную книгу.

Благодаря богатым рыбным запасам озера перспективны для развития рыболовства, а также туризма и рекреации, однако они нуждаются в создании водоохранных зон, в ограждении от источников загрязнения и искусственного понижения уровня.

Ушачские озера в бассейне р. Ушачи образуют систему, вытянутую вдоль долины почти с севера на юг на расстоянии до километра. В среднем течении озера не пересекаются (не дренируются) рекой, сохраняя слабую проточность: Вечелье, Должина, Барковщина, Волчо. Для верхнего течения характерно включение озер непосредственно в русло реки. Большинство из них богато рыбой и отличаются высоким качеством воды. В отличие от бассейна р. Дивы водосборы озер здесь характеризуются значительным процентом (более 30 %) лесов и болот. Некоторые водоемы практически полностью окружены лесами и заболоченными лесами: Замошье, Должина, Церковище, Полозно. В центральной части водосбора озер мало и заболоченные территории нередко мелиоративны.

Единственный значительный населенный пункт – г. Ушачи. Неочищенные стоки его коммунальных и промышленных предприятий поступают в реку и далее вниз по течению – в озера. Нельзя не отметить, что одно из глубоких мезотрофных озер – Вечелье – испытывает значительное загрязнение отходами расположенного на берегу льнозавода.

В перспективе система озер и реки может служить основной создания крупного рекреационного центра и рыболовства. Не лишне отметить, что наиболее живописные и чистые глубокие озера, как правило, слабо проточны и весьма неустойчивы к антропогенным воздействиям.

Озеро Вечелье входит в рекреационную зону «Лесные озера» и сокращение лесного фонда за счет мелиорации водосбора и расширения сельскохозяйственных площадей крайне нежелательно, так как может снизить рекреационный потенциал территории.

Озеро Гомель расположено в северной части бассейна р. Дивы. Котловина подпрудного типа имеет форму неправильного овала, слегка суженного в средней части. Склоны в основном высокие и крутые, у д. Гомель они достигают 40 м над уровнем озера. На северо-востоке склоны осложнены камами, насаженными на моренные суглинки, а также дюнно-бугристыми формами. Впадающая на юго-юго-востоке р. Дива вытекает из озера на востоке-юго-востоке. Поэтому хорошо проточным является лишь южный (большой) плес, северный же малый плес отличается слабой проточностью. По генетическому типу озеро относится к слабоавтрофным. Прозрачность летом колеблется около 2 м, цветность не более 20–30º. О чистоте воды свидетельствует высокое содержание кислорода во всей толще воды, небольшое присутствие ионов хлора и сульфатов, низкие показатели окисляемости (607 мг/л). Характеризует лимносистему также небольшая мощность озерных отложений, представленных главным образом глинистыми илами, а на средних глубинах сапропелем кремнеземнистым. Источниками эвтрофирования оз. Гомель являются сбросы соседних деревень (д. Гомель) и прилегающих сельскохозяйственных угодий. Сохранение водоема требует организации водоохранной зоны. Живописность ландшафтов позволяет организовать здесь центр рекреации.

Озеро Черствятское наиболее крупное из водоемов Ушачской системы. Его овальная котловина расположена параллельно основной линии р. Дивы и соединяется с оз. Паульское небольшой речкой Горбатицией, по которой осуществляется сток. С юга в озеро впадает речка Выдрица, которая дренирует значительные мелиорированные болотные массивы и осуществляет сброс болотных вод в озеро. Об искусственном понижении уровня свидетельствует заболоченная пойма и пологая поверхность надпойменной террасы на высоте 1–1,5 м, занятой в основном под огороды.

Площадь водосбора оз. Червятское 162 км^2. Рельеф пологоволнистый, сложен моренными суглинками, на отдельных участках – камовыми песками. Болота составляют более 21 % площади и непосредственно примыкают к озеру. Заболоченные леса и кустарники занимают около 28 % и расположены по окраинам водосборной площади.

Котловина озера термокарстового типа. Несмотря на небольшие глубины озера, склоны четко обозначены и имеют высоту 10–15 м. Ложе отличается разнообразием, благодаря моренным островам, вытянутым вдоль длинной оси общей площадью 0,8 км^2.

Мелководность озера, поступление болотных вод, а также сброс селитебных территорий создают ряд особенностей его режима, свидетельствующих об усиленном проявлении антропогенного эвтрофирования. Открытость котловины способствует летнему прогреванию и кислородному насыщению водной массы, в том числе за счет процесса фотосинтеза.

Значительные (20–30 г/м^3) биомассы фитопланктона и широкая полоса макрофитов характеризуют высокую степень трофности. В зимний период кислород интенсивно потребляется на дыхание и гниение, что вызывает появление резкого дефицита, а в отдельные годы – заморных явлений. Негативные явления проявляются также в ухудшении состава и количества ихтиофауны. Особенности антропогенного воздействия на гидрохимический режим оз. Черствяты выражается в его низкой прозрачности (около 1 м), повышенной минерализации (до 300 мг/л) и окисляемости (10–12 мг/л), появлении зимой кислой среды в придонных слоях. В целом же состояние водной массы определяется как умеренно-загрязненное. В составе донных отложений преобладают высокозольные кремнеземнистые сапропели и глинистые илы мощностью более 6 м.

Озеро Паульское (Тетча) расположено в центре Ушачской группы и занимает открытую плоскую котловину подпрудного типа.

Преобладают средневысотные склоны (6–8 м), сложенные моренными суглинками, вблизи деревень Передовые и Горбатица они достигают 20 м и представлены камовыми холмами. Неширокая пойма чаще всего заболочена в связи с подтоплением Гомельской ГЭС. Плосковолнистая поверхность водосбора, сложенного моренными суглинками, вблизи озера нередко распахана, леса и болота преобладают на периферии.

При общем округлом рисунке котловины в ее южной части выделяются два узких длинных залива и небольшой остров, основное ложе котловины относительно ровное. Озеро хорошо проточно. Река Дива пересекает его по длинной оси, коме того, на юго-западе впадают небольшие речки Горбатица из озер Черствятское и Веркуды из одноименного озера. Гидромеханические свойства воды характеризуют оз. Паульское как высокоэфтрофное. В летний период вода хорошо прогревается по всей толще и насыщается кислородом. Возникают условия, благоприятные для развития фитопланктона, биомасса которого достигает 40 г/м^3. В это время цветность воды значительная – 40–50°, прозрачность менее 1,5 м, активная реакция среды щелочная (pH > 8). Зимний период характеризуется значительным потреблением кислорода заметным повышением придонных температур за счет теплоотдачи дна. Однако заморных явлений не наблюдается вследствие того, что р. Дива зимой обычно не замерзает. Озеро Паулье, как и другие неглубокие и мелководные озера Ушачской группы, в частности Березовское, богато рыбой и рыболовство является наиболее перспективным направлением его использования. Однако в режиме озера заметно проявление антропогенного воздействия вследствие притока болотных вод по мелиоративным канавам и поступления стоков деревень и ферм. По качеству воды озера относятся к классу умеренно загрязненных. Ложе озера заполнено высокозольным (потери при прокаливании около

40 %) кремнеземистым в заливах, где формируются грубодетрировые сапропели, пригодные в качестве удобрений.

Озеро Отолово расположено в верхнем течении р. Дивы в слабо построенной котловине с сочетанием мелких и глубоких плесов, соединенных узкими проливами. При площади 8,2 км^2 длина береговой линии составляет около 39 км. Участок водосбора, прилегающий к озеру на севере, представлен крупнохолмистым моренным и озово-камовым рельефом. Южная часть водосбора представлена мелиоративной заболоченной низиной, где расположены истоки р. Дивы. Рельеф северной части водосбора построен очень сложно. Возвышенные участки, сложенные моренными суглинками, сменяются заболоченными понижениями, а также небольшими озерами, соединенными мелководными притоками и искусственными каналами. Все это обуславливает мелкоконтурность угодий. Приток воды по р. Диве (левой и правой) поступает с юга и юго-востока, из озер Урода и Липно, а также по р. Ореховице и части оз. Черная Урода. Выток осуществляется по р. Диве из крайнего восточного плеса, где образуется короткая протока в оз. Туросы. Таким образом, проточность основной части озера слабая, что в значительной степени стимулирует различия в характере водной массы разных плесов.

В наиболее глубоком северо-западном плесе летом устанавливается четкая температурная и кислородная стратификация, а зимой возникает острый кислородный дефицит. В целом озеро относится к типу эвтрофных с прозрачностью около 2 м, невысокой (30–25º) цветностью и окисляемостью (60 мг/л). Значительная биомасса фитопланктона (20 г/м^3) и зообентоса свидетельствует о высоком трофическом уровне, который выражается также в богатой и разнообразной ихтиофауне. Из редких растений в озере произрастает водяной орех, нуждающийся в охране. Антропогенное воздействие на состояние лимносистемы сказывается в поступлении болотных вод по мелиоративным канавам, а также сбросе неочищенных стоков многочисленных деревень и скотных дворов. Пока состояние водной массы относится к категории чистых, однако сохранение озера требует создания водоохранной зоны.

Сложное строение котловины оз. Отолово выражается также в разнообразии донных отложений. Большую часть ложа выстилают кремнеземистые сапропели, в северо-западном плесе – глинистые илы. В сточной части котловины (Кугоньский плес) распространены высоко-органические грубодетритовые сапропели мощностью до 10 м, пригодные в качестве удобрений.

Озеро Кривое по праву называют «жемчужиной Ушачских озер». Лежит в сложной глубокой котловине, состоящей из глубоких плесов и узких, соединяющих их перешейков «усухов». Небольшой по площади

водосбор представлен сочетанием крупных моренных холмов, озовых гряд и камовых скоплений, в понижениях между которыми спрятаны озера и болота. Наибольшие глубины размещены в Северном (Горском), Южном у с. Новоселки плесах. Несмотря на крайнюю мелкоконтурность, сельскохозяйственные угодья занимают большую часть водосбора. Озеро слабопроточно. Небольшие ручьи впадают из озер Женно и Полозерье. Впадающий на западе ручей в р. Диву функционирует лишь весной в период длительных дождей.

Гидрохимические показатели характерны для глубоких метрофных озер с признаками олиготрофии. Низкие летние и зимние температуры сочетаются с высоким круглогодичным содержанием кислорода. Прозрачная вода (около 5 м) сочетается с пониженной минерализацией, низкой (10–20º) цветность, нейтральной реакцией среды. Состав ихтиофауны типичен для олиготрофного озера и относится к сигово-снетковой. В составе зоопланктона отмечается реликтовый рачок, занесенный в Красную книгу, редким для озер растением является полушник озерный. Озеро отличается разнообразными донными осадками, но все они высокозольные и непригодны для добычи.

Озеро Кривое в 1979 г. было объявлено озерным заказником республиканского значения для охраны уникальных ледниковых ландшафтов, редких организмов, чистой воды. Вместе с тем морфометрические и гидрологические особенности характеризуют слабую устойчивость лимносистемы при антропогенном воздействии, которые усиливаются за счет сбросов с сельскохозяйственных угодий, расширения неорганизованного туризма. Необходимо усиление охранных мероприятий.

Озеро Яново расположено в нижнем течении р. Дивы. Глубокая котловина подпрудного типа вытянута в широтном направлении и на западе осложнена заливами Северный и Южный Рог. Уровень воды искусственно поднят плотиной законсервированной Гомельской ГЭС. Склоны высотой до 15–20 м, сложены моренными суглинками, которые преобладают на всей площади водосбора. Низкие заболоченные берега распространены лишь на западе вблизи залива Южный Рог, заполненного высокоорганическими сапропелями. Основная часть ложа выстлана кремнеземнистыми сапропелями.

Хорошая проточность, благоприятный кислородный режим, небольшие глубины обеспечивают условия слабоэвтрофного озера. Летняя прозрачность около 1,5 м, цветность не более 30º, окисляемость менее 10 мгО/л, рыбные богатства, живописные окрестности создают условия для развития организованного туризма. Этому благоприятствуют хорошие транспортные пути и близость г. Полоцка.

Водосбор отличается значительной распаханностью . леса и кустарники занимают 18 %, а болота 23 %. Источником загрязнения служат стоки с сельхозугодий, деревень и животноводческих ферм. Положительную роль в охране озера может сыграть сплошная водоохранная зона.

Озеро Полозерье занимает овальную подпрудную котловину, вытянутую с северо-запада на юго-восток. Высокая озовая гряда, покрытая лесом, оконтуривает озеро на севере и северо-западе. На востоке и юго-востоке преобладают низкие склоны, сложенные моренными суглинками. Водосбор (площадь 30,9 км^2) лишь отчасти распахан. Значительные площади заняты заболоченными лесами и мелиоративными болотами. Озеро характеризуется весьма слабой проточностью. Основной приток воды поступает весной по нескольким ручьям и мелиоративным канавам. Выток ограничен полузаросшим ручьем Безымянным, впадающим в оз. Кривое.

В целом озеро носит черты слабоэвтрофного: значительная прозрачность (3 м), пониженная минерализация. Однако высокая биомасса фитопланкота (до 40 г/м^3) и зоопланктона (более 2 г/м^3) придает ему черты высокоэвтрофных водоемов, весьма перспективных для рыборазведения и рыболовства.

Влияние хозяйственной деятельности сказывается в сбросе болотных вод по мелиоративным каналам, а также загрязненных стоков с животноводческих ферм и прибрежных деревень.

Озеро Вечелье относится к системе р. Ушачи, расположено вблизи г. Ушачи в глубокой ложбинной котловине с прямолинейным рисунком берегов. Эта же ложбина включает ряд глубоких озер, соединенных небольшими протоками: Борковщина, Должино, Волчо, образующими цепочку, вытянутую вдоль долины реки. Котловина отличается высокими склонами, сложенными моренными суглинками и супесями. Хорошо выражены террассы на высоте 3,5 и 1,4 м. Последняя возникла в результате осушительной мелиорации в 1937–1938 гг. Озеро Вечелье слабо проточно. Приток осуществляется по трем ручьям и протоке из оз. Должино. На северо-востоке из озера начинается р. Крошенка – правый приток Ушачи. В питании значительное участие принимают подземные воды.

По типу котловины, отсутствию органических осадков, высокому постоянному содержанию кислорода в придонном слое, значительной (4 м) прозрачности оз. Вечелье – типичный мезотрофный водоем с признами олиготрофии. Об этом свидетельствуют низкие показатели биомассы фитопланктона (около 2 г/м^3), а также зоопланктона. В составе последнего присутствует редкий для озер Беларуси рачок. Ихтиофауна принадлежит сигово-снетковому типу. Уникальность озера является основанием создания на его базе озерного заказника. Однако сохранение олиготрофного режима затруднено значительным техногенным загрязнением. В северо-восточной

части озера расположен Ушачский льнозавод и рабочий поселок. Территория завода захламлена отходами производства, открытое льнохранилище соседствует с заводской свалкой. Сдуваемая ветром костра образует на большей части поверхности озера пленку, затрудняющую проникновение кислорода из воздуха. Такое техногенное загрязнение ведет к ухудшению условий жизнедеятельности живых организмов, так как в отличие от антропогенного эвтрофирования не повышается продуктивность лимносистемы. Рациональное использование ресурсов оз. Вечелье требует очистки его, переноса льнозавода за пределы водосбора, что позволит создать организованный рекреационный центр.

Нарочанская озерно-речная система расположена северо-западнее Минска на границе Республики Беларуси и Литвы (Мядельский район). Формирование системы тесно связано с этапами образования конечных морен свенцянской стадии (см. Нарочанский прледниковый водоем). Котловины озер системы имеют подпрудное и термокарстовое происхождение. Собственно Нарочанская группа, по О. Ф. Якушко, представлена тремя основными и наиболее крупными озерами (Нарочь, Мястро и Баторин) и несколькими небольшими водоемами (Белое, Рудаково и др.).

Самое крупное озеро этой системы – оз. Нарочь занимает обширную округлую котловину, разделенную на большой (юго-восточный) и малый (север-западный) плесы. Разнообразные природные условия, природные богатства озера способствовали довольно детальным исследованиям озера. В д. Купа близ рыбзавода работает озерная гидрометеорологическая станция, гидробиологическая станция Белорусского государственного университета, центр НП «Нарочанские озера». Нарочанская котловина асимметрична, северный склон высокий и абразионный. Абсолютные высоты превышают 220 м, а относительные достигают 45–50 м. Основные породы здесь моренные валунные супеси. Скопления валунов и гальки тянутся вдоль береговой линии на большие расстояния.

Северные склоны распаханы, а северо-западные облесены. У д. Черевки ясно прослеживается надпойменная терраса, высота уступа которой колеблется от 3 до 3,5 м. Ширина площадки террасы 50–100 м, преобладают озерные, слегка заиленные супеси. Выше по склону площадка сменяется высоким уступом, переходящим в Северо-Нарочанскую моренную гряду.

ГЛАВА 14

ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛИМНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

В последние 50 лет в лимнологии интенсивно развивается математическое моделирование, в основную задачу которого входит не только моделирование, но и управление этими процессами. На более ранних этапах моделирование развивалось в области биотических процессов. Были предприняты попытки создания экологических моделей озер (Дривяты), развития отдельных популяций или экосистемы в целом (Умнов, Меншуткин, др.).

Исключительная сложность взаимодействия большого числа физических, химических и биологических процессов в конкретных географических условиях определяется размером и формой ложа озера, ландшафтно-гидрологическими особенностями его водосбора, климатом и погодными условиями отдельных лет. Это, а также разнообразие антропогенного воздействия на природные процессы вызывает необходимость решения экологических проблем путем математического моделирования экосистемы водного объекта. Такое моделирование – методологическая основа гидроэкологии – недавно возникшего научного направления на стыке гидрологической и биологической наук. *Гидроэкология – часть экологии, изучающая водные (аквальные) экосистемы, их структуру и закономерности функционирования*, *включая взаимодействие абиотических и биотических компонентов*.

Гидроэкология успешно развивается в тех отечественных и зарубежных научных центрах, где удалось совместить разработку математических моделей процессов, протекающих в водных объектах, с целенаправленными полевыми исследованиями их гидрометеорологического, гидрохимического, биологического режима и лабораторными экспериментами. Объединение различных направлений в исследованиях поверхностных вод позволяет надежно оценить достоинства и недостатки математических моделей и, исследуя с их помощью взаимодействие факторов и процессов, ставить новые приоритетные задачи комплексных полевых и лабораторных исследований. Решение этих задач способствует, в свою очередь, дальнейшему совершенствованию математических моделей и более глубокому познанию функционирования водных экосистем.

Учитывая плодотворность системного подхода к изучению водных объектов суши, следует считать своевременным введение дисциплины «Лимнологическое моделирование», отсутствующей в вузах, в программу университетской подготовки гидрологов. Появившиеся в последние годы ые монографии в Росии и за рубежом, переводы на русский язык зарубежных обзоров работ в области моделирования процессов, протекающих в озерах и водохранилищах, а также опыт разработки таких моделей на кафедре гидрологии суши географического факультета МГУ уже могут служить достаточной методической базой этой новой дисциплины (К. К. Эдельштейн).

Моделирование в лимнологии предназначается для углубления понимания студентами теоретического и прикладного значения системного анализа физических, физико-химических, химических, биохимических и биологических процессов функционирования водных экосистем, определяющих качество воды в реках, озерах и водохранилищах, их продуктивность, уязвимость в отношении к внешним воздействиям и способность вод к самоочищению. Это направление должно научить студентов, как рационально применять для решения природоохранных задач теоретические знания и практические навыки отдельных видов расчетов, полевых и лабораторных работ, которые получены ими при изучении дисциплин «Гидрология», «Гидрофизика», «Гидрохимия», «Гидроэкология», «Теория вероятностей и математическая статистика» и другие дисциплины, которые читаются для студентов гидрологов и метеорологов.

Предмет изучения курса «Лимнологическое моделирование» – принципы разработки математических моделей важнейших процессов, происходящих в водоемах и водотоках суши, способы верификации и использования таких моделей в научных, проектных и управленческих целях.

Задачи моделирования:

- показать возможность углубленного исследования процессов в озерах, водохранилищах, каналах и реках и перспективность решения гидроэкологических проблем методом математического моделирования;
- показать разнообразие отечественных и зарубежных математических моделей водных экосистем;
- показать на примере нескольких типичных моделей достоинства и недостатки математического моделирования процессов в водных объектах и возможность исправления этих недостатков путем сочетания моделирования с экспериментальными полевыми и лабораторными исследованиями.

Все модели в зависимости от основных принципов по Меншуткину (2004) можно разделить на концептуальные, аналоговые, знаковые, имитационные, дискретные, непрерывные, точечные, линейные, пространственные (рис. 14.1). Моделирование в различных областях привело к

развитию общей теории систем. Озерные экосистемы представляют сложные природные системы. В превую очередь при моделировпании озеро и водосбор рассматриваются как единая природная система. В этом плане в лимнологии накопился большой фактический материал, который может использоваться при моделировании внутриводоемных процессов.

Озеро, или гидроэкосистема, – это сложное природное образование, или лимносистема, которую можно расчленить на ряд подсистем, которые могут выступать в качестве объектов для моделирования. В то же время как любая водная система озеро состоит из двух частей: абиотической (вода, донные отложения, гидрологический режим, гидродинамика и др.) и биотической (бактериальный, растительный и животный мир).

Наиболее распространенным видом моделирования является математическое. Цель математического моделирования – упрощенное воспроизведение объекта или процесса.

Все модели строятся с учетом данных натурных наблюдений на озерах. Путем анализа совокупности первоначальных данных создается первоначально логическая, или вербальная, модель, которая представляет собой описание связей элементов рассматриваемой системы с выделением среди них главных, важнейших связей. Для более углубленного познания этих связей создается конструктивное (физическая модель) или математическое воплощение вербальной модели объекта.

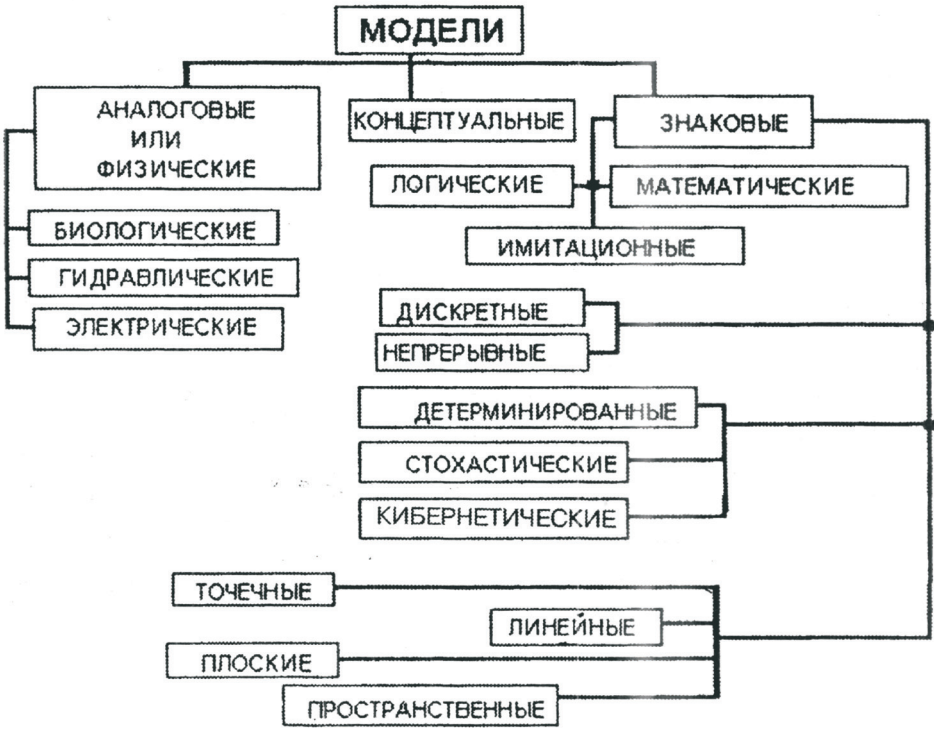


Рис. 14.1. Классификация моделей, применяемых в лимнологии

На этих моделях, имитируя разнообразные воздействия на исследуемую систему, изучают изменения экологического состояния водного объекта, т. е. его гидрологический режим (гидрометеорологический, гидрологический, гидрохимический, гидробиологический режим озера, или изменение его характеристик в пространстве и времени. Характеристиками водной среды озера могут быть параметры состояния лимносистемы и показатели процессов, происходящих в ней. К параметрам состояния лимносистемы следует отнести величины, характеризующие морфометрические характеристики озера, физические, химические свойства воды, донных отложений, видовой состав, численность и массу гидробионтов. Таким образом, моделирование это не только разработка модели, но и изучение поведения модели при различных воздействиях на лимносистему и тем самым познание природных процессов в лимносистеме.

Цели моделирования могут быть разнообразными и их можно разделить:

на познавательные (гносеологические) –

– проверка положений теории и научных гипотез;

– выявление слабых мест в теории лимнических процессов;

– углубление знаний о структуре и функционировании лимносистем, взаимосвязи ее элементов;

прикладные (прагматические)

– прогнозирование поведения лимносистемы;

– выбор стратегии управления поведением системы для оптимального решения задач использования ресурсов озер и их охраны.

Создание и эксплуатация математических моделей стало средством системного анализа лимносистемы (рис. 14.2). В верхней части схемы отражена деятельность специалиста по исследованию реальной лимносистемы путем индуктивной (как правило, статистической) и дедуктивной (теоретической) абстракции. Вербальная модель, объединяющая теоретические концепции с экспериментальными данными, формализуется посредством математических методов в математическую модель, которая заменяет в дальнейшем исследовании реальную экосистему. В нижней половине отражены процедуры отладки модели и изучения по ней процессов в реальной лимносистеме.

Вопросы экологического моделирования, включая и моделирование, в лимнологии являются наиболее актуальными. С 1975 г. выходит журнал «Экологическое моделирование», общий объем составил более 200 томов. Создание моделей в области эвтрофирования озер, обусловленного биотическими и абиотическими факторами, представляет собой достаточно сложный процесс. Об этом свидетельствует рис. 14.3.

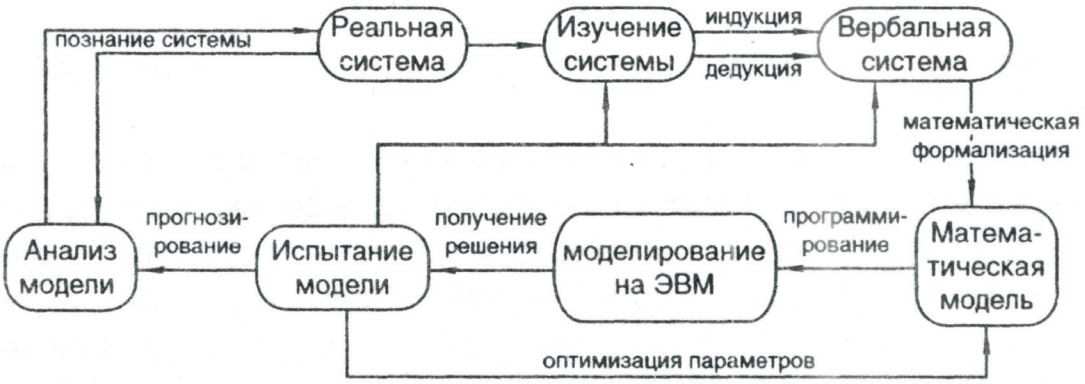


Рис. 14.2. Основные этапы системного анализа при математическом моделировании (Страшкраба, Гнаук, 1989)

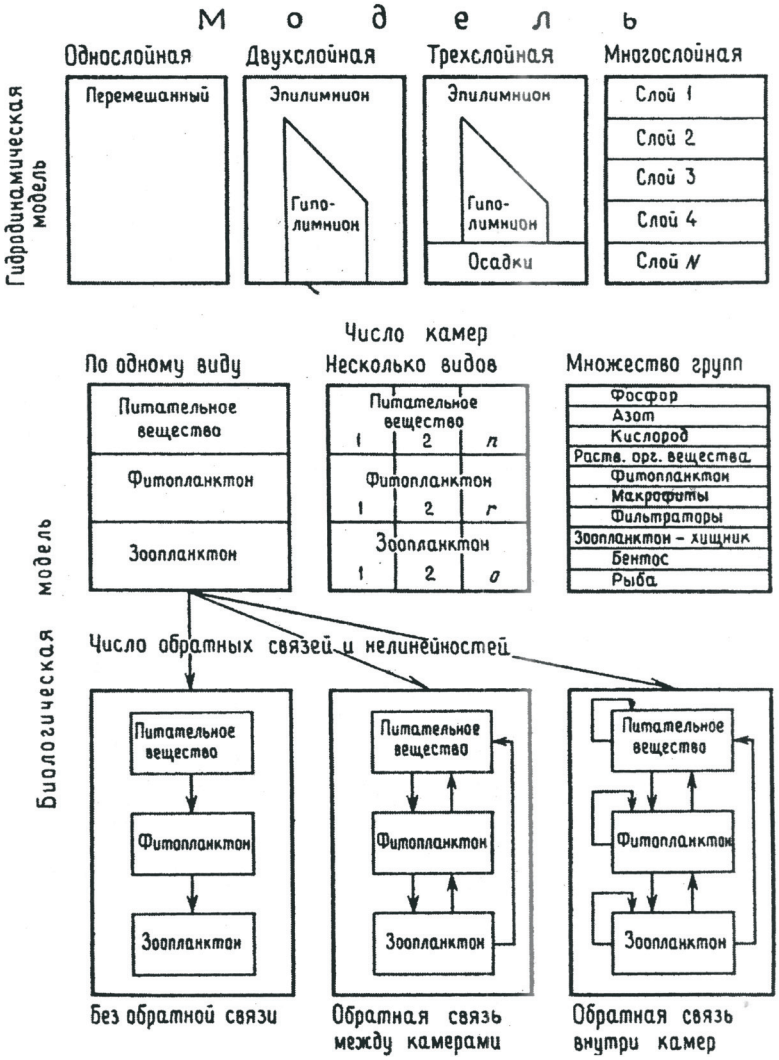


Рис. 14.3. Сложность эвтрофикационных моделей, обусловленная гидродинамическими и биологическими процессами

Для получения максимальной эффективности моделирования необходимо выдержать основные этапы или ряд обязательных процедур (Йоргенсен, 1985), рис. 14.4.

Этап 1. Формулировка задачи в виде вербальной модели и даже математического выражения, представленного в общем виде.

Этап 2. Ограничение задачи по временному масштабу описываемых изменений прогнозируемой системы, что позволяет обоснованно выбрать необходимую сложность структуры модели и временной шаг проводимых расчетов.

Этап 3. Подбор необходимых данных по всем материалам предшествующих исследований. При недостаточности материалов возникает необходимость возврата ко второму этапу и пересмотреть возможность решения задачи при еще большем ограничении, но при более надежными экспериментальными данными.

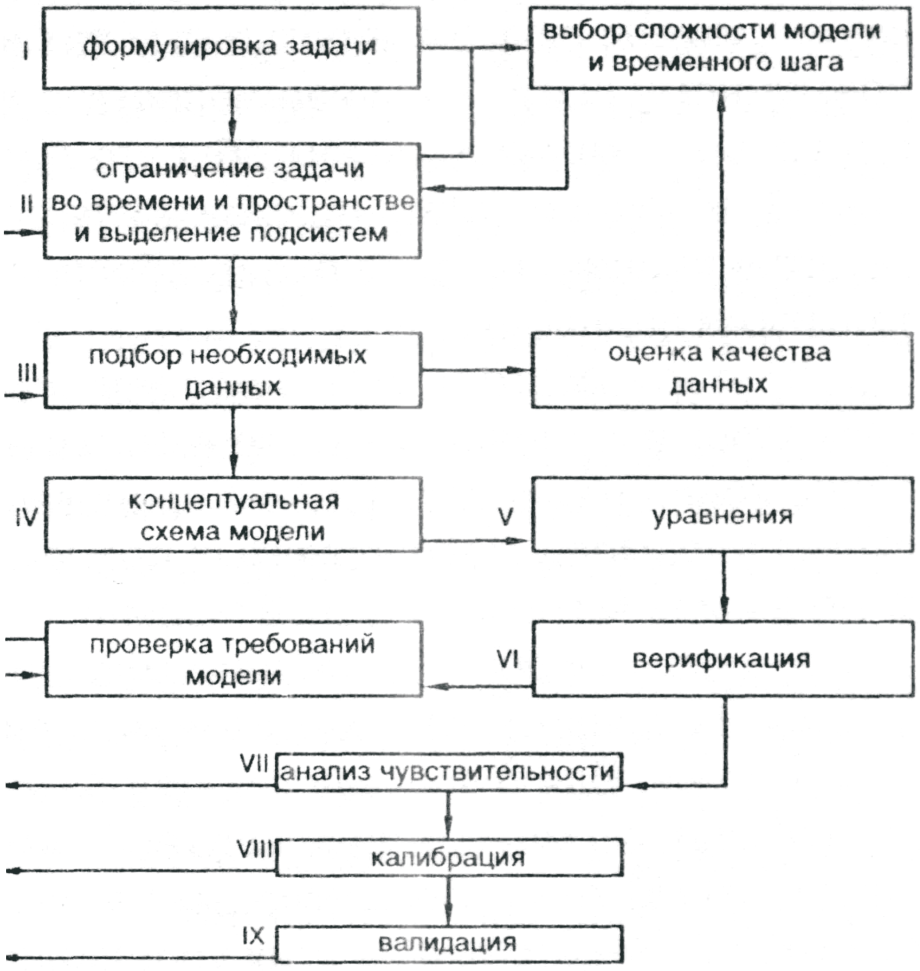


Рис. 14.4. Этапы создания гидроэкологической модели (Йоргенсен, 1985)

Этап 4. Построение концептуальной модели. Вербальная модель конкретизируется, завершается созданием блок-диаграммы математической модели.

Этап 5. Подбор уравнений модели. При отсутствии общепризнаных уравнений в лабораторных или натурных условиях проведение специальных работ по получению требующих зависимостей.

Этап. 6. Верификация модели. Это проверка внутренней логики модели, субъективная оценка модели.

Этап 7. Анализ чувствительности модели. Оценивается точность математического описания каждого из рассматриваемых процессов, включенных в модель компонентов.

Этап 8. Калибровка модели. Она состоит в подборе оптимальных значений эмпирических коэффициентов математических уравнений.

Этап 9. Валидация модели – состоит в количественной, объективной проверке разработанной математической модели на предмет моделирования.

Наибольшую сложность представляет собой валидация «климатических» моделей больших озер, которые описывают многолетние изменения лимносистем под влиянием природных и антропогенных воздействий. Заметное ухудшение качества воды озер с ростом антропогенной нагрузки на озеро проявляется с некоторым запаздыванием. Это объясняется исчерпанием экологической буферной емкости лимносистемы вследствие избыточного накопления органических и биогенных веществ в донных отложениях водоема.

Имеется два противоположных подхода к выбору степени сложности гидроэкологических моделей. По С. Э. Йоргенсену необходимо начинать с модели наименьшей сложности, а затем добавлять новые переменные, усложняя модель. Другой позиции придерживаются российские ученые А. А. Воинов и А. П. Тонких, утверждая, что необходимо начинать с возможно более сложной модели, чтобы полностью использовать научную базу данных о моделируемой экосистеме, а затем упрощать ее путем фиксации мало изменяющихся параметров состояния лимносистемы.

Создание «больших» моделей – труд немногочисленных коллективов высококвалифицированных специалистов-гидрологов, гидроэкологов, гидробиологов и математиков. Тесное взаимодействие различных специалистов требует сложных теоретических построений и длительных расчетов на ЭВМ с применением полевых экспериментальных и лабораторных материалов. Стремление к созданию более совершенной модели лимносистемы требует более точной информации, установления более тесной связи между компонентами природы, применения современных вычислительных комплексов, таких как суперкомпьютер «Скифф».

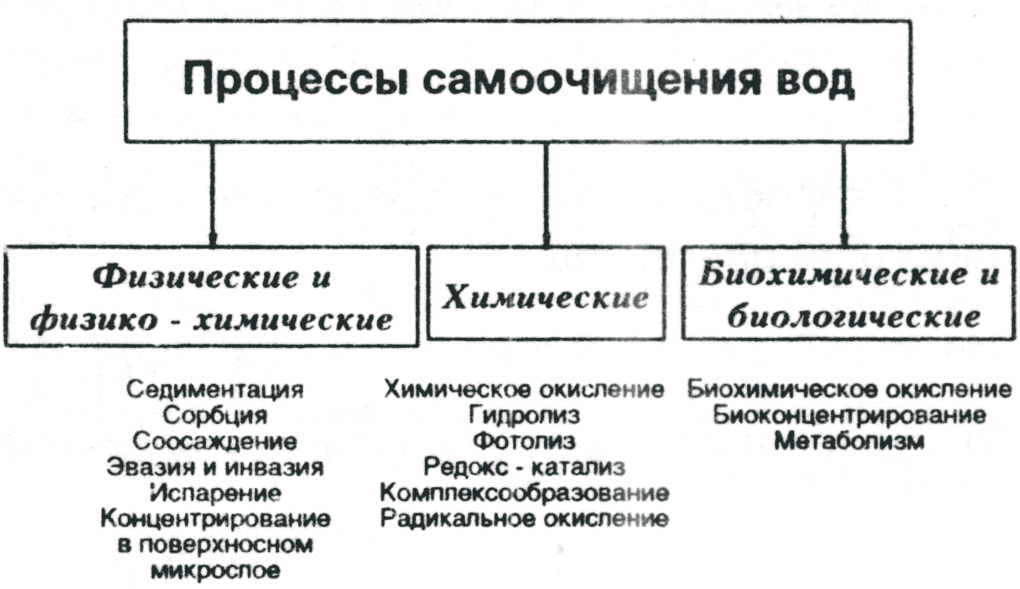


Рис. 14.5. Схема процессов самоочищения природных вод (Эдельштейн, 1998)

Наиболее распространенные модели в озероведении и лимнологии связаны с балансовыми расчетами. В этой области большое значение имеет оценка внешнего и внутреннего водообмена озера. В различных классах гидроэкологических моделей водообмен представлен по-разному. Наиболее важным является определение водообмена как интегрального показателя, который в разных моделях оценивается по-разному. Балансовый метод применяется в математических моделях водного и теплового балансов.

Озерная система имеет тенденцию к самоочищению, как важное свойство лимносистем саморегулирования. Это способность устойчивого взаимодействия элементов водной экосистеы – главный механизм самоочищения природных вод. Самоочищение природных вод – это совокупность процессов, приводящих к снижению загрязняющих веществ в воде озер. Основные процессы самоочищения природных вод можно отнести к тем основным классам (рис. 14.5). Значимость каждого из этих процессов в самоочищении природных вод сильно изменяется для различных веществ в зависимости от природных условий и гидроэкологических особенностей озера.

В соответствии с выделенными классами применяются и модели: модели химических и физико-химических процессов самоочищения, модели биохимического окисления органического вещества в природных водах, нелинейные модели самоочищения и т. д.

Наиболее сложным является моделирование процесса эвтрофирования озер. Эвтрофирование – закономерный процесс развития лимносистем. Первым шагом к моделированию процесса эвтрофирования стала диаграмма Фолленвайдера, разработанная им по данным наблюдений за

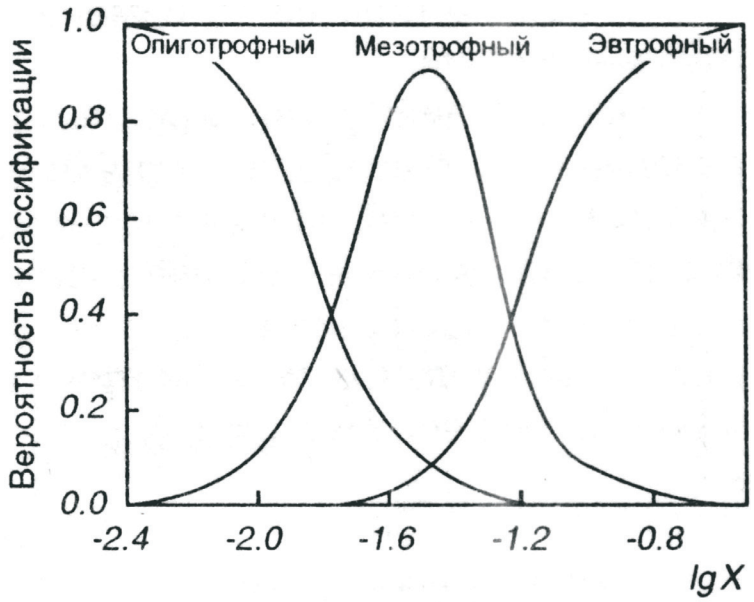


Рис. 1.6. Вероятностная классификация озер для определения их трофического статуса (цитируется по Эдельштейну, 1998)

трофическим состоянием озер Европы и Северной Америки. По этой диаграмме можно установить эмпирическое соотношение между величиной фосфорной нагрузки на единицу площади водоема и его трофическим состоянием или статусом и ориентировочно оценить состояние озер по данным о фосфорной нагрузке и средней их глубине.

Путем применения дискриминантного анализа данных наблюдений разработаны зависимости, позволяющие оценивать вероятность отнесения водоема к тому или другому типу (рис.14.6).

Для оценки трофического состояния озер применяются также различные числовые индексы, основывающиеся на значениях тех же показателей. Наиболее распространен индекс Карлсона, включающий прозрачность по белому диску, содержание в поверхностном слое озера хлорофилла и концентрацию в воде общего фосфора.

Наиболее сложные полуэмпирические модели эвтрофирования (трансформация органического вещества в озере, модели развития планктонных организмов, фито- и зообентоса, отмирания и осаждения фитопланктона и др.), а также общие экологические модели озер.

Моделирование лимнических процессов находится на ранних стадиях и разработанные модели пока не дают практических результатов. Необходимы усилия больших коллективов для разработки реальных моделей, которые бы дали реальный эффект при их использовании.

ГЛАВА 15

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОЗЕР ОСНОВНЫХ ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ БЕЛАРУСИ

Создание особо охраняемых природных территорий (ООПТ) во многом обязано уникальным озерам Беларуси. Они стали ядрами для охраны природных территорий. Природно-заповедный фонд Республики Беларусь включает 4 национальных парка, 1 заповедник, 95 заказников республиканского значения и 335 памятников природы общей площадью около 12,57 тыс. км^2. В пределах охраняемых территорий республики находится 255 озер общей площадью 604 км^2, что составляет более 3,7 охраняемой территории республики (рис. 15.1).

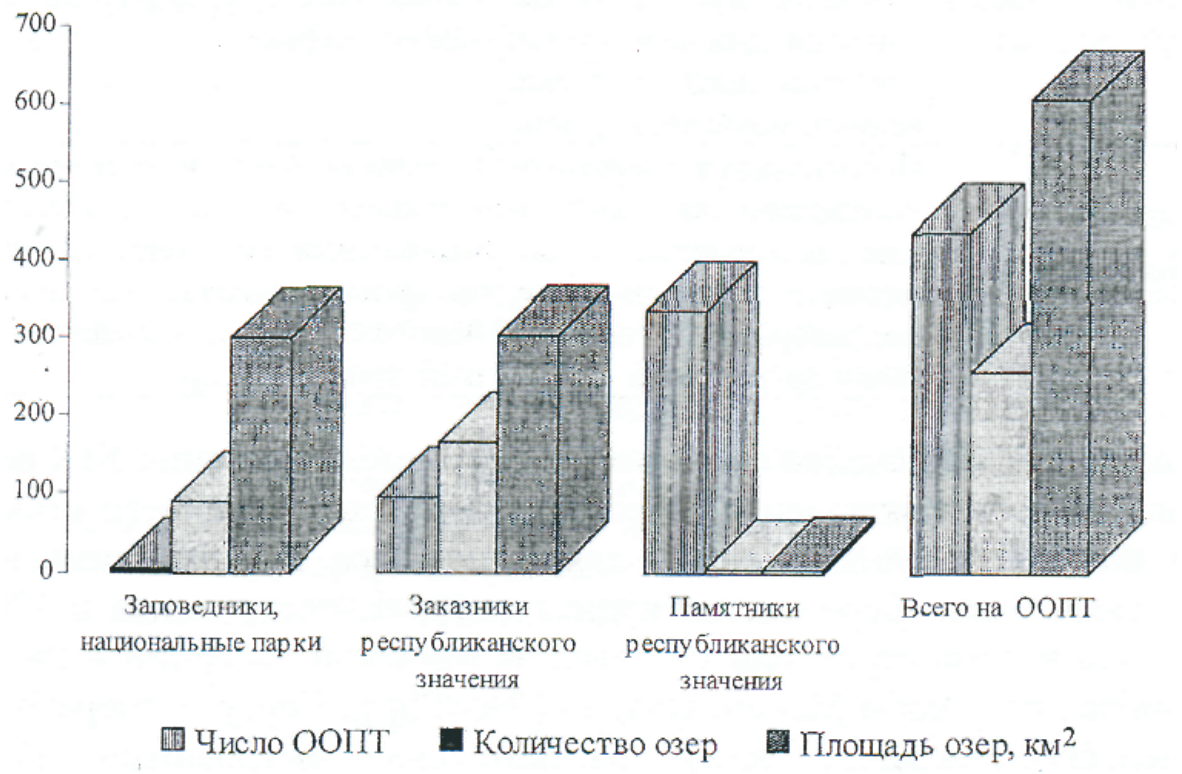


Рис. 15.1. Количество и площади озер в пределах ООПТ (по Б. П. Власову, 2004)

Кроме того, озера являются носителями информационных ресурсов. Из общего числа озер 105 водоемов обладают ценными информационными материалами для ученых. В их число входит 83 водоема, в которых выявлены реликтовые, редкие и охраняемые виды водной и околоводной фауны и флоры (Долгое, Ричи, Ю. Волос, Чербомысло, Глубокое, Выгоношанское). Из озерного фонда 22 озера имеют научную информационную ценность в качестве эталонов природы уникальных лимнических гидро- и геохимических условий изучения возникновения и истории развития озер и природы их водосборов, стратотиповрезервов донных отложений (Долгое, Олтушское, Судобле, Ричи). В составе природных ландшафтов озера образуют уникальные озерные ландшафты и водно-болотные комплексы (озера в пределах болот Ельня, Браславской, Нарочанской озерно-речной систем, систем р. Дрысса, Озер Выгонощанское, Освейское и др.). Наиболее чистые и не затронутые хозяйственной деятельностью 40 озер претендуют на создание «резерватов чистой воды», которые требуют определения особого их статуса. Значительная часть охраняемых озер сконцентрирована в Белорусском Поозерье (рис. 15.2).

15.1. Белорусское Поозерье

В пределах Поозерья расположено 24 природных охраняемых территории общей площадью около 4222 км^2. В их числе 2 национальных парка, 1 биосферный заповедник, 6 ландшафтных заказников, 9 заказников гидрологических, 3 гидрологических памятника природы и 3 биологических заказника. Общее количество озер в пределах охраняемых территорий более 200 общей площадью 468 км^2. Ресурсы озер в пределах охраняемых территорий имеют важное хозяйственное и познавательное значение. Кроме водных и информативных ресурсов особое значение приобретают рекреационные ресурсы, позволяющие непосредственно познавать богатства озер, оценивать их с точки зрения эстетического и экологического воспитания.

Национальный парк «Браславские озера». Ландшафты типичные для холмисто-моренно-озерного рельефа эпохи последнего оледенения (поозерского) браславской стадии. Камы имеют округлую форму, относительная высота 10–15 м, крутизна склонов – до 250. В сочетании с камовыми холмами встречаются озы, образуя сложные морфологические комплексы. Выделяются маргинальные и радиальные типы озов. Классическим примером служит оз, расположенный между озерами Недрово и Потех, длина 1,7 км, относительная высота 30–35 м, крутизна склонов 35–50°. Озера: Островито, Кривец, Каменка, Закаменка, Войты, Большая

Ельня, Малая Ельня, Дубро, Берце. Медведно, Обабье, Волосо Сенно, Волосо Юж, Снуды, Струсто, Болойсо, Войсо, Плутенок, Неспиш, Недрово, Потех, Цно, Новято, Береже, Святцо, Рака, Дривяты, Мизеришки, Болта, Ельно, Золово, Шилово, Среднее, Подворное, Богдановское, Милашки, Янка, Озерайце, Албеневское, Богинское, Бержонка. Всего 41 озеро. Озера находятся в бассейне рек Друйки и Дисны. Центральная группа озер расположена в бассейне р. Друйки. Преобладают котловины термокарстового, подпрудного, эворзионного типов, размещенных в замкнутых понижениях сильно расчлененного холмисто-моренного рельефа. Лесистость составляет 46,8 %, площадь территории парка, занятая озерами, 16,8 %. При относительно высокой хозяйственной освоенности территории, Национальный парк отличается хорошей сохранностью и живописностью ландшафтов. В озерах Волосо Сен, Волосо Юж, Струсто, Снуды обитают реликтовые ракообразные ледниковой эпохи – Pontoporeia affinis Lindstr., Mysis oculata var. relicta Loven, Pallasea quadrispinosa G. O. Sars, Limnocalanus macrurus G. O. Sars.



Рис. 15.2. Особо охраняемые территории в бассейне р. Западная Двина

***Озеро Потех* (*Поцех*)** расположено в 9 км к северо-востоку от г. Браслава. Координаты: 55°42′ с. ш., 27°10′ в. д. Водоем занимает котловину сложного типа, вытянутую с запада на восток. Береговая линия сильно изрезана, ее длина достигает 10 км. Неширокая до 5 м литораль резко переходит в склон сублиторали, ложе чередуется с понижениями и поднятиями. Почти все береговой линии хорошо прослеживается террасовый уступ высотой 0,5–0,6 м результат понижения уровня системы Браславских озер. Рельеф водосбора крупно- и среднехолмистый. Основные породы – моренные суглинки и супеси. Водосбор характеризуется высокой степенью сельскохозяйственного использования. Небольшие его участки покрыты лесом только на юге. Значительную часть водосбора занимает деревня Слободка. Площадь водосбора – 28,6 км^2. Формирование гидрохимического режима озера на протяжении длительного периода протекает в условиях интенсивного антропогенного воздействия. Водная масса водоема характеризуется повышенной минерализацией, в летний период ее концентрация составляет 280–410 мг/л. Основные компоненты минерализации – ионы бикарбонатов и кальция. Следует отметить возрастающую роль в экосистеме водоема ионов сульфатов, хлоридов и натрия. Величины общего фосфора в воде озера составляют 0,04–0,70 мгР/л. За весь период исследования показатели общей численности и биомассы фитопланктона колебались в широких пределах: от 7,9 до 32,5 млн кл/л и от 3,01 до 13,2 г/м^3 соответственно. Преобладающей группой зоопланктона являются веслоногие рачки, составляющие 74 % общей биомассы, главным образом за счет видов рода Mesocyclops.

Озеро Снуды находится в 15 км к северу от г. Браслава. Координаты: 55º44′ с. ш., 27º06′ в. д. Водоем занимает сложную котловину, вытянутую с северо-запада на юго-восток. Береговая линия озера сильно изрезана. Берега в основном низкие, песчано-галечниковые. Вдоль всей береговой линии прослеживается пойма шириной 5–150 м. На западе и юго-востоке отмечаются участки, занятые одной или двумя надпойменными террасами, которые, как правило, переходят в крутой склон коренного берега. Рельеф водосбора крупно- и среднехолмистый, сложен моренными суглинками и песками. Отмечаются небольшие участки заболоченных низин. Среди форм рельефа водосбора отмечаются классические озовые гряды. Рельеф водосбора распахан, только в восточной его части находятся лесные массивы. Подводная часть котловины отличается сложным строением. Для нее характерно сочетание многочисленных островов (16), мелей и чередующихся с ними впадин. Площадь водосбора – 113 км^2. Озеро Снуды относится к типично мезотрофным водоемам. Несмотря на множество островов и сложное строение подводной части котловины, водная масса озера хорошо перемешивается в летнюю стагнацию. В водоеме формируется эпилимнион

мощностью до 13 м. В ветреную погоду гиполимнион практически всегда разрушается. В связи с этим в водоеме создается благоприятный газовый режим, с высоким уровнем обеспеченности кислородом во все сезоны года. Сумма ионов составляет 212–222 мг/л. Основные ионы – бикарбонаты и кальций, их относительное содержание достигает 80 %. Прозрачность воды по диску Секки в летний период достигает 4,5 м. В составе фитопланктона отмечено видов: синезеленые – 11, зеленые – 13, диатомовые – 12, пирофитовые – 7, эвглевовые – 1, золотистые – 2. Характерной чертой сообщества планктонных беспозвоночных является наличие в его составе реликтового рачка Limnocalanus macrurus, который встречается только в качественной пробе, что свидетельствует о его низкой численности. Впервые в 1986 г. в планктоне была обнаружена личинка дрейссены, хотя в составе зообентоса популяция дрейссены еще не была зарегистрирована. В составе зообентоса о численности доминируют олигохеты, по биомассе личинки хирономид. Сложное строение подводной части котловины озера определяет мозаичное распространение донных осадков. Широкое распространение получили песчаные отложения, преимущественно вдоль востока и юго-востока побережий и вокруг крупных островов. Отдельные участки литоральной зоны выстилаются глиной. Песчано-галечниковые и каменистые отложения приурочены к абразионным берегам восточного побережья и располагаются вдоль всех крупных островов. Сублиторальная и частично профундальная зоны выстланы глинистым илом и карбонатными сапропелями. Профундаль занята кремнеземистыми сапропелями.

Озеро Струсто расположено в 4 км северо-запада г. Браслава. Координаты: 55°43´ с. ш., 270 020 в. д. Сложная котловина озера вытянута с юго-запада на северо-восток. На северо-западе оно широкой протокой соединяется с оз. Снуды, на юго-востоке – с оз. Войсо, на юге – с оз. Болойсо. Береговая линия сильно изрезана. Рельеф ложа очень сложный. Острова и мели образуют лабиринт вдоль длинной оси котловины. Наибольшие по площади острова Чайчин и Шово. Вокруг островов образуются большие отмели, сложенные преимущественно песком и песчано-галечниковым материалом. Рельеф водосбора крупно- и среднехолмистый, чередуется с небольшими участками заболоченных низин. Сложен в основном моренными суглинками. Территория водосбора интенсивно используется в сельском хозяйстве. Генетический тип – мезотрофное среднеглубокое. Площадь водосбора 223,0 км^2.

Озеро Струсто отличается высоким качеством воды. Струсто стратифицированный водоем, слой эпилимниона достигает – 10–13 м. Высокое качество воды – результат оптимальных окислительных условий и процессов самоочищения, которые тесно связаны с гидродинамикой. Содержание кислорода в воде озера высокое, насыщение кислорода в гиполимнионе

около 50 %. Водная масса водоема относится к гидрокарбонатному классу кальциевой группы. Сумма ионов достигает 220–235 мг/л. Концентрация общего фосфора 0,030–04,8 мг/л, прозрачность воды в летний период составляет 4,7–4,8 м. Биомасса фитопланктона 1,35 г/м . В составе фитопланктона отмечены синезеленые, зеленые, диатомовые, пирофитовые, эвгленовые, золотистые. Наибольшую численность имеют синезеленые 2,3 до 11,6 млн кл/л. Характерной чертой зоопланктона является наличие в его составе реликтового рачка Limnocalanus macrurus. Веслоногие составляют 67 % всей биомассы. В 1986 г. в планктоне впервые отмечена личинка дрейссены.

Озеро Волосо Северное расположено в северно-западной части Национального парка. Координаты: 55°46 с. ш., 27°08 в. д. Котловина водоема относится к эворзионному типу, имеет округлую форму и осложняется небольшими заливами. Площадь водосбора – 11,9 км^2. Водосбор озера среднехолмистый и пологоволнистый, слагающие породы – суглинки, супеси и пески. Леса расположены в основном в западной части водосбора, в восточной преобладают распаханные территории. Озеро относится к числу слабопроточных, полная смена воды в озере осуществляется примерно за 11 лет. На юге водоем соединяется протокой с оз. Волосо Южное. Подводная часть сложная, литоральная зона озера имеет неодинаковую ширину, наиболее широкие участки отмечаются в юге-восточной части (до 500 м) и на северо-восточной (более 1 км). Склон сублиторали крутой, в юго-восточной части осложняется небольшими островами. Максимальная глубина находится примерно в центре озера. Озеро Волосо Северное относится к типичным стратифицированным водоемам. Мощность эпилимниона около 4 м, металимнион распространяется до 10 м глубины, а гиполимнион занимает 20 м толщу воды. Сумма ионов составляет 1700–1800 мг/л, ее величины незначительно возрастают в придонных горизонтах воды. Относительные величины ионов бикарбонатов и кальция достигают 80 %. Содержание фосфора минерального определяется в пределах 0,006–0,013 мгР/л. Основу численности в фитопланктоне составляют синезеленые, на долю которых приходилось 81 % от общего показателя. В составе зоопланктона отмечен реликтовый рачок Limnocalanus macrurus. В 1986 г. были обнаружены в единичных экземплярах велигеры дрейссены. Охраняемые виды флоры и фауны: Limnocalanus macrurus, Pontoporea affinis.

Озеро Волосо Южное является классическим представителем мезотрофного с признаками олиготрофии водоема, соединяется протокой с озером Волосо Северное. Координаты: 55°45′ с. ш., 27°09′ в. д. Водоем относится к числу небольших по площади, но глубоких озер, максимальная глубина достигает 40,4 м. Котловина эворзионного типа вытянута с юга-запада на северо-восток. Подводная часть котловины устроена про-

сто: узкая литораль шириной около 1 м резко переходит в крутой склон сублиторали до глубины 20 м. Ложе водоема представляет желобообразную впадину. Площадь водосбора – 6,0 км^2. Основные породы – моренные суглинки, супеси и пески. К пониженным участкам приурочены заторфованные низины и небольшие по площади болота. Волосо Южный – типично стратифицированный водоем, с небольшим по мощности слоем эпилимниона (около 4 м) и мощным гиполимнионом (30 м). Металимнион обычно занимает толщу воды с 5 по 10 м. Полное перемешивание водной массы в водоеме происходит два раза в год – в периоды весенней и осенней гомотермии. Температура воды в гиполимнионе к концу летней стагнации очень низкая – до 4,1–5,7 °С. Несмотря на стратификацию, водная масса по всей толще насыщена кислородом, в придонных горизонтах насыщение в период летней стагнации составляло 43,7–54,6 %, а зимой не ниже 20 %. Во все отмечается высокая прозрачность, летом ее величины достигают 7,0–8,3 м, зимой – более 1,1 м. Общая сумма ионов –1 80,0 – 190,0 мг/л, ее величины относительно стабильны в годичном цикле, незначительное увеличение ее параметров отмечалось в придонных слоях воды. Основными компонентами минерализации являются ноны бикарбонатов и кальция.

Биомасса фитопланктона колеблется от 1,295 до 3,390 г/м^3. Минимальная биомасса была отмечена в 1948 г. – 0,64 г/м^3. Доминирующие виды: виды рода Oscillatoria.

Характерной особенностью зоопланктона озера является наличие в озере реликтового рачка Limnocalunus, биомасса которого в 1972 г. составляла 23,6 % от общей биомассы, в 1986 г. его количество уменьшилось до 4,9 %. В составе донного сообщества важную роль играли реликтовые ракообразные Pontopareia affinis и Pallasea quadrispinosa. Удельный вес этих видов в общей биомассе бентоса снизился от 80 % в 1948 г. до 56 % в 1986 г. Наличие реликтов ледникового периода делает водоем уникальным, поскольку на территории Беларуси есть всего несколько озер, в которых 1-2 реликтовых вида. В оз. Волосо Южное их три, вместе с планктонным рачком Limnocalanus macrurus. После 1986 г. в водоем вселилась дрейссена, которая оказывает существенное воздействие на все звенья экосистемы водоема.

Озеро Дривяты (координаты: 55°42′ с. ш., 27°02′ в. д.) входит в пятерку крупнейших водоемов Беларуси и является самым большим по площади в Браславском районе и системе Браславских озер. Площадь зеркала озера 36,14 км^2. На северном берегу озера расположен г. Браслав. Котловина овальной формы вытянута в широтном направлении почти на 10 км, относится к подпрудному типу.

Площадь водосбора озера 423 км^2. Рельеф его весьма разнообразен. На севере, северо-востоке и северо-западе крупнохолмистый и пологоволнистый, в южной его части преобладают низкие, заболоченные в основном мелиорированные территории. В пределах водосбора леса занимают около 20 %, заболоченные территории и болота 10 %, причем большая часть лесов и болот находится в южной его части. Основными породами являются моренные суглинки и пески. Озеро Дривяты типично гомотермный водоем. Его гидродинамическая активность обусловлена морфометрией котловины – большой площадью и небольшими глубинами, что способствует ветровому перемешиванию всего объема водной массы. Слабая стратификация наблюдается при длительной штилевой погоде.

Сумма ионов – 258,0–269,7 мг/л. Ее колебания были незначительными как по вертикали, так и по акватории. Основные компоненты минерализации – ноны бикарбонатов и кальция.

В составе фитопланктона отмечено 72 вида. Численность 3,031 млн кл/л, биомасса 1,9 г/м^3. Зоопланктон представлен 41 видом, численность – 78 тыс экз/м^3, биомасса – 1,57 г/м^3. В большом количестве присутствуют личинки дрейссены.

Национальный парк «Нарочанский» расположен на северо-западе Республики Беларусь (Мядельский район) на границе с Литвой. Площадь 94 тыс км^2., утвержден указом от 28.07.1999 г. Основная часть территории принадлежит бассейну р. Вилии и ее правому притоку Страче. Северная часть дренируется р. Мяделкой, левым притоком р. Дисны в бассейне Западной Двины. На территории парка насчитывается 40 озер. Их общая площадь более 160 км^2. Наиболее крупные озера: Нарочь, Мястро, Баторино, Мядель, Свирь, Болдук, Швакшты.

Размещение озер, площадь, глубина, трофический уровень заметно различаются. Центральная Нарочанская группа расположена в пределах Нарочано-Вилейской равнины между Свенцянскими моренными грядами франкфуртской стадии последнего оледенения на севере и Вилейской низиной на юге. В состав национального парка вошли ранее образованные ландшафтный заказник «Блакітныя азеры», гидрологические заказники «Швакшты», «Черемшица» и биологический заказник «Пасынки».

Территория парка пользуется известностью любителей природы, туристов благодаря живописным ландшафтам, разнообразию рельефа, крупным лесным массивам. Многолетние научные исследования выполняются на гидрометеорологической станции первого класса и научно-исследовательской лабораторией гидроэкологии Белорусского государственного университета. Административный центр расположен в г. п. Нарочь. Широко развитая рекреационная деятельность вызывает скопление отдыхающих и туристов в летние сезоны, что вызывает черты трансформации озер и прибрежных

территорий. Появляется необходимость принятия определенных охранных мер. Поэтому создание национального парка своевременно и целесообразно.

Озеро Нарочь («Белорусское море») – крупнейшее, в республике, площадью 80 км^2 и объемом воды 0,7 км. Координаты: 54°50′ с. ш., 26°48′ в. д. Округлая котловина, разделенная большой косой на Малый и Большой плесы, слегка вытянута с северо-запада на юго-восток на 13 км. Особенность котловины подчеркивает ее асимметричность. Высокий северный склон оконтурен Свенцянскими грядами (Северо-Нарочанкой грядой) с абсолютными высотами 200–220 м и возвышается над поверхностью озера на 35–45 м. Здесь развиваются типичные абразивные берега, совпадающие со склонами. Волновая деятельность на пойме у их подножия образовала скопления крупных валунов. На северо-западе и западе значительные участки представлены аккумулятивными берегами с песчаными пляжами и береговыми валами. Местами хорошо прослеживаются террасы на высотах 4,5–1,5 м. На юге в районе истока р. Нарочь берега низкие и даже заболоченные. Сложно построено ложе озера, где чередуются далеко вытянутые холмистые участки с выступами и понижениями («Гатовичские ямы» с максимальными глубинами). Ложе озера отличается широкой литоралью. Глубины до – 20–24,8 м, средние – 9 м.

Общий водосбор Нарочанской группы 279 м^2, отдельно для Нарочи его величина всего около 60 км. Этот малый водосбор на 55 % покрыт лесом и на 10 % болотами и заболоченными землями. Озеро слабо проточно. Приток воды по р. Скеме поступает соседнего озера Мястро и многочисленных ручьев. На юге вытекает р. Нарочь, правый приток р. Вилии. В водном балансе около 60 % приходится на атмосферные осадки на зеркало, 30 % поступает с поверхностным притоком. Процесс водообмена около 10 лет.

Нарочь отличается высоким качеством воды, характерным для озер мезотрофного типа. Это выражается значительной прозрачностью (до 7–8 м), низкими показателями окисляемости и цветности, средними величинами минерализации (200–220 мг/л). Открытость котловины способствует интенсивному ветровому перемешиванию, слабо выраженной стратификации и постоянно высокому содержанию кислорода в течение года. Мезотрофный режим подтверждается низкими величинами биомассы фитопланктона (до 1 г/см), зоопланктона (1,2 г/м) и богатством бентальной фауны (в том числе дрейссены, Dreissena). Для озера буферную зону создают макрофиты, особенно погруженные. В их составе особую роль играют высшие харовые водоросли Chara, Nitellopsis и элодея. Глубина распространения макрофитов до 7,5 м. Оригинальными чертами отличаются донные отложения озера. Широкая прибрежная зона сложена песка-

ми и песчано-галечниковыми отложениями, ложе выстилают смешанные карбонатно-кремнеземистые осадки, иногда ожелезненные. В Малом плесе распространена озерная известь (карбонатные осадки) мощностью до б м с содержанием CaCO3 более 50 %. В оз. Нарочь обитает 19 видов рыб. Известностью пользуется угорь, мальками которого озеро зарыбляется с давних времен, а также представитель сиговых нарочанская ряпушка (селява). Рыбопродукция озер перерабатывается на местном рыбозаводе.

Озеро Мядель, площадью 15,4 км^2, отделено от Нарочи высокой Северо-Нарочанской грядой и относится к системе Западной Двины через ее левый приток Дисну и Мяделку. Координаты: 54°55′ с. ш., 26°50′ в. д. Подпрудная котловина вытянута на 6,3 км с северо-запада на юго-восток при максимальной ширине 4,0 км. Береговая линия длиной около 31 км сильно изрезана и образует кружевной рисунок с заливами, мысами, косами. Склоны озера преимущественно высокие (до 20 м). Пологие склоны распаханы, а на востоке и юго-востоке покрыты лесом, который занимает 24 % площади водосбора 89,8 км^2.

Озеро Мядель слабо проточно. Поверхностный приток представлен шестью небольшими ручьями; на севере вытекает р. Мяделка. Весь объем воды меняется раз в 5 лет. Морфометрические показатели, значительная площадь зеркала способствуют интенсивности динамического перемешивания, а следовательно, слабой температурной стратификации и небольшой мощности гиполимниона. В таких условиях весь объем водной массы обеспечивается кислородом. Значительная (>3 м) прозрачность, низкая окисляемость и цветность характеризуют мезотрофный режим озера с минерализацией около 200 мг/л. Об этом же свидетельствует невысокая (1,8 г/мо) биомасса фитопланктона с преобладанием диатомовых, а также зоопланктона (1,2 г/мо). В составе зоопланктона обнаружен представитель ракообразных Pallasea quadrispinosa. Характер зарастания также типичен для мезотрофных водоемов. Надводные растения не образуют сплошной полосы. Погруженные макрофиты рдесты, элодея, харовые распространены до глубины 4,5 м. На северо-западе харовые образуют густые подводные луга.

Донные отложения подчиняются закону вертикальной дифференциации. Глубокое участки ложа выстланы глинистыми ожелезненными илами, которые на средних глубинах сменяются кремнеземистыми и смешанными сапропелями. На СВ получили распространение карбонатные отложения. Содержание органического вещества во всех типах осадков невысокое. Озеро Мядель относится к ряпушко-снетковым водоемам, водится ряпушка, пелядь, угорь, судак, щука, сом. Последний внесен в Красную книгу Республики Беларусь.

Озеро Рудаково спрятано в глубокой впадине между Свенцянскими грядами. Координаты 54°54′ с. ш., 26°53′ в. д. Несмотря на малые размеры (0,24 км), оно отличается рядом уникальных черт. Озеро практически непроточное, но постоянство уровня и чистота воды свидетельствуют о преобладании грунтового питания. Площадь водосбора 1,16 км^2, леса занимают 10,3 %, рельеф холмистый, освоен под сельхозугодья.

Озеро Рудаково – глубокое. Максимальная глубина 28,6 м, средняя 11,3 м. Эворзионная котлообразная округлая котловина глубоко врезана в моренные суглинки. Склоны высокие (18–20 м) нередко совпадают с берегами, а длина береговой линии – 2,01 км. В подводной части котловины выделяется узкая литораль и крутой склон сублиторали. На долю мелководий с глубинами до 2 м приходится всего 12 % площади. Форма котловины, значительные глубины препятствуют ветровому перемешиванию и способствуют четкой стратификации водной массы. Температурный градиент в зоне скачка достигает 3,5 на 1 м, придонная температура ниже 6. Лимносистема Рудаково относится к мезотрофной с признаками олиготрофии. Об этом свидетельствует, в частности, расположение кислородного максимума не на поверхности, а на глубине металимниона, высокое содержание (более 50 %) кислорода в мощном гиполимнионе, слегка пониженная минерализация (200 мг/л), высокая прозрачность (около 5 м).

Фитопланктон беден, его биомасса всего 0,65 г/м^3, преобладают диатомовые. В конце зимы подо льдом развиваются водоросли Oscillatoria rubescens, окрашивающие воду в красный цвет («рудый») и исчезающие при повышении температуры. Эти представители фитопланктона служат индикатором высокого качества воды и встречаются в глубоких с признаками олиготрофии озерах (Долгое). Биомасса зоопланктона около 0,25 г/мо, бентос представлен главным образом моллюсками.

Ихтиофауна озера относится к сигово-снетковой, водится щука, окунь, зарыбилось пелядью.

Характер котловины, узкая литораль не способствует распространению надводных макрофитов. Подводные: рдесты, элодея, уруть, харовые распространены до 7–8 м, а водяные мхи до 13 м.

В составе донных отложений отсутствуют органические осадки. Преобладающие глинистые илы занимают основную часть ложа, на больших глубинах они приобретают ожелезненный характер.

Озеро Рудаково исключительно живописно и вместе с тем его лимносистема чрезвычайно ранима в условиях антропогенного воздействия.

Озеро Свирь расположено в западной части национального парка в бассейне р. Вилии. Координаты: 54°50′ с. ш., 26°28′ в. д. На западном берегу городской поселок Свирь, на востоке – д. Константиново. Абсолютная высота 149,8 м.

Типичная ложбинная котловина вытянута с северо-запада на юго-востоке на 14 км и оконтурена Свирской и Константиновской моренными грядами с высотами до 200 м. Ложе котловины корытообразное с чертами троговых долин, образованных деятельностью последнего ледника и подледниковых потоков. Склоны котловины на западе высокие (до 25 м). Восточные более пологие, а на юге и севере – низкие, иногда заболоченные. Береговая линия слабоизвилистая. Озеро неглубокое. При площади 22,8 км^2 максимальная глубина 8,7 м, а средняя 4,7 м. Под влиянием преобладающих северо-западных ветров водная масса подвергается интенсивному перемешиванию, что способствует состоянию гомотермии и гомооксигении в безледный период.

Свирь – проточное озеро. На юге впадает р. Смолка, вытекающая из соседнего мелководного оз. Вишневского; а на ЮВ р. Большой Перекоп. Основной выток направлен на северо-запад по р. Свирице. Водная масса характеризуется средней минерализацией (около 250 мг/л). Активная реакция щелочная (pH до 8,5), прозрачность около 1 м. Общий режим озера типичен для эвтрофного типа. Надводные макрофиты создают широкую (до 200 м) полосу вдоль берега. Погруженные, распространенные до глубины 2,5 м. Представлены рдестами, лютиком жестколистным, элодеей, харовыми. В состав фитопланктона входят 44 вида. Преобладают синезеленые и диатомовые, биомасса более 5 г/м^3. В зоопланктоне преобладают ветвистоусые рачки (C1adocera), общая биомасса 1,55 г/м^3. Зообентос представлен хирономидами, моллюсками.

Ихтиофауна лещево-щучья. Зарыбляется серебряным карасем, сазаном, угрем. Организовано озерно-товарное хозяйство. Интенсивная хозяйственная деятельность на водосборе (364 км^2) определяет значительную антропогенную нагрузку за счет населенных пунктов, большой распаханности, мелиорации. Значительную роль играет рекреационная деятельность туризм.

Озеро Великие* (*Большие*) *Швакшты расположено на западе парка в бассейне р. Страчи, правого притока Вилии. Координаты: 54°48′ с. ш., 26°35′ в. д. Озерная система Швакшты включает два водоема: Великие и Малые Швакшты. Последнее является истоком р. Страчи. Великие Швакшты значительны по площади (9,56 км^2). Мелководный водоем с максимальной глубиной 5,3 м.

Плоская котловина остаточного типа отличается извилистой береговой линией (длина 13 км) с широкими открытыми заливами на востоке. Южные склоны достигают высоты 8,9 м. Вдоль низких песчано-галечниковых берегов тянется береговой вал высотой до 0,5 м. Пойма чаще всего заболочена. Озеро слабопроточное. Впадает 5 небольших ручьев, выток

по протоке направлен в Малые Швакшты и далее в р. Страчу. Водосбор (84,6 км^2) низменный, с высокой облесенностью, местами заболочен.

Открытость котловины способствует интенсивному Озеро Б. Швакшты ветровому перемешиванию и прогреванию водной массы. В летнюю стагнацию формируется гомотермия и гомооксигения с высоким содержанием кислорода. Дефицит проявляется лишь в зимний период в придонных слоях. Для лимносистемы характерны черты высокой естественной трофности. Прозрачность около 2 м, средний показатель минерализации (220 мг/л), окисляемости (до 10 мг/л). Широкое распространение надводных макрофитов, в составе которых преобладает тростник, камыш, рогоз, хвощ, ежеголовник. У северных и западных берегов образовалась полоса растений с плавающими листьями: кубышка, кувшинка, стрелолист. До глубины 9,5 м распространены подводные макрофиты, главным образом телорез, роголистник, элодея, харовые. Одновременно развивается фитопланктон с преобладанием диатомовых и зеленых с общей биомассой до 10 г/м^3. Зоопланктон отличается разнообразием видов, но биомасса его не выше 1 г/м^3. По всему ложу представлены организмы бентоса (более 10 г/м^2) в основном за счет моллюсков. Великие Швакшты богаты рыбой: угорь, налим, щука, лещ, сазан, окунь типичны для лещево-щучьих водоемов.

Для высокоэвтрофного режима озера характерна большая мощность отложений. Центральную часть котловины выстилают органические тонкодетритовые сапропели мощностью до 6–8 м (запасы 25 млн мо). На западной в мелководной части озера значительную часть занимают карбонатные осадки.

Антропогенное влияние на режим озера ограничивается его использованием в целях рыболовства и рыбоводства (зарыбление сазаном, карпом, серебряным карасем). В будущем целесообразно сохранить направление использования озера для любителей-рыболовов, а также в качестве примера для изучения высокоэвтрофного озера и его эволюции.

Ландшафтный заказник «Голубые (Блакитные) озера» расположен на западе Беларуси на границе с Литвой в пределах Поставского и Мядельского районов. Расстояние до г. п. Льгнтупы 4 км. Координаты: 54°57′ с. ш., 26°23′ в. д. Здесь один из первых в республике, в 1972 г. основан ландшафтный заказник в системе р. Неман (бассейн Вилии и Страчи). В отличие от соседних открытых и распаханных возвышенностей территория заказника почти на 90 % занята лесами, а также озерами и небольшими болотами. Уникальными особенностями обладает рельеф территории, представленный озовыми грядами и камовыми холмами с относительными высотами до 50–60 м. Холмы носят характер крутосклонных сопок, сложенных слоистыми песками. Озера расположены в понижениях поверхности. Их количество достигает 10: Болдук, Глубля, Глубелька,

Мертвое, Ячменек, Болдучиха, Имшарец и др. Сохранению озер способствует очень слабая проточность. Реки практически не дренируют водоемы и соединены с ними мелководными протоками. Озера пользуется широкой известностью у туристов и любителей природы.

Озеро Болдук наиболее крупное и глубокое озеро заказника. Расположено на его северной границе (координаты: 54°58′ с. ш., 26°25′ в. д.). Вытянутая на 2 км с северо-запада на юго-востоке глубоко врезанная в моренные отложения, котловина является типичным примером ложбинного (гляцигенного типа). Троговый характер котловины подчеркивается прямолинейностью береговой линии, типичным рисунком продольного и поперечного профилей, плоским дном и высокими крутыми (до 35 м) склонами. При небольшой площади (0,76 км^2) максимальная глубина достигает 40 м, а средняя более 15 м.

Морфометрические особенности создают условия для слабой ветровой деятельности резко выраженной стратификации водной массы (показатель глубинности 16,64, открытости – 0,05). Приток в озеро осуществляется несколькими ручьями, выток в Страчу – мелким ручьем. Особенности гидрологического режима подчеркиваются высокими показателями водообменности около 10 лет, что делает озеро весьма чувствительным к антропогенным воздействиям, учитывая также малую площадь водосбора (1,64 км).

Болдук отличается высоким качеством воды, присущим мезотрофным с признаками олиготрофии озерам. Высокая прозрачность (около 5 м), низкая цветность, обеспеченность кислородом всей массы воды с небольшим превышением на поверхности и понижением до 50 % вблизи дна, где температура в летнюю стагнацию не превышает 5. Колебания гидрохимических условий в течение года невелики. pH на поверхности 8,5, на дне понижается до 7,5. Общая минерализация немного выше 200 мг/л, а основные биогенные вещества (фосфор, аммонийный азот) содержатся в тысячных долях мг/л. Принадлежность озера к водоемам с признаками олиготрофии выражается и в биологических показателях. Узкая литоральная полоса с редкими представителями надводных макрофитов до глубины 6–8 м сменяется подводными, главным образом рдестами, роголистником, харовыми. В составе водорослей преобладают диатомовые, а общая биомасса фитопланктона не превышает 1 г/м^3. Состав зоопланктона также беден, биомасса около 0,8 г/м^3, а зообентоса – 4 г/м^2.

Озеро Болдук типичный сигово-снетковый водоем, распространена также щука, окунь, плотва, уклея. Озеро Болдук пограничное между национальным парком и освоенными землями. На его северо-восточном берегу расположена д. Войшкуны, скотные дворы и посевы. В определен-

ной степени влияние антропогенного воздействия сказывается на режиме водоема.

Озеро Глубля лежит в глубоком понижении в центре заказника (координаты: 54°57′ с. ш., 26°23′ в. д.). Это второй по величине водоем с площадью 0,47 км^2 и максимальной глубиной 26,8 м. Ложбинная котловина вытянута на 1,5 км. Склоны в основном крутые, поднятые над уровнем воды на 30–35 м, часто совпадают с берегами. В 1929–1930 гг. уровень озера был искусственно поднят на 1 м для заполнения и подпитки соседних Ольшевских рыбоводных прудов. Об этом свидетельствует заболоченная прибрежная полоса. Подводная часть котловины имеет корытообразную форму трога с крутыми склонами сублиторали. Морфометрические особенности озера соответствуют слабому проявлению ветрового перемешивания, развитию четкой стратификации водной массы с сохранением мощного гиполимниона с температурой около 5? весь период летней стагнации. Слабая проточность – ручей из оз. Глубелька и слабый сток в р. Страчу, сказывается на особенностях гидрохимического режима. Смена всего объема озера (водообменность) составляет 8–9 лет. Вода в озере чистая, прозрачность более 5 м. В содержании кислорода проявляется слабое поверхностное перенасыщение летом и дефицит в придонных слоях. Активная реакция щелочная, что свидетельствует о богатом соленом составе воды. Общая минерализация за счет растворенных карбонатов достигает 300 мг/л, а в соседнем маленьком оз. Глубелька она превышает 350 мг/л. Название «Голубые озера» связано с необычным зелено-голубым цветом воды Глубли. По-видимому, этот оттенок ему обеспечивают светлые карбонатные отложения, выстилающие ложе.

Озеро слабо зарастает. Надводные макрофиты образуют разреженные заросли, в которых встречаются редкие растения: водяная сосенка, мечтрава, включенная в Красную книгу Республики Беларусь. Сублитораль до глубины 7 м покрыта зарослями роголистника и харовых водорослей. Бедностью отличается фитопланктон (<2 г/м^3), в составе которого преобладают диатомовые. Биомасса зоопланктона, представленная главным образом коловратками, менее 0,4 г/м^3. Фауна зообентоса (хирономиды, хаоборины) не выше 1,5 г/м^2.

В составе донных отложений доминируют карбонатные сапропели, занимающие глубины от 1 до 10 м. Содержание $CaCO_3$ в них 70 %. Ниже залегают смешанные осадки, содержащие 30–35 % $CaCO_3$ и такое же количество кремнезема.

Озеро Глубля, как и соседние Глубелька, Ячменек, особенно интенсивно используется в целях летней рекреации. Вместе с тем они отличаются слабой устойчивостью своих экосистем, что вызывает необходимость особо внимательного отношения к их охране.

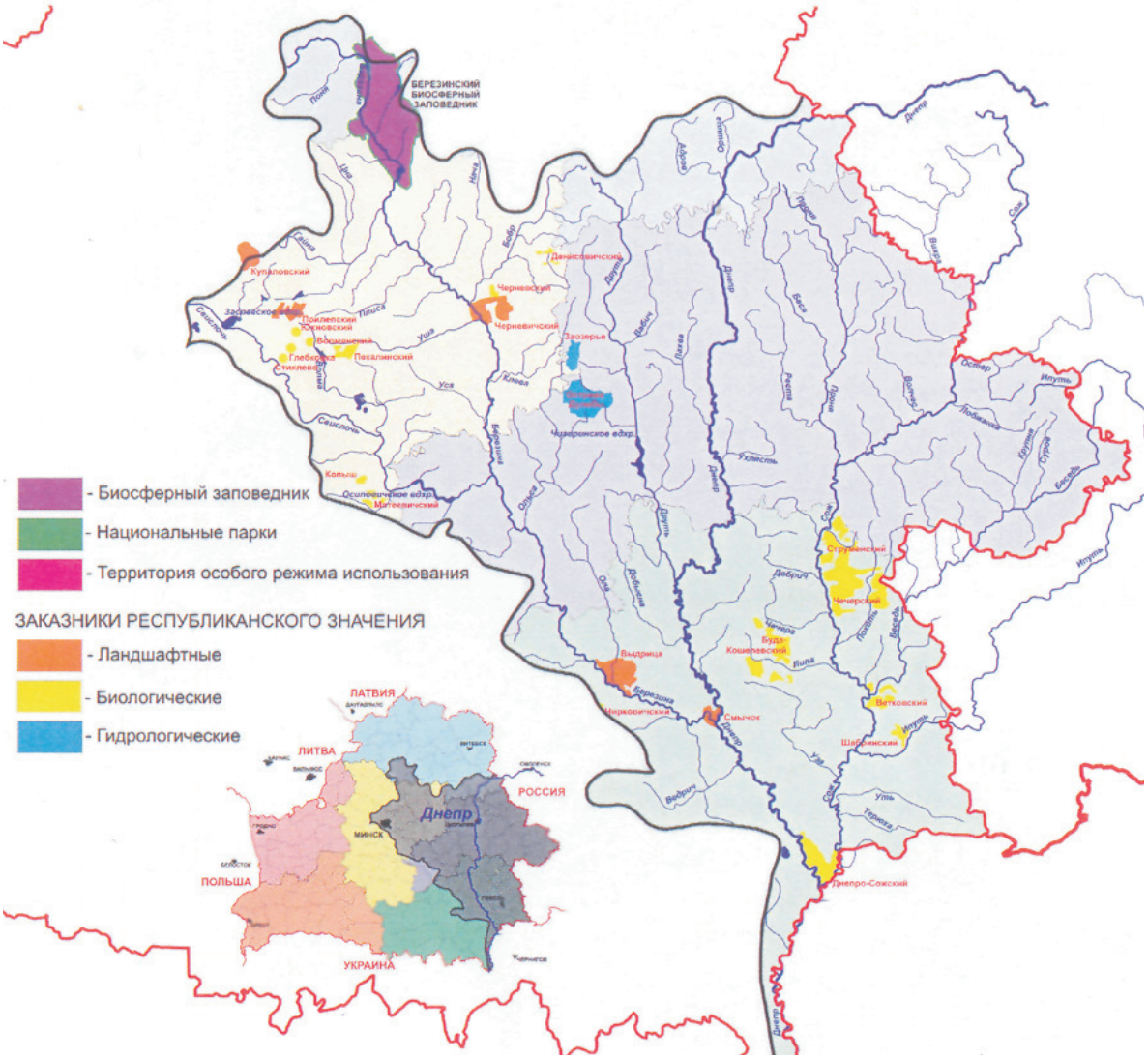


Рис. 15.3. Особо охраняемые объекты в бассейне р. Днепр

Биосферныцй заповедник «Березинский» расположен в пределах Верхнеберезинской низины в бассейне р. Березины (днепровской) и ее левого притока р. Сергуч (Витебская обл., Докшицкий и Мядельский районы; Минская обл., Борисовский район) (рис. 15.3).

Основан 30.01.1925, в 1978 г. получил статус биосферного для охраны диких животных, особенно бобра. Площадь 762 тыс. км^2. В 1797–1805 гг. на этой территории был построен днепровско-двинский судоходный канал длиной 165 км для перевозки строительного леса. Он проходил от р. Березина и Сергуч через озера Манец и Плавно и далее по каналу в р. Эссу – Лепельское озеро – р. Уллу – левый приток Западной Двины. Канал потерял свое значение в связи с обмелением рек и озер, а также появлением железнодорожного транспорта.

Основная площадь заповедника представлена заболоченной и облесенной низиной, реки и озера занимают 2,3 % территории, открытые болота 10,5 %. Наиболее значительные озера: Ольшица, Плавно, Мавец, Теклиц, Палик, Домжерицкое. Все расположены в плоских мелководных котловинах остаточного типа. Флора и фауна заповедника весьма разнообразна и богата: 30 видов растений и 9 видов животных занесены в Красную книгу Республике Беларусь. Среди них – зубр, бурый медведь, черный аист, скопа, беркут, ремез, серый сорокопут, гоголь, длиннохвостая неясыть. Растения-краснокнижники: береза карликовая, колокольчик персиколистный, зубянка клубненосная, тайник сердцевидный, линнея северная, наперстянка крупноцветная, венерин башмачок и др.

Озеро Ольшица расположено в северной части всей системы озер является типичным для заповедника. Координаты: 54°52′ с. ш., 28°25′ в.д. Площадь 3,98 км^2, максимальная глубина 2,7 м, средняя – 1,25. Плоская округлая котловина на юге образует длинный отросток протоку, соединяющую его с оз. Плавно, длина с протокой составляет 3,32 км. Склоны низкие, заболоченные, берега выражены плохо. Мелководность и открытость озера способствует ветровому перемешиванию и созданию гомотермии и гомооксигении в течение безледного периода. Зимняя температура у дна до 4 °С при полном потреблении кислорода. Минерализация воды слегка понижена (140–150 мг/л), цветность до 100°. Величина pH зимой понижается до нейтральной. Озеро хорошо проточно. На севере впадает р. Сергуч и несколько заросших канав. Выток в Плавно расположен на юге. Озеро зарастает по всей площади. Основные представители макрофитов: тростник, камыш, манник водный, телорез, ежеголовник, рдесты. Биомасса фитопланктона 5,4 г/мо, в основном диатомовые и синезеленые (58 видов). Зоопланктон (22 вида) представлен в основном веслоногими рачками с биомассой 1,27 г/м^3, бентос развит очень слабо (0,39 г/м^3). Ихтиофауна карасево-линевая.

Озеро Домжерицкое расположено в центре заповедника. Координаты: 54°14′ с. ш., 28°22′ в. д. Площадь 2,29 км^2. Занимает округлую котловину, вытянутую на 1,97 км, максимальная глубина 2,15 м, средняя – 1,23 м. Склоны, как и берега, низкие, заболоченные, поросшие кустарником. Из общей площади водосбора (30,5 км^2) 80 % покрыто заболоченными лесами. Мелководность озера способствует ветровому перемешиванию, гомотермии и гомоксигении в безледный период. Зимой возникает резкий кислородный дефицит при температуре 4 °С. Нейтральный показатель pH, высокая цветность. значительная окисляемость свидетельствуют о большом значении болотного питания. Озеро слабопроточное. С р. Сергуч оно соединено протокой, на юге впадает ручей.

Макрофиты покрывают все ложе. В прибрежной зоне (до 200 м) преобладают надводные и с плавающими листьями. В центре – подводные макрофиты. Фитопланктон включает 56 видов, но биомасса его менее 1 г/м^3. Биомасса зоопланктона – 1,5 г/м^3. Низкая биомасса зообентоса (0,8 г/м^3), как и другие показатели, свидетельствует о признаках дистрофирования.

Донные отложения в прибрежной зоне представлены торфяниками низинного типа. Ложе выстилают грубодетритовые высокоорганические сапропели с содержанием органики до 70 % мощностью 3–4 м. Они подстилаются карбонатными отложениями, а ниже песком.

Антропогенное влияние на режим озер практически отсутствует в связи с расположением их в пределах биосферного заповедника.

Ландшафтный заказник «Бабиновичский» расположен в Лиозненском районе Витебской области, площадь км^2, на территории заказника расположены два озера, утвержден Советом Министров Республики Беларусь № 1458 от 14.09.1998.

Озеро Ситнянское расположено в 3 км к юго-востоку от д. Бабиновичи, в системе р. Лучесы, бассейна Западной Двины. Координаты: 54°50′ с. ш., 30°40′ в. д.

Котловина озера лопастной формы, вытянута с севера-запада на юго-восток. Площадь зеркала 0,47 км^2. Длина озера 1,88 км, максимальная ширина 0,3 км. Длина береговой линии 4,25 км. Водоем мелководный, максимальная глубина 3,1 м при средней 1,75 м. Объем воды 0,82 млн м^3. Склоны котловины высотой 5–15 м на юге крутые, на севере пологие, заняты сельхозугодьями. Берега обрывистые, высокие, сливаются со склонами, сложены песками, поросшие кустарником. Озеро слабопроточное, на севере-востоке впадает ручей в р. Верхита.

Подводная часть котловины имеет простое строение. Литораль крутая, сложена песком, ложе плоское, выстлано смешанным сапропелем. Общие запасы сапропеля 1,5 тыс. куб. м. По составу химического вещества и физическим свойствам сапропель можно использовать для удобрительной кольматации в сельском хозяйстве. В химическом составе преобладает SiO_2 (до 35 %), CaO (10–13 %), соединения P_20_5 (0,7 %), влажность сапропеля около 80 %, табл.

Высшая водная растительность ввиду крутой литорали и низкой прозрачности развита слабо. Представлена редкими зарослями тростника вдоль берегов и единичными видами подводных макрофитов (рдесты), за исключением крайних западного и восточного заливов, где надводная –растительность развита более интенсивно и образует густые заросли камыша тростником и кубышкой.

Химический состав водной массы формируется под влиянием качества приточных вод, наличия источников загрязнения и направленности

внутриводоемных процессов. По химическому составу вода озера относится к гидрокарбонатному классу кальциевой группы. В составе воды преобладает гидрокарбонатный ион (122 мг/л), кальций (38,5 мг/л), магний (17,8 мг/л). На долю остальных ионов приходится менее 12 % общего соленого состава. Минерализация воды не высокая (менее 200 мг/л). Активная реакция воды слабощелочная (водородный показатель pH 7,8). Прозрачность воды низкая – 1 м). Цветность высокая (140°). Вода с желтым оттенком. Содержание воде органических соединений высокое, о чем свидетельствует величина окисляемости (перманганатная 27,85 мг 0_2/л, биохроматная 54,88 мг 0_2/л).

Озеро испытывает интенсивное антропогенное воздействие, проявляющееся в поступлении питательных и загрязняющих веществ с поверхностным стоком с распаханного водосбора, а также плоскостным смывом с территории д. Ситно, расположенной на южном берегу. Негативное воздействие со стороны водосбора несколько сдерживается полосой луговой и кустарниковой растительности шириной 50–70 м, отделяющей деревню от уреза воды. Кроме того, поступлению веществ препятствует земляная насыпь дороги высотой 1,5, отделяющая приусадебные участки от побережья.

В целом качество воды оз. Ситнянское низкое, умеренно загрязненное, с несколько повышенным содержанием питательных (азот, фосфор) и загрязняющих (хлориды, сульфаты) веществ, с большим количеством органики. По гидрохимическим показателям и уровню развития гидробионтов озеро относится к эвтрофному типу. Редких и охраняемых видов .организмов в озере не обнаружено. Основное использование водоема: водопотребление, лов рыбы, место отдыха.

Озеро Зеленское (Бабиновичское) расположено к юго-востоку от д. Бабиновичи, в системе реки Лучеса, бассейна Западной Двины. Координаты: 54°50 с. ш., 30°36 в. д. Котловина озера лопастной формы, вытянута с северо-запада на юго-восток, состоит из двух плесов (северо-западного и юго-восточного). Площадь зеркала 1,2 кв. км. Длина озера 2,4 км, максимальная ширина 0,8 км. длина береговой линии 6,15 км. Водоем мелководный, максимальная глубина 3,0 м, при средней 1,84 м. Объем воды составляет 2,25 млн куб м. Склоны котловины крутые, высотой 10–15 м, вокруг северо-западного плеса распаханы, юго-восточный плес окружен лесом. Берега высокие, частично совпадают со склонами, сложены песком, поросшие кустарником.

Подводная часть котловины имеет простое корытообразное строение. Глубины от берега плавно возрастают. Литораль узкая, песчаная. Максимальная глубина расположена в восточной части северо-западного плеса. Плесы разделены поднятием дна (усухой) с глубиной 5 м. Ложе

плоское, выстлано кремнеземистым сапропелем, вдоль берегов опесчаненным. Максимальная мощность сапропеля 7,5 м, средняя около 4 м. Общие запасы 4,5 тыс. куб м. По составу химического вещества и физическим свойствам сапропель можно использовать для удобрительной кольматации в сельском хозяйстве. В химическом составе преобладает iO2 (до 44 %) CaO (2,6 %), соединения P_2O_5 (ІЛ0о). зольность около 72 %, влажность около 79 %, табл.

Озеро проточное. В восточной части в озеро впадает р. Верхита, с севера и юга два ручья с одинаковым названием (Узменка), на юго-востоке мелиоративная канава. На западе из озера вытекает р. Лучеса. Высшая водная растительность в результате низкой прозрачности воды развита слабо. Вдоль берегов встречаются редкие заросли воздушно-водной растительности (тростник, камыш) и отдельные экземпляры подводных макрофитов (рдесты, элодея) не образующих полосы зарастания. Наиболее интенсивно зарастает северо-восточная часть озера. Ширина надводных зарослей здесь достигает 100 м.

Химический состав воды оз. Зеленское определяется качеством воды притоков (р. Верхита, ручьи) и поступлением биогенных и загрязняющих веществ с территории д. Бабиновичи, птицефабрики имени Заслонова и фермы крупного рогатого скота, расположенных на западном и юго-западном берегах озера.

Вода в озере гидрокарбонатного класса кальциевой группы, среднеминерализированная (около 200 мг/л). В донном составе доминирует HCO_3 (1 098 мг/л) и Ca (46,9 мг/л). Активная реакция воды щелочная (водородный показатель pH 8,0). Прозрачность воды низкая (менее 10 м), цветность высокая (1 50°). Содержание органического вещества высокое (перманганатная окисляемость 30,9 мг O_2/л, биохроматная 486 мг O_2/л), как результат интенсивных продукционных процессов. Основу растворенной органики в озере образуют гуминовые кислоты болотного происхождения, поступающие по притоку (р. Верхита и Узменка) с расположенного южнее мелиорируемого участка «Осинторф».

В целом вода в озере низкого качества, умеренно загрязненная. Основными источниками загрязнения являются плоскостной смыв с территории фермы и птицефабрики во время снеготаяния и дождей. Кроме того, значительное количество биогенных и загрязняющих веществ поступает с экскрементами животных и птицы в местах водопоя и выгула (на северном и юго-западном берегах). Вдоль западного берега незначительное количество загрязняющих веществ поступает с приусадебных участков д. Бабиновичи, удаленных от озера на 200 м. Рассеянными источниками загрязнения можно считать места отдыха и стоянок неорганизованных туристов и местных жителей на северном и восточном берегах озера.

Использование озера ограничено хозяйственно-бытовым водопотреблением, ловом рыбы, рекреацией. Озеро является водоприемником мелиоративных вод. В природном отношении ценность водоема определяется водорегулирующей ролью гидросети рек Верхиты и Лучесы, местообитанием ценного пушного зверя – бобра и наличием в озере запасов сапропеля, пригодного для использования в сельском хозяйстве для удобрения. Однако добыча его ввиду высокой себестоимости целесообразна только в исключительных случаях: для покрытия дефицита органических удобрений в прилегающих хозяйствах или в качестве методов восстановления озера после ликвидации источников загрязнения (птицефабрики, фермы).

Ландшафтный заказник «Озера» расположен на западе Беларуси в Гродненском районе Гродненской области. Образован в 1990 г. на базе зоны отдыха «Озера» (рис. 15.4). Площадь 218,5 кв. км. Поверхность плоско-волнистая и равнинная, преобладают моренные глинки и супеси. Большая часть территории покрыта смешанным лесом, на юге значительная площадь распахана.

В центре заказника расположена система озер, вытянутых с севера на юге узких ложбинных котловинах, соединенных протоками. Наиболее значительное оз. Белое, к югу от него оз. Рыбница, на севере оз. Молочное. Параллельно вытянуты озера в виде узких лент с севера на юг: Веровское, Кальница, Сорацкое. Антозеро, Черное, Зацкое.

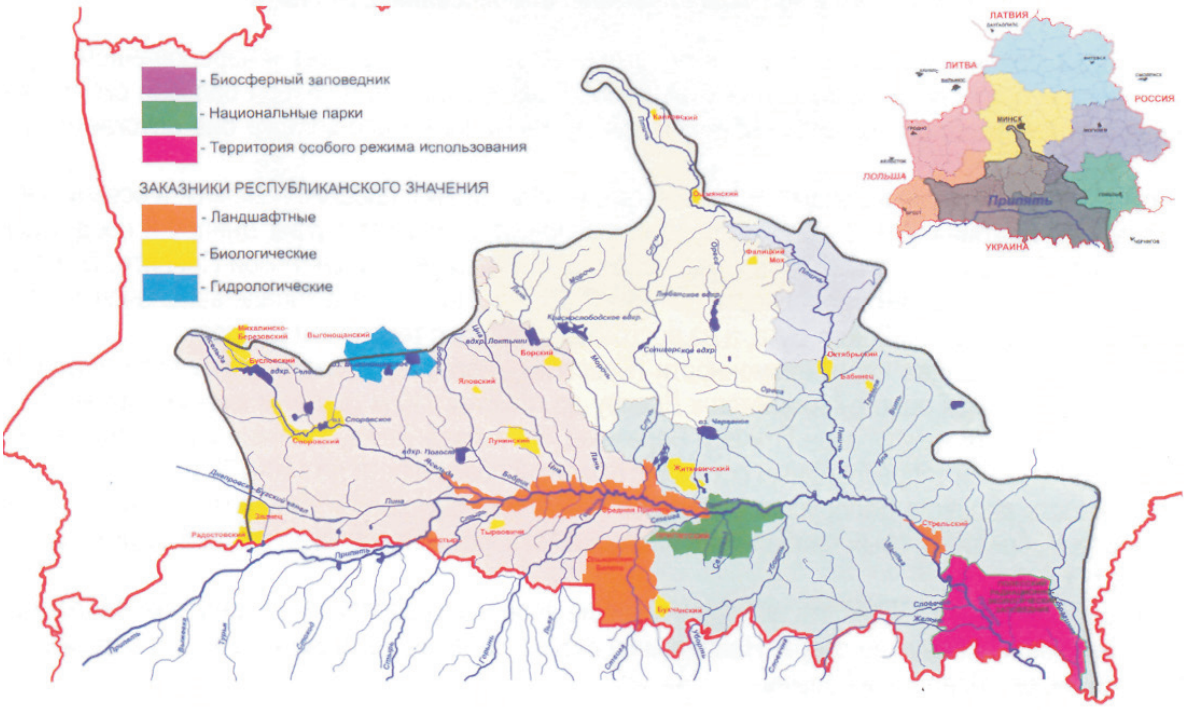


Рис. 15.4. Особо охраняемые территории бассейна р. Неман

Озеро Белое расположено в 25 км от Гродно. На южном берегу деревня «Озера». Координаты: 53°45′ с. ш., 24°12′ в. д. Площадь 7,1 кв. км, в системе реки Пыранка, которая начинается в оз. Молочном, пересекает Белое по длинной оси и впадает в р. Котра – правый приток Немана. Площадь водосбора 267 кв. км. Ложбинная котловина вытянута с севера на юг на 13 км, наибольшей ширине 1,15 км. Склоны высокие (10–15 м), крутые, заняты лесом. Максимальные глубины озера не превышают 12 м, а в соседних водоемах – 5–6 м. Подводная часть котловины корытообразная с плоско-волнистым ложем и хорошо выраженной сублиторалью. Гидрохимические показатели свидетельствуют об эвтрофном режиме озера. Температурная и кислородная стратификация выражена на максимальных глубинах. Общая минерализация не превышает 220–230 мг/л, при величине гидрокарбонатного иона 160–170 мг/л. Активная реакция среды щелочная (pH > 8). Прозрачность 1,8 м.

Особенностью озера является характер донных отложений, представленных карбонатными сапропелями с содержанием $CaCO_3$ более 50 %. Они заполняют почти всю чашу озера, за исключением песчаной литорали. Запасы карбонатных и смешанных сапропелей 15,4 млн куб. м. Средняя мощность более 3 м, максимальная – 7,6 м. В воздушно-сухом состоянии сапропели содержат 5 % азота, 2,3 % окисного железа, 13,7 % кальция, 0,8 % фосфора при водородном показателе pH 7,4. Озерные отложения озера известны под названием Белозерского месторождения карбонатов. Используются в лечебных целях, для известкования кислых почв и для удобрения.

Ландшафтный заказник «Красный Бор» расположен на северо-востоке Беларуси на границе с Псковской областью. Витебская область, Россонский район. 22 км к югу от г. Россоны. Высота над уровнем моря 135–136 м. Площадь 342,3 км^2. Утвержден постановлением Севета Министров Республики Беларусь № 132 от 13 марта 1995 г. Ландшафты типичные для холмисто-моренно-озерного рельефа эпохи последнего оледенения (поозерского), браславской (поморской) стадии.

Озера: Белое Большое, Белое Малое, Изубрица, Блинец, Бредно, Буянка, Деня, Клешна, Плотничное, Моховое, Тутче, всего более 40 малых и очень малых.

Основное число озер расположено на водосборе рек Свольны и Нищи – правых притоков Западной Двины. Преобладают котловины термокарстового, подпрудного, эворзионного типов, размещенных в замкнутых понижениях сильно расчлененного холмисто-моренного и озерно-камового рельефа, а также в пределах крупных верховых болот: Юховичский Мох (оз. Моховое), Великое Болото, Болото Великий Мох. На всей территории доминируют лесные ландшафты. Процент лесистости достигает 85 %, из

них лесные болота 9 %, озера 1 %. Заказник отличается живописностью, слабой хозяйственнной освоенностью и большим числом редких и исчезающих видов флоры и фауны.

Растения занесены в Красную книгу Республики Беларусь: береза карликовая, морошка приземистая, баранец обыкновенный, касатик сибирский, тайник яйцевидный. В озерах обитают кубышка малая, линнея северная, лобелия Дортмана, полушник озерный, нителопсис притупленный.

В лесах, болотах и озерах обитают краснокнижники Республики Беларусь: белая куропатка, черный аист, змееяд, золотистая ржанка, средний и большой кроншнепы, серый сорокопут, лебедь-шипун, серый журавль, дербник, большой улит, орлан-белохвост, чернозобая гагара. Сохранились такие животные, как рысь, барсук. Особыми чертами и индивидуальностью обладают наиболее значительные озера.

Озеро Большое Белое находится в 4 км от д. Лисно. Координаты: – 55°42′ с. ш., 29°33′ в. д. Бессточное. Площадь 3,01 км^2, объем 10,5 млн м^3, максимальная глубина 7,1 м. Склоны котловины высокие, на северо-западе пологие. Берега низкие, песчаные, заросшие кустарником. Газовый и гидрохимический режим характерен для мезотрофного низкоминерализованного водоема. Содержание кислорода близко к 100 % на поверхности и около 60 % насыщения в придонных слоях. Общая минерализация в летнюю стагнацию до 75 мг/л; активная реакция среды близкая к нейтральной. Прозрачность превышает 3 м, цветность около 20 %. Донные отложения – опесчаненные илы и маломощные сапропели.

Содержание биогенных элементов низкое: биомасса фитопланктона менее 1,0 г/м^3, зоопланктон и зообентос развиты слабо. Макрофиты составляют основу растительных организмов. Надводные образуют полосу до 100 м. Подводные до глубины 3 м представлены харовыми, роголистником, урутью, рдестами. На юго-востоке на глубине 0,5–1,0 м произрастает лобелия Дортмана, внесенная в Красную книгу международную и Республики Беларусь. Здесь проходит южная граница ее распространения. Ихтиофауна разнообразна: лещ. щука, плотва, сазан и др. Привлекает туристов и рыболовов. Озеро одно из 40 водоемов Республики Беларусь характеризуется в качестве резервата чистой воды. Водная масса высокого качества, соответствующая требованиям Государственного стандарта, регламентирующего качество питьевой воды.

Озеро Белое Малое пользуется известностью благодаря особенностям своей котловины термокарстового типа «pingo». Координаты: 55°35′ с. ш., 28°50′ в. д. Площадь зеркала 1,17 км^2, объем воды 4,06 млн м^3. круглая котловина окружена кольцом высоких облесенных склонов. Подводная часть котлообразная, максимальная глубина 6,6 м. Озеро стоковое, на 3 ручей в р. Свольна. Типичен мезотрофный режим. Пониженная (до 80 г/л)

минерализация, нейтральная активная реакция, низкая (до 20?) цветность, прозрачность до дна. Высокое качество воды сочетается с низкой биомассой фитопланктона (0,3 г/мо), зоопланктона и зообентоса. Водоем макрофитного типа. Дно полностью покрыто водной растительностью. Вдоль северо-западного берега на глубине около 0,5–1,0 м распространен охраняемый вид лобелия Дортмана и полушник озерный. Оба вида занесены в Красную книгу Республики Беларусь, а лобелия и в Международную. Ихтиофауна представлена в основном щукой, окунем, отвой. Донные отложения главным образом песчаные в сочетании с тонким слоем органического ила. Своеобразие котловины, живописность окружающей территории привлекают многочисленных любителей природы, главное богатство озера чистая вода.

Озеро Моховое типичное для верховых болот. Координаты: 56°03′ с. ш., 28°36′ в. д. Округлая котловина остаточного типа, склоны не выражены, берега сплавинные. Водная масса крайне низкоминерализованная (20 мг/л). Поступление болотных вод создает высокую цветность и окисляемость, биомасса фитопланктона 27 г/мо. Полностью заросло надводными и погруженными макрофитами. Из редких известны кубышка малая, и представитель зоопланктона рачек Holopedium giberrum. Ложе на 4–5 м заполнено органическими тонкодетритовыми сапропелями.

Ландшафтный заказник «Селява» расположен в Крупском районе Минской области, общая площадь 1926,1 км^2, образован 25.02.1993 для охраны озерных ландшафтов южной части Поозерья. В заказник входят озера Селява, Обида, Худовец, Болютское, Кветино.

Озеро Селява – самое крупное на территории заказника и одно из крупнейших в регионе, ядро охраны заказника, координаты 54°34′ с. ш., 29°10′ в. д. Озеро в бассейне р. Юнга, системы р. Улла, слабопроточное. В озеро впадают две реки: р. Высокая и р. Ракировка, вытекает р. Юнга. Котловина озера ледникового происхождения, подпрудного типа, лопастной формы, расположена в хорошо выраженной, вытянутой в меридиональном направлении ложбине. Склоны котловины высотой 4–5 м, лишь в отдельных местах достигают 10–12 м, сложенные суглинком и супесями. Окружающая озеро территория мелко холмисто-грядовая, местами равнинная, с относительными высотами до 20 м. На большом протяжении покрыта смешанным лесом, преобладает сосна с примесью ели, березы, осины, ольхи, у населенных пунктов распахана. Особой облесенностью выделяется южная часть котловины озера.

Площадь зеркала озера 15,0 км^2, наибольшая длина 15 км, наибольшая ширина 3 км, максимальная глубина 17,6 м, средняя – 6,3 м. Береговая линия умеренно извилистая, длина 40 км. Рельеф дна сложный. В

расширенной северной части дно в основном плоское, с однообразными глубинами порядка 4–8 м. В узкой южной части имеется впадина, к которой приурочена максимальная глубина. Подводные склоны обычно очень крутые, литораль имеет резкий переход к профундали. На озере имеются три острова. Наибольший из них имеет площадь около 2 км^2. Поверхность острова холмистая, с общим уклоном на восток. Наиболее высокая юго-западная часть (8,5 м). Восточная часть озера низкая, в основном заболоченная. Остров почти повсеместно покрыт молодым смешанным лесом, используется как пастбище, на острове имеется стоянка древнего человека. Дно озера почти повсеместно выстлано илами, лишь узкая полоса прибрежной части занята песком с включением гальки.

Озеро слабо зарастает надводной растительностью. Растительность представлена главным образом камышом, тростником, ситником, рдестом, осокой, подводная растительность развита слабо и представлена рдестами, роголистником, урутью, в заливах – телорезом, кубышкой, кувшинкой.

Вода в озере среднеминерализована (260 мг/л), слабощелочная (pH 8,0), цветность низкая (60°), прозрачность до 3,0 м, без цвета, запаха и вкуса. В северной, мелководной части практически равномерно прогрета и насыщена кислородом, в глубоководной части четко стратифицирована.

Водосбор озера (площадь 350 км^2) холмистый, моренный, преобладают дерново-подзолистые почвы. Леса рассредоточены небольшими массивами по водосбору, 2/3 из них заболочено. Болота низинные, сосредоточены главным образом в водосборах рек Ракитовка и Высокая.

Ландшафтный заказник «Синьша» организован на площади 13 398 км^2 в Россонском районе Витебской области с целью сохранения уникальных природных форм ландшафтов с исторически сложившейся, в незначительной степени измененной хозяйственной деятельностью человека флорой и фауной, включающими значительное количество видов, занесенных в Красную книгу Беларуси с целью бережного сохранения озерных экосистем в истоке р. Дрыса, имеющих важное гидрологическое и климатообразующее значение для обширного региона севера Беларуси.

Отличительной особенностью природы заказника «Синьша» являются многочисленные озерные котловины, образующие две параллельные полосы, вытянутые с северо-запада на юго-восток. Озера соединены между собой протоками и образуют общую систему, которая дренируется р. Дрысой, вытекающей из оз. Дрысы. Котловины озер имеют ледниковое происхождение, относятся к ложбинным, сложным, эворзионным, термокарстовым. Несмотря на относительно небольшие глубины, они чаще всего отличаются значительной высотой склонов, разнообразием и живописностью береговой линии.

Площадь водосбора самого южного в этой группе озер составляет 1 782 км^2. За пределами республики находится 92 % всего водосбора. На территории Беларуси площадь водосбора оз. Синьша 145 км^2. Облесенность – 72 %, заболоченность – 3 %, озерность – 10 %. На долю освоенных человеком земель приходится 15 – % водосборной площади. Водоемы почти не затронуты хозяйственной деятельностью человека, за исключением озер Волобо и Оптино, на берегах которых расположены деревни Заборье и Озерная. Озера служат местом отдыха многочисленных туристов. Водный маршрут, проходящий по Дрысе, захватывает все расположенные на ней озера. Озера отличаются сложной конфигурацией береговой линии с высокими облесенными склонами, обилием островов, живописностью ландшафта. Озера занимают площадь до 15 км^2 и обладают запасом воды в 46 млн м^3.

Минерализация воды невысокая, до 200 мг/л. В озерах Оптино и Волобо несколько выше, до 260 мг/л, что является результатом влияния близлежащих населенных пунктов. Прозрачность воды летом более 2 м. Биомасса фитопланктона невысокая, около 1,5 г/м^3, за исключением озер Оптино и Ямно, где биомасса фитопланктона составляет 3,39 и 6,76 г/м^3 соответственно.

В целом озера характеризуются как слабоэвтрофные мелководные глубокие водоемы со средними глубинами 2,5–5,2 м. Невысокий уровень трофии, высокое качество воды озера сохранились благодаря низкой антропогенной нагрузке со стороны водосборной территории.

Озеро Волобо самое крупное в системе озер. Координаты: 55°54′ с. ш., 29°20′ в. д. Расположено у д. Северная, и 1,0 км к юго-западу от д. Заборье. Котловина ложбинного типа сложной лопастной формы, вытянута с запада на восток. Состоит из трех .плесов.

Окружают озеро пологие, на востоке крутые песчаные склоны, высотой 10–15 м, повсеместно покрыты лесом, на западе – распаханы. Береговая линия длиной 17 км сильно изрезана, образует множество заливов и полуостровов. Берега низкие, песчаные, высотой 0,1–0,3 м на востоке совпадают со склонами. покрыты лесом и кустарником. Подводная часть котловины имеет сложное строение. От берега глубины резко возрастают до 4–5 м. Ложе плоское со множеством островов. Максимальная глубина 9,9 м, расположена в центре северного плеса. На озере 9 крупных и мелких островов общей площадью 0,07 км^2. Вдоль берега и островов до глубины 4,0–5,0 м дно покрыто песками и опесчаненным илом. Ложе выстилает сапропель кремнеземистый, а в юго-восточном и южном плесах – сапропель тонкодетритовый. Средняя мощность отложений – около 50 м.

Озеро эвтрофное. Вода чистая, прозрачность 2,0 м. Общая минерализация 210–225 мг/л. Активная реакция воды – слабощелочная, pH 7,5–8,0.

В мелководных плесах водная масса хорошо перемешивается, в центральной части – четко стратифицирована. Содержание растворенного кислорода уменьшается от поверхности ко дну. В летнее время у дна возникает дефицит кислорода (насыщение около 1 %). Озеро слабопроточное. Впадают на западе – р. Студеница, на севере – протока из оз. Оптино, три ручья, на востоке – выток в оз.Синьша.

Озеро Волобо является местом обитания гидриллы мутовчатой охраняемого вида водной флоры, занесенного в Красную книгу Республики Беларусь. Гидрилла встречается по всему озеру на глубинах 1,5–2,0 м среди погруженных гидрофитов.

Озеро Синьша расположено в 5 км к югу от д. Заборье. Координаты: 55°53′ с. ш., 29°27′ в. д. Котловина ложбинного типа, вытянута с северо-запада на юго-восток. Имеет сложное строение. Полуостровом на северо-западе и островом в центральной части разделена на два плеса. Окружают озеро высокие крутые склоны (10–15 м), на северо-востоке – пологие, сложены песком, покрыты лесом. Берега озера высокие, песчаные, совпадают со склонами, покрыты кустарником и лесом. На востоке выделяется узкая пойма шириной 10–20 м. Береговая линия сильно изрезана. Подводная часть котловины обоих плесов имеет корытообразное строение. Глубины от берега резко возрастают до 3 м. Ложе плоское. Максимальные глубины расположены между островами и в северной части. Дно до глубины 3–4 м выстлано песком и илом опесчаненным. Центральная часть сложена сапропелем кремнеземистым и тонкодетритовым. Средняя мощность сапропеля – около 5 м. Озеро эвтрофного типа. Вода чистая, прозрачная (1,8 м). Общая минерализация невысокая (до 185 мг/л). Активная реакция – щелочная, pH 8,0. Водная толща не стратифицирована. Распределение температуры и растворенного кислорода по акватории и глубине практически однородное. Озеро хорошо проточное. На севере впадает р. Дрыса, протока из оз. Волоба. На западе вытекает р. Дрыса, на юге соединяется протоком с оз. Донским.

Озеро Синьша – крайняя северная в республике точка произрастания реликтового вида – водяного ореха плавающего, также занесенного в Красную книгу Республики Беларусь. Водяной орех образует монодоминантные ассоциации на песчаных и заиленных грунтах в северо-западной части озера на глубинах до 1,5 м. Листья растений плавают на поверхности воды и собраны розеткой вокруг подводного стебля.

Ландшафтный заказник республиканского значения «Сорочанские озера» расположен в Гродненской области Островецкого района, 19 км от г. Островец. На западе республики в бассейне р. Вилии (правый приток Немана), на границе с Литвой. Высота над уровнем моря 175 м. Рельеф заказника (площадь 130,6 км^2) типичен для Белорусского Поозерья.

Природным ядром является система Сорочанскох озер, включающая 14 водоемов общей площадью 4,3 км, соединенных неглубокими протоками и р. Сорочанкой.

Котловины озер имеют котлообразную форму эворзионного типа. Ледниковое происхождение общей Сорочанской ложбины характеризуется троговой формой поперечного о продольного профиля, вытянутостью с северо-запада на юго-восток по движению ледникового языка, морфологическими чертами молодости озерных котловин, оконтуренных камами и озами.

В число Сорочанской озерной цепочки включаются небольшие мелководные (5–6 м), неглубокие и среднеглубокие (до 20 м) водоемы, относящиеся к слабоэвтрофному генетическому типу. Наибольший интерес представляют среднеглубокие озера, занимающие глубоко врезанные в моренные суглинки, укрытые от ветрового перемешивания (показатель глубинности 8–10) котловины. Эта особенность способствует резко выраженной стратификации водной массы, весьма ограниченному объему эпилимниона и преобладанию гиполимниона. В связи с этим в периоды стагнации, особенно летней, гиполимнион лишен кислорода, обогащен сероводородом и оксидом углерода. В таких условиях создается высокое содержание разных форм железа в воде и особенно в донных отложениях (до 1000 валового состава). Перечисленные качества водной массы являются уникальными для территории Белорусского Поозерья и связаны, главным образом, с морфометрией котловин и качеством обильного подземного питания. Типичным примером озер Сорочанской группы является оз. Еди.

***Озеро Еди* (*Иодово*)**. Координаты: 54°51′ с. ш., 26°15′ в. д., площадь 0,61 км^2. Водоем занимает центральную часть гляцигенной рытвины. Эворзионная котловина отличается повышенными (6–9 м) и высокими (до 15 м) склонами, сложенными моренными суглинками. На юго-востоке прослеживается терраса высотой 1,5 м. Пойма неширокая: от 2 до 50 м. Подводная часть котловины троговидная. Узкая (3–4 м) литораль резким перегибом переходит в крутую (18–20?) сублитораль. Ложе имеет вогнутую форму. Озеро слабопроточное. Впадает 4 ручья, выток направлен на юго-восток Озеро Еди в оз. Гульбеза.

Озеро Еди относится к слабоэвтрофным водоемам, для которого характерна резкая стратификация температуры и кислорода в периоды. Летом, благодаря укрытости котловины, ветровому перемешиванию, нагреванию подвергается 3–4 м поверхностного слоя воды. Температурный скачок на глубине 5–6 м равен 5°. На долю гиполимниона приходится 2/3 водной толщи. Придонные температуры на глубине 17–18 м опускаются до 5°С. При обычном летнем содержании кислорода 8–10 мг/л в зоне гиполимниона наблюдается резкое сокращение, а в придонных слоях кислород

практически полностью исчезает при проявлении сероводорода и заметном (более 20 мг/л) увеличении CO_2.

Пониженные показатели уровня трофии прозрачность достигает 3,5 м, реакция среды изменяется от 8 на поверхности до нейтральной у дна, цветность воды не превышает 15–20°. Вместе с тем отмечается повышенная – минерализация за счет основных ионов HCO^-_3 и Ca^{2+}. Она достигает 300 мг/л.

Показатели биопродуктивности характеризуются низким содержанием биогенных веществ, за исключением железа (у дна до 4 мг/л). Биомасса фитопланктона и зоопланктона могут быть показателями олиготрофии: 1,44 г/м^3 и 1,71 г/м^3 соответственно. Степень зарастания небольшая – 21 % площади зеркала – и представлена обычными для этого типа ассоциациями макрофитов.

Донные отложения типичны для низкопродуктивных слабоэвтрофных озер. Характерны ожелезненные илы (до 9 % Fe_2O_3). Содержание иода в них 7,6 мг/кг.

***Озеро Каймин* (*Сорочанское*).** Координаты: 54°51′ с. ш., 26°15′ в. д. Площадь зеркала 0,43 км^2. Среднеглубокое с максимальной глубиной 19,5 м. Его сложная котловина предка тремя эворзионными впадинами и окружена высокими (до 20 м) склонами, представленными озовыми грядами и камовыми холмами. Узкая литораль сменяется крутым склоном сублиторали, имеет форму трога.

Для летней стагнации в озере характерны температурный скачок и значительные различия эпилимниона и гиполимниона, что показательно для слабого ветрового перемешивания водной массы. В придонных слоях летняя температура опускается до 6–5,5°, полностью исчезает кислород, ощущается сильный запах сероводорода. В гиполимнионе заметно увеличивается минерализация воды. Сумма ионов достигает 400 мг/л, а железо превышает 1,5 мг/л. Донные отложения представлены ожелезненными кремнеземистыми сапропелями (до 8.5 % Fe_2O_3), а также опесчаненными илами небольшой мощности. Такие осадки характеризуют низкую степень трофности: биомасса фитопланктона не превышает 2,5 г/мо, а зоопланктона – менее 1 г/м^3. Богаче выглядит бентос. Озеро Каймин, как и Еди, зарастает слабо, площадь зарастания всего 14 %.

Территория заказника богата представителями флоры и фауны. Обитает 203 вида животных. Из них 28 редкие и исчезающие включены в Красную книгу Республики Беларусь. В их числе бурый медведь, рысь, барсук, гагара чернозобая. малая поганка, аист черный, лебедь-шипун, болотная сова, мохноногий сыч, скопа, выпь большая, большой кроншнеп, жаба камышовая, медянка и др. В Красную книгу внесено 3 вида рыб: форель ручьевая, минога, сом.

Богатый растительный мир включает ряд представителей хозяйственно полезных лекарственных растений, а также краснокнижников. В числе последних: ветреница лесная, пололепестник зеленый, кокушник длиннорогий, ятрышник дремлик, а также валериана лекарственная, любка двулистная, земляника земная, ландыш майский.

Значительная лесистость заказника (75 % площади), разнообразие рельефа и ландшафтов, выполняющих охранную экологическую роль, в сочетании с водными объектам и составляют значительный рекреационный и туристический потенциал Сорочанских озер.

Гидрологический заказник «Озеро Белое» (9,5 км^2) создан в 1979 г. для обеспечения оптимальных условий проживания и сохранения бобра речного и особо ценных для научных целей озер. Географическое положение: Беларусь, Витебская область, Глубокский район, 1 км к юго-востоку от д. Ивесь, 39 км к востоку от г. Глубокое. Высота над уровнем моря: 175,5 м.

Озеро Белое имеет координаты: 55°19′ с. ш., 28°17′ в. д. Площадь: 0,59 км^2 Чистое мезотрофное озеро. Расположено среди слабо всхолмленной местности в пределах Центрального Поозерья. Окружающая местность сложена моренным и отложениями. Котловина ледникового происхождения, ложбинного типа, среднеглубокая (максимальная глубина 24,7 м, средняя – 9,7 м), склоны крутые, заросшие кустарником, лесом; берега песчаные. Зимой замерзает на 4 месяца. Основное питание, грунтовое, атмосферные осадки. На юге впадает 2 небольших ручья. Сток на западе в оз. Ивесь. Озеро окружено сельскохозяйственными угодьями (на северо-западе, юго-западе) и сосновым лесом (на юго-востоке, востоке, северо-востоке).

Сплошные заросли подводной растительности до глубины 11,0 м: мхи, хары, рдесты, элодеи, роголистник, уруть, нимфейные; вдоль берегов – тростник, камыш, осока, аир обыкновенный. Окружающие леса образуют: сосна, ель, береза, осина.

Озеро и его водосбор находятся под охраной. Побережье озера не заселено. Использование территории: на озере – любительское рыболовство, на водосборе – сельскохозяйственное производство, рубка леса.

Озеро населяет богатая и разнообразная фауна беспозвоночных. Водятся более 10 видов рыб: щука, окунь, плотва, лещ, густера, уклея, красноперка, линь, карась, налим. Озера – место обитания водоплавающих птиц, встречаются: кряква, утка серая, чирок, лысуха, поганка и т. д. Из млекопитающих обитают: бобр речной, в прибрежных лесах – лось, косуля, кабан, заяц, лиса.

Флора имеет особую ценность: редкие виды высших харовых и отдельные виды низших водорослей.

Гидрологический заказник «Великое Островно» создан для охраны уникальных озер Большое Островито, Большое Белое, Гвоздок и их водосборов, площадь 116,9 км^{3}. Образован 13.08.1979.

Озеро Большое Островито – природное ядро охраны заказника, Географическое положение: 55°42′ с. ш., 29°28′ в. д., расположен в Витебской области, Полоцком районе, в 10 км к северо-востоку от д. Труды, 45 км к северо-востоку от г. Полоцка. Площадь озера 0,48 км^{2}, высота над уровнем моря 157,2 м. Озеро мезотрофного типа. Расположено в юго-восточной части Полоцкой низины. Окружающая территория сложена водно-ледниковыми отложениями последнего оледенения, рельеф холмистый, покрыт хвойным лесом, на западе примыкает верховое болото. Котловина ледникового происхождения, овальной формы, неглубокая. Максимальная глубина – 6,0 м, средняя – 3,1 м. На востоке склоны крутые, высокие, сложены песком, на западе – низкие, заболоченные. Берега песчаные, на северо-западе и западе – заболоченные торфяные. Основное водное питание озера атмосферные осадки и приток болотных вод.

Водная масса озера имеет уникальные для Беларуси свойства: минерализация низкая (менее 17 мг/л), прозрачность более 5,0 м, цветность около 100, активная реакция щелочная (pH 6,1), отличается высоким содержанием сульфатов (около 3,5 мг/л) и хлоридов (около 2,4 мг/л).

Жизнь развита слабо – летняя биомасса фито- и зоопланктона менее 1,0 г/м, Водная растительность представлена редкими зарослями тростника, камыша, рогоза, кубышки, подводными зарослями полушника озерного и водяного мха, произрастающих до максимальной глубины. Берега заросли осоками, мхами, папоротниками. Из рыб встречается окунь, щука, плотва. Фауна позвоночных бедная: озеро место обитания и гнездования гагары пестрой. Из млекопитающих обитает бобр речной. Водосбор площадью 1,12 км^{2}, покрыт лесом, преобладает сосна.

Озеро и прилегающие леса отличаются живописностью и привлекательностью, служат местом отдыха туристов. Территория используется для любительского рыболовства, отдыха одиночных туристов и сбора ягод и грибов.

Гидрологический заказник «Глубокое Чербомысло» создан для охраны уникальных озер Глубокое, Чербомысло и их водосборов, площадь 51,6 км^{2}. Образован 13.08.1979.

Озеро Глубокое. Географическое положение: 55°42′ с. ш., 29°28′ Беларусь, Витебская область. Полоцкий район, 8 км к северо-востоку от д. 44 км к северо-востоку от г. Полоцка. Площадь: 0,42 км^{2}. Высота над моря: 154,4 м. Чистое мезотрофное озеро. Расположено в юго-восточной части Полоцкой низины. Окружающая территория сложена водно-ледниковыми отложениями последнего оледенения. Котловина ледникового происхожде-

ния, округлой формы, неглубокая. Максимальная глубина 11,5 м, средняя – 5,2 м. Склоны крутые, высокие, сложены песком. Берега песчаные, на севере – заболоченные торфяные. Основное питание – атмосферные осадки. Озеро окружено холмистой местностью, покрытой хвойным лесом. На севере примыкает верховое болото.

Основная растительность представлена подводными зарослями полушника озерного и мха, произрастающих до глубины 10 м. На мелководьях – единичные экземпляры кувшинки, тростника, осоки. Берега заросли мхами, папоротниками. Водосбор площадью 500 га покрыт лесом, преобладает сосна. Территория используется для любительского рыболовства, отдыха одиночных туристов и сбора ягод и грибов.

Озеро и прилегающие леса отличаются живописностью и привлекательностью. Служат местом отдыха одиночных туристов. Озеро населяет уникальная фауна. Из рыб встречается окунь. Место обитания и гнездования гагары пестрой. Из млекопитающих обитает бобр речной.

Озеро Чербомысло. Координаты: 55°42′ с. ш., 29°28′ в. д. Площадь 0,50 км^2. Высота над уровнем моря: 154,4 м. Чистое мезотрофное озеро. Расположено на юго-востоке Полоцкой низины. Окружающая территория сложена водно-ледниковыми отложениями последнего оледенения. Котловина ледникового происхождения, овальной формы, неглубокая. Максимальная глубина 6,9 м, средняя – 3,3 м. Берега песчаные, на севере сплавные. Основное питание атмосферное. Поверхностный приток и сток отсутствуют. Озеро окружено сосновым лесом, на севере верховым болотом.

Основная растительность представлена подводными зарослями (до глубины 4,0 м) полушника озерного, единично родестами, ежеголовником, вдоль берегов редко тростник, камыш. Окружающие леса образованы сосной, елью, осиной. Располагается в ненаселенной местности.

Целесообразно усиление охранных мероприятий и посадка леса на безлесных участках северного побережья.

Территория используется для любительского рыболовства, отдыха одиночных туристов.

Антропогенное воздействие проявляется в механическом уничтожении охраняемого вида полушника озерного; браконьерство; искусственное поднятие уровня при строительстве дороги. Рубка леса в местах туристических стоянок. Озеро и прилегающие леса отличаются живописностью. Служат местом отдыха неорганизованных туристов, рыбной ловли и сбора грибов и ягод.

Озеро населяет разнообразная фауна беспозвоночных. Встречается охраняемый вид – широкопалый рак. В озере водится щука, окунь, плотва, густера, уклея и др. Озеро место обитания охраняемого вида гагары

чернозобой, нескольких видов уток, куликов и др. Из млекопитающих обитает бобр речной. В лесах лось, косуля, кабан, заяц, лиса.

Гидрологический заказник «Долгое» расположен в Витебской области (Глубокский район) на северо-востоке Свенцянских гряд. Бассейн Западной Двины. Площадь водосбора 63,3 тыс км^2. 32 км от г. Глубокое. Утвержден постановлением Советом Министров Республики Беларусь №252 от 13 августа 1979 г.

Озеро Долгое наиболее глубокое в Беларуси – 53,7 м. Координаты: 55°12′ с. ш. 23°11′ в. д., 200 м над моря. Площадь – 2,6 км^2. Котловина вытянута с северо-запада на юго-восток ложбинного типа (гляцигенная рытвина), образована деятельностью ледника и подледниковых вод в эпоху последнего оледенения свенцянской (франкфуртская) стадии. Котловина глубоко (на 60–70 м) врезана в толщу суглинистой морены. Склоны достигают высоты 25–30 м и кустарником. Берега часто сливаются со склонами, береговая линия слабо изрезана. Подводная часть имеет четко выраженные черты: узкая литораль (5–10 м) переходит в крутой (20–25°) склон сублиторали до глубины около 20 м. Ложе озера имеет корытообразную форму и в поперечном профиле напоминает долину. В продольном профиле прослеживаются глубокие (более 40 м) впадины плесы и высокие поднятия типа ригелей, что также характерно для гляциогенных рытвин и каньонов.

Водосбор озера отличается пологоволнистой мелкохолмистой поверхностью. Значительно распахан, а лесистость не превышает 150–18 %. Долгое – слабопроточное озеро, на юге из него вытекает протока в крупное мелководное оз. Шо, которое дает начало р. Шоша – Мнюта – правому притоку р. Дисны. Небольшие водотоки соединяют озеро с соседними Псуей и Свядово. Для одноразовой смены всего объема воды требуется не менее 6–7 лет. Укрытость котловины от ветрового перемешивания (показатель глубинности – 15,1), значительные глубины играют существенную роль в формировании режима водной массы. Летняя стагнация отличается четкой иной стратификацией. Металимнион составляет 4° на 1 м, на долю гиполимниона приходится до 55 % объема, а средняя температура лета не выше 8–9° при условии придонных температур около 5°. Газовый режим, как и температурный, характеризует озеро как мезотрофное с признаками олитрофии. В верхнем слое содержание кислорода около 100 %, а в придонном не опускается ниже 50 %. Показатель чистоты водной массы характеризуется также высокой величиной прозрачности (до 5 м), низкими величинами цветности и окисляемости. Признаки олиготрофии выражаются низкой биомассой фитопланктона (2 г/м^3, зоопланктона (0,87 г/м^3), зообентоса (1,7 г/м^2). Озеро слабо зарастает, но подводные макрофиты распространяются до глубины 5–7 м (рдесты, харовые), а глубина развития водяных мхов достигает 15 м. В числе представителей ихтиофауны

отмечаются редкие виды: европейская ряпушка и снеток. Водится угорь, щука, лещ, судак, уклея.

В Красную книгу Беларуси внесен реликт ледникового периода рачок лимнокалянус макрурус. Он, как и другой редкий представитель низших ракообразных, обитает на больших глубинах. Известностью пользуется редкий вид синезеленых водорослей Осциллатория рубесценс. Она развивается весной под слоем прозрачного льда, образуя ярко-красные скопления, напоминающие букеты экзотических цветов. При повышении температуры и таянии ледяного покрова эти водоросли исчезают до следующей весны.

Донные отложения Долгого характеризуются отсутствием органических сапропелей. Ложе выстилают органо-минеральные глинистые илы с низким показателем (до 20 %) органического вещества. На поверхности ложа встречаются железо-марганцевые конкреции в виде горошин в лепешек с содержанием Fe_2O_2 до 30 %. В отдельных местах просвечивают пестроцветные глины. Изучение стратиграфических разрезов озера выявило их высокую информативность. Нижний слой осадков датируется по C_{14}. 12 + 100 тыс. лет назад

Гидрологический заказник «Ельня» организован постановлением Совета Министров БССР от 13 ноября 1968 г. № 342, значительно расширен в 1981 г. Основная цель – сохранение крупного болотного массива «Большой Мох». Расположен в Миорском районе Витебской области в 20 км от г. п. Дисна. Принадлежит бассейну Западной Двины через ее притоки Дисну и Ельнянку. Площадь верхового болотного массива 19,4 тыс. га, высота 138–145 м абс. Выпуклая его поверхность сложена торфом мощностью до 7 м, образует местный водораздел в пределах Дисненско-Полоцкой низины, образованной на месте приледникового водоема. Центральная часть низины сложена ленточными озерными глинами, подстилающими торфяники заказника. Болото в основном относится к верховому типу (99,5 %). Поверхность открытая с редкими угнетенными соснами. Микрорельеф грядово-мочажинный, грядово-озерный, кочковатый с преобладанием сфагново-пушициевых и кустарничковых ассоциаций. Заказник имеет богатую флору и фауну. В Красную книгу республики занесено 10 видов флоры и 30 фауны. Во время весенних и осенних миграций здесь наблюдается скопление гусей, уток, журавлей.

В пределах заказника «Ельня» расположено несколько десятков озер, чаще всего очень мелких. Наиболее значительные: Ельня, Черное, Лопухи, Глубокое, Жучино, Тоболки, Окнисто, Белое, Лебединое, Большое, Ближнее, Бережа, Долгое, Плоское.

Озеро Ельня – наиболее значительное озеро заказника. Координаты 55°34′ с. ш., 27°53′ в. д. Через р. Ельянку, вытекающую из оз. Черное, оно включено в систему р. Дисны, левый приток Западной Двины. Площадь 5,42 км^2, объем 8,52 км^3. Котловина овальная, простых очертаний,

вытянута с юго-запада на северо-восток на 4,85 км. Берега совпадают со склонами и сложены торфом высотой 1,0–1,5 м. Лишь на востоке вдоль уреза воды полоска песка и скопление крупных валунов и гальки. Ложе плоскостное. Площадь водосбора 14,4 км^2, представлен кочковатым верховым болотом. Котловина и озеро относится к числу реликтовых, на месте приледникового Дисненско-Полоцкого водоема. Она постепенно заполняется торфяными отложениями без признаков зарастания. Питание болотное и за счет атмосферных осадков. Открытый характер котловины способствует интенсивности ветрового перемешивания, формированию гомотермии и гомооксигении. Содержание кислорода у поверхности ниже 100 %, минерализация менее 30 мг/л. Кислая среда (pH‹5), отсутствие соединений фосфора свидетельствуют о низкой кормности. Болотное питание создает высокую (100–140) цветность и окисляемость (8–9 мг О/л) за счет аллохтонного органического вещества. Фитопланктон беден. Представлен синезелеными водорослями, биомасса 1,5 г/м^3. Зоопланктон рачковый, биомасса зообентоса 0,36 г/м^2.

Мощность донных отложений около 1 м. Представлен тонкодетритовым и торфянистым сапропелями. Экосистема оз. Ельно – редкий пример сочетания олиготрофных и дистрофных показателей. Представляет интерес как природная лаборатория водоемов, эволюция которых связана с верховым болотом. Общий вид верхового болота напоминает тундровый ландшафт. Распространена морошка, береза карликовая, внесенные в Красную книгу республики.

В числе охраняемых видов фауны представлены: белая куропатка, серый журавль, длиннохвостая неясыть, кроншнеп, дербник, лебедь-шипун, чернозобая гагара, филин, сапсан, змееяд и др. Для многих из редких и охраняемых видов заказник является последним местом обитания.

Гидрологический заказник «Кривое» расположен в Ушачском районе Витебской области (бассейн Западной Двины), площадью 11,1 км^2, в 25 км от г. Ушачи, вблизи д. Дубровно. Входит в Ушачскую группу озер. Утвержден постановлением СМ БССР от 16.08.1979 № 252. На территории заказника расположено два озер – Кривое и Усая.

Озеро Кривое – 55°10′ с. ш., 29°03′ в. д., 150 м над уровнем моря, относится к числу глубоких (более 30 м) мезотрофных с признаками олиготрофии. Рисунок береговой линии и котловина отличается необычной сложностью. Сочетание узких заливов, округлых глубоких плесов, высоких длинных мысов, покрытых лесом, создают особую привлекательность ландшафтам. Сложная котловина создана на участке сильнотрещиноватого ледникового языка процессами эворзии, экзарации, накопления рыхлого материала в трещинах и последующего его проектирования в виде озовых гряд и камов. Поверхность водосбора крупнохолмистая. Котловина

глубоко врезана в моренные суглинки. Склоны преобладают высокие. На северо-востоке они достигают 35–50 м при крутизне до 30°. Ландшафтные угодья отличаются мелкоконтурностью. Распахано до 50 %, леса и кустарники (17 %). Озеро слабопроточно. Небольшие ручьи впадают из озер Женно и Полозерье. На западе в р. Диву вытекает ручей, практически не оказывающий влияния на режим озера.

Температурный и газовый режимы непосредственно связаны с морфометрией котловины, ее укрытости от ветрового перемешивания. Мощность эпилимниона не более 5–6 м. Гиполимнион занимает около 60 % объема, а придонные температуры летом около 5,5°. Кислородный режим в течение года благоприятный. В верхнем – слое около 100 %, в придонном – до 40 %. Активная реакция слабощелочная и нейтральная. Значительная прозрачность 4,5 м и небольшая цветность также являются показателем чистоты воды.

Озеро Кривое слабо зарастает. Погруженная растительность расположена до 6–8 м (рдесты, элодея, роголистник, фонтиналис). Широко представлен полушник озерный, занесенный в Красную книгу Республики Беларусь. Фитопланктон разнообразен. Преобладают зеленые и диатомовые водоросли. Общая биомасса превышает 2 г/м^3. В зоопланктоне насчитывается 28 видов, но биомасса менее 1 г/м^2. В его составе обнаружен реликтовый рачок лимнокалянус макрурус. Биомасса зообентоса немного выше 1 г/м^2. Преобладают хирономиды, моллюски. ракообразные. Ихтиофауна для олиготрофных сигово-снетковая, угрем, судаком и др.

Донные отложения различаются в зависимости от сложности котловины. Прибрежная зона представлена песком и песчано-галечниковыми отложениями. Большую часть ложа до глубины 20 м выстилают высокозольные кремнеземистые сапропели. Глубже размещаются глинистые илы с содержанием органического вещества около 15 %. В северном глубоком плесе они отличаются интенсивным черным цветом с высоким содержанием железа (Fe_2O_3 – 11,9 %) и марганца (MnO – 1,08 %). Максимальная мощность сапропелей 4–5 м, общий объем сапропелей – 5 млн м^3.

Озеро Кривое пользуется славой у туристов и любителей природы. Горбатые озы, поросшие лесом, огромные валуны, земляничные поляны, лохматые ели и небольшие деревни смотрятся в водную гладь. К сожалению, поступление биогенных веществ с распаханных полей, расширение дачного строительства проявляются в процессе антропогенного эвтрофирования. Требуется расширение водозащитных полос, изменение структуры землепользования.

Гидрпологический памятник природы «Озерок» расположен в Городокском районе Витебской области. Система р. Овсянки в бассейне Западной Двины. Создан в 1964 г. для охраны уникального озера – местообитания охраняемого вида Trapa natas, площадь памятника в границах озера 0,28 км^2.

Озеро Озерок. Координаты: 55°36′ с. ш., 30°37′ в. д., высота над уровнем моря 151 м. Озеро неглубокое, максимальная глубина 8,0 м, средняя 3,0 м, Котловина ложбинного типа, серповидной формы, вытянута с севера на юго-восток на 1,5 км. Склоны повышенные (8–10), пологие, сложены песками, распаханы, на востоке и северо-западе – низкие, покрыты лесом. Берега повсеместно низкие, песчаные, заторфованы. Подводная часть котловины корытообразной формы, литораль узкая, крутая, ложе плоское.

Водная масса четко стратифицирована, вода низкоминерализированна (130 мг/л), прозрачность около 1 м, реакция нейтральная (pH до 7,5) цветность высокая – 110°, окисляемость перманганатная – 25,2 мг О/л. Зарастание водной растительностью слабое, доминирует водяной орех до глубины 2,1 м. Вдоль берегов встречаются аир, хвощ, тростник, стрелолист, кубышка, кувшинка. Фитопланктон насчитывает 40 видов, преобладают в основном зеленые, общая биомасса 2,13 г/м^3. Зообентос представлен слабо.

Донные отложения представлены илом глинистым. Мощность отложений максимальная 8,0 м, средняя 4,0 м.

Площадь водосбора 4,08 км^2, рельеф мелкохолмистый, слабоволнистый, сложен песками и суглинками, покрыт лесом на 70 %, на юге распахан.

Гидрологический заказник «Ричи» расположен в Витебской области (Браславский район), на границе с Латвией, бассейн Западной Двины. Площадь 13,4 км^2. Утвержден постановлением СМ БССР от 16.08.1979 № 252.

Озеро Ричи – второе по глубине озеро республики – 51,9 м. Площадь 12,83 км^2. Координаты 55°42′ с. ш., 26°33′ в. д., 146,0 м над уровнем моря. Это крупнейший резервуар пресной воды (131,5 млн м^3). Озеро отличается сложной котловиной, вытянутой с северо-запада на юго-восток на 6,3 км. Береговая линия изрезана и образует многочисленные заливы, мысы, косы. Склоны высокие, абразионные, местами оползневые, возвышаются над уровнем воды на 30–40 м. южные склоны более пологие, около 10 м. На севере и западе характерно разнообразие склонов и распространение впадин и поднятий ложа. Вдоль длинной оси вытянута глубокая ложбина, осложненная эворзионными впадинами. По акватории разбросано 5 островов, наиболее крупный Каменец, около 4 га.

Водосбор озера (123 км) представляет типичный участок холмисто-моренно-озерного рельефа. Моренные холмы и гряды чередуются с озами, камами, замкнутыми понижениями и озерами. Распаханность достигает 50 %, облесенность 37 %. Ричи – слабопроточный водоем. Основное питание поступает за счет атмосферных осадков и грунтовых вод. На северо-востоке впадает небольшая р. Ричанка, на юге она вытекает в направлении на юг. Непостоянные ручьи впадают с запада на юго-запад.

Режим водной массы характеризует Ричи как мезотрофный с признаками олиготрофии водоем. Температурный режим отличается резкой стратификацией. В мощном гиполимнионе температура не поднимается выше 7–7,5, а содержание кислорода у дна составляет около 25 %. Вода в озере чистая, прозрачность достигает 5 м, невысокая цветность, средний показатель минерализации, близкая к нейтральной реакция среды, свидетельствуют о невысоком уровне биоты. Зарастает озеро значительно лишь вблизи низких берегов. Подводные макрофиты проникают до глубины 7 м. Представлены роголистником, рдестами, харовыми, еще глубже – водяными мхами (фонтаналис). Мезотрофный режим озера подчеркивается пониженной биомассой фитопланктона (1,21 г/м^3). Основу биомассы зоопланктона составляют ракообразные. Представлены ледниковые реликты: лимнокалянус макрурус, Pallasea quadrispinosa, Pontoporea affinis, внесенные в Красную книгу Республікі Беларусь. Биомасса зообентоса 1,4 г/м^3, доминируют олигохеты, хирономиды, моллюски. По составу ихтиофауны озеро относится к сигово-снетковым, обитает ряпушка, угорь, судак и др.

Сложность котловины, значительные глубины определяют пестроту донных отложений. Мелководья представлены песками, каменистыми участками, выходам коренных глин. Пески и опесчаненные глины опускаются по крутому склону сублиторали до глубины 15–20 м. Ложе выстилают кремнеземистые илы и сапропели с содержанием органики до 30 %. Особенной пестротой осадков выделяется сублитораль. Кроме песков, здесь распространены карбонатные отложения, а также ожелезненные илы с признаками рудообразования. В этой зоне глубоководного плеса встречаются плоские железомарганцевые конкреции с каменными ядрами диаметром 9–12 см, монетные лепешки, мелкие железистые конкреции.

Озерный заказник расположен среди живописных, свежих ледниковых св. слабо затронут хозяйственной деятельностью, отличается уникальными чертами глубоководного озера и может служить природной лабораторией для географов, гидробиологов, лимнологов.

Гидрологический памятник природы «Ромашково» расположен в Городокском районе Витебской области, создан в 1964 г. с целью сохранения уникального оз. Ромашково, являющегося местом обитания водяного ореха вида внесенных в Красную книгу Беларуси, имеющего в озере самую высокую плотность популяции.

Озеро Ромашково – координаты: 56°33′ с. ш., 30°36′ в. д., высота над уровнем моря 151 м в системе р. Овсянки, бассейна Западной Двины, непроточное, сток и выток отсутствуют. Озеро относится к числу мелководных. Площадь зеркала – 0,17 км^2, максимальная глубина – 4,1 м, средняя – 28 м. Котловина ложбинного типа, вытянутая с севера на юг на 1,1 км. Преобладают высокие (12–15 м), пологие склоны и низкие заторфованные

и заболоченные берега. Берега и склоны покрыты кустарником, на юге сливаются с долиной Овсянки. Пойма практически отсутствует, на севере прослеживается терраса. Подводная часть котловины корытообразная с резким крутым переходом от прибрежного мелководья к плоскому ложу в центре. Водосбор площадью 2,99 км^2, мелкохолмістый и пологоволнистый, сложен песками м суглинками, покрыт лесом на 78 %.

Морфологические особенности котловины способствуют возникновению в озере четкой температурной и газовой стратификации водной массы. Активная реакция воды от нейтральной до слабощелочной (pH 7,2–8,3), минерализация слегка пониженная (около 130 мг/л). Гидробиологические показатели характеризуют водоем как эвтрофный. Фитопланктон разнообразен, преобладают синезеленые и диатомовые, общая биомасса около 4 г/м^3. Биомасса зоопланктона около 5 г/м^3. Зарастание озера водными растениями слабое, до глубины 3 м, широко распространены водяной орех, редко кубышка, элодея, рдесты. Надводные представлены тростником, аиром, хвощем. Донные отложения в основном представлены илами и сапропелем кремнеземистым. Средняя мощность, 3,2 м, максимальная, около 5 м

Гидрологический заказник «Сервечь» расположен на границе Докшицкого и Глубокского районов Витебской области. Создан 29 июля 1997 г. Общая площадь, 90 км^2, основную площадь занимает низинное и верховое болото, значительная часть которого мелиорирована.

Озеро Сервечь расположено в центре заказника в бассейне р. Вили. Координаты: 55°02′ с. ш., 27°35′ в. д. Слабопроточное. Вытекает р. Сервечь. На востоке впадает ручей. Озеро относится к числу мелководных. Площадь зеркала 4,55 км^2, максимальная глубина – 5,2 м, средняя – 2,8 м. Котловина остаточного типа, вытянутая по ширине на 3,83 км. Включает два плеса: западный и восточный. Преобладают низкие склоны и берега, сложенные песком, закустаренные: на западе – сплавинные, на севере – высокие до 2,5 м. Пойма достигает 1–1,5 км. Подводная часть котловины блюдцеобразная с постоянным углублением к центру.

Площадь водосбора 51,85 км^2, рельеф низинный и пологоволнистый. Морфологические особенности способствуют интенсивному динамическому перемешиванию (показатель открытости 1,63) и состоянию, близкому к гомотермии и гомооксигении в течение летней стагнации (кислородное насыщение около 95 %).

Активная реакция воды слабощелочная и нейтральная. Минерализация слегка пониженная (150 мг/л). Гидробиологические показатели характерны для водоемов звтрофного типа. Фитопланктон разнообразен. Преобладают синезеленые и диатомовые, общая биомасса составляет около 4 г/м^3, зоопланктон 1,5 г/м^3. Зарастание озера высокое. До глубины 3 м широко распространены рдесты (главным образом курчавый), элодея, уруть, лютик жестколистный.

Надводные представлены зарослями тростника, камыша, аира, ситняга, растения с плавающими листьями: кувшинка, кубышка, рдест плавающий.

Донные отложения в основном представлены сапропелями тонкодетритовыми. Его средняя мощность 3,9 м, максимальная достигает 7 м. Ведутся разработки. В основании сапропелевой толщи залегает сапропель смешанный, ил глинистый на песчаном основании.

Озеро Сервечь является нагульным лещево-щучьим водоемом, неоднократно зарыблялось серебряным карасем и сазаном. Отсутствие близлежащих ферм и предприятий способствует сохранению чистой воды.

Гидрологический заказник «Сосна» расположен в Шумилинском районе Витебской области. Год создания 1979. Координаты: 55°10′ с. ш., 29°42′ в. д. Площадь 4,5 км^2. Преобладают моренные суглинистые и супесчаные породы. Рельеф представлен плосковолнистой и мелкохолмистой равниной. Облесенность более 50 %.

Озеро Сосна расположено в центральной части заказника. Относится к бассейну Западной Двины. В 0,2 км к югу расположен пункт триангуляции 138,1 м абс. Озеро занимает округлую эворзионную котловину с высокими (10–12 м) склонами и низкими (0,2 м) берегами. Площадь зеркала 0,71 км^2, объем водной массы 4,72 млн м^3. Подводная часть котловины осложнена котлообразными углублениями с глубинами до 22,9 м, поднятиями и островами. Литораль узкая (50–80 м), склон сублиторали четко выражен. Озеро относится к слабопроточным. Шесть пересыхающих летом ручьев осуществляет приток с водосбора. Вытоком служит ручей, который соединяет озеро с Западной Двиной через два озера: Городно и Лезвинка. Небольшая площадь водосбора (3,79 км^2), слабый поверхностный приток за счет подземных источников. Скорость водообмена (удельный водосбор) составляет 6 лет.

Газовый и гидрохимический режим дает основание относить озеро к типу мезотрофных с признаками олиготрофии. В летнюю стагнацию наблюдается четкое температурное расслоение. Падение температура в металимнеоне на глубине 6–7 м достигает 3° на метр. Придонная температура 6,5°. Поверхностные слои насыщены кислородом, на дне его насыщение падает до 7–8 %. Вода в озере чистая. Прозрачность летом до 2,8 м, pH около 8, окисляемость низкая – 6 мг О/л, цветность выше 40°, общая минерализация около 130 мг/л. О мезотрофном режиме свидетельствует также низкий показатель биомассы зоопланктона 1,1 г/м^3. Однако повышенная биомасса фитопланктона (4,6 г/м^3) с преобладанием синезеленых, диатомовых, является показателем эвтрофирования. Значительная прозрачность обуславливает распространение макрофитов как в литорали, так и в верхней части сублиторали. В числе охраняемых видов, занесенных в Красную книгу Беларуси, в озере обитают каулиния малая и гидрилла мутовчатая. Вокруг озера населенные пункты отсутствуют.

Оно пользуется известностью у туристов и рыбаков. По-видимому это направление использования будет развиваться.

Гидрологический памятник природы «Озеро Тиосто». ***Озеро Тиосто*** расположен в центральной части Северной Беларуси: Витебская область, Городокский район. Координаты: 53°36′ с. ш.,30°30′ в. д. Принадлежит к бассейну Западной Двины через ее притоки Овсянку и Усвячу. Площадь водосбора 426,0 км^2, включает оз. Медесно. Преобладает холмисто-моренный рельеф. 90 % покрыто лесами и кустарниками. На уровне 150,6 м абс. площадь озера 5,35 км^2, объем 21,79 млн м^3. Максимальная глубина 11,6, средняя 4,2. Котловина Г-образной формы вытянута с севера на юг на 6,25 км. Склоны невысокие, на северо-западе и западе их высота 6–8 м, на востоке и север-востоке низменные, заболоченные, сплавинные. Ложе озера корытообразной формы с плоским дном. По длинной оси вытянуты семь островов в форме друмлинов, сложенных тяжелым суглинком. Проточное. На СВ впадает р. Марисина и шесть ручьев. Смена всего объема воды происходит 4 раза в год (удельный водосбор 0,25).

Водная масса слабо стратифицирована. Гидрохимические и гидробиологические показатели свидетельствуют о принадлежности озера к энтрофному типу. Прозрачность 1,6; цветность 30°, pH 8,0–7,7 у дна, окисляемость 9,8 мг О/л.

Озеро Лонно расположено в центре заказника, координаты: 55°37′ с. ш., 28°28′ в. д. Котловина остаточного типа, склоны не выражены, преобладают сплавинные берега. Площадь озера 0,60 км^2, объем воды 1,09 млн м^3. Максимальная глубина 2,6 м. Подводная часть блюдцеобразная. Из озера вытекают реки Лонница и Полота – притоки Западной Двины. Гидрохимический режим типичен для мелководного водоема с болотным питанием. В летний период преобладает гомотермия и гомооксигения (O_2 100 %). Прозрачность до дна. Общая минерализация воды менее 50 мг/л, окисляемость до 14 мг O_2/л, цветность около 500.

Зарастание озера значительное за счет полупогруженных и растений с плавающими листьями. Биомасса фитопланктона около 4 г/м^3, зоопланктона – 1,6 г/м^3. По характеру ихтиофауны относится к карасево-линевому типу. Донные отложения представлены высокоорганическими тонкодетритовыми сапропелями, мощностью 2,5–3,0 м.

Биологический заказник «Мошно» расположен в Витебском районе Витебской области, создан в 1979 г. как клюквенник. Площадь 4,0 км^2. Территория представлена в основном болотами верхового и переходного типов.

Озеро Мошно расположено в центре заказника вблизи д. Воеводки. Координаты 55°05′ с. ш., 29°59′ в. д. Абсолютная высота 143,8 м. Площадь 1,07 км^2. Относится к системе реки Чернянки бассейна Западной Двины. Котловина лопастной формы, вытянута с севера на юг на 5,8 км. Озеро мелководное. Максимальная глубина 2,9 м, средняя – 1,8 м. Склоны невы-

сокие (4–5 м), сложены суглинками. Берега низкие, песчаные, в заливах сплавинные заболоченные. Подводная часть блюдцеобразная. Химические показатели характерны для высокоэвтрофного озера с болотным питанием. Летом гомотермия и гомооксигения. Минерализация до 140 мг/л. Прозрачность около 1,0 м, окисляемость более 20 мг O_2/л, цветность до 90°. Основными растительными ассоциациями являются погруженные и растения с плавающими листьями. Биомасса фитопланктона около 3 г/м^3, зоопланктона 2,5 г/м^3. Донные отложения представлены кремнеземистыми и тонкодетритовыми сапропелями, мощностью до 4,5 м. Озеро испытывает отрицательное воздействие в связи со сбросом загрязненных вод с ближайших ферм.

Биологический заказник «Освейский» основан на базе ***оз. Освейского*** – второго по величине в Беларуси. Площадь 226,0 км^2, расположен на севере республики в Верхнедвинском районе в бассейне Западной Двины, с которой соединяется системой рек и озер: канал Дегтяревка – оз. Ормея – оз. Лисно – р. Свольна (приток Западной Двины). Площадь зеркала 47,95 км^2, не считая крупного моренного острова площадью 4,85 км^2. Озеро отличается подпрудной открытой котловиной с максимальной глубиной 7,5 м и средней 2,0 м. Глубины до 2 м занимают 71 % площади. Просто построенная котловина на юге подпружена моренной Освейской грядой с относительными высотами до 20 м с юго-запада на северо-восток, котловина вытянута на 11,4 км при максимальной ширине 7,8 км. Береговая линия (33,4 км) плавная, берега и склоны низкие, на севере заболоченные, в устье р. Выдренки и частично на юге – сплавинные. Водосбор холмистый и низменный площадью 206 км^2. Объм воды 104,0 млн м^3.

Озеро слабопроточное. На западе впадает р. Зилупе, на северо-востоке р. Выдренка и многочисленные каналы и ручьи. Выток идет через Дегтяревский канал, вырытый в целях мелиорации в 1929 г. Уровень его искусственно регулируется.

Морфологические особенности способствуют интенсивному динамическому перемешиванию и состоянию гомотермии в летнюю стагнацию. Зимой в придонных слоях температура достигает 4 °С. Высокое содержание кислорода большую часть года снижается в зимнюю стагнацию кислородным дефицитом в понижениях ложа. Заметные колебания характерны в течение года для всех показателей, что примечательно для высокоэвтрофных водоемов. Например, pH летом около 8, зимой у дна опускается до 6; минерализация летом около 130, зимой повышается до 200 мг/л.

Зарастание озера сплошное до глубины 3 м. Надводные растения представлены в основном рогозом узколистным и тростником, в зарослях которых угодья ондатры. На северо-западе, в устье Выдрицы образова-

лась сплавина, образованная тростником, рогозом, растениями с плавающими листьями, мелкими кустарниками. Здесь и на плавающих сплавинных островах – места гнездования и пути миграции водоплавающей птицы: гусь-гуменник, нырок. кряква, лысуха, тысячи чаек. На соседних болотах гнездятся серый журавль, белая куропатка, большой кроншнеп, сокол-дербник. Многие из них внесены в Красную книгу Республики Беларусь.

Озеро Освейское – высококормный водоем. Координаты: 56°04′ с. ш., 28°10′ в. д. Об этом свидетельствует фитопланктон (биомасса 7,0 г/мо), представленный 73 видами, зоопланктон (биомасса 1,4 г/м^3). Биомасса зообентоса более 15 г/м^2. Ихтиофауна представлена судаком, щукой, лещем, карасем, налимом и др. Значительную часть ложа озера выстилают кремнеземистые и тонкодетритовые сапропели. Их общие запасы около 6,1 млн м^3. Песчаные отложения образуют полосу шириной до 300–500 м у северных берегов.

Режим озера подвергается заметному влиянию хозяйственной деятельности, связанной с рыболовством, рыбоводством, а также с искусственным колебанием уровня при добыче торфа из массива, прилегающего к северному берегу. Влияние сказывается и со стороны городского п. Освея, расположенного вдоль южного берега. Богатство фауны и флоры заказника требуют принятия охранных мер.

15.2. Центральная часть Беларуси

Наиболее уникальным и хорошо изученным озером центральной части территории Беларуси является оз. Свитязь в составе **ландшафтного заказника «Свитязянский».** Название заказника «Свитязянский» произошло от названия озера *Свитязь* – ядро заказника, это историческое название, которое связано с жизнью и творчеством выдающегося поэта Адама Мицкевича.

Государственный ландшафтный заказник «Свитязянский» на территории Новогрудского и Кореличского районов Гродненской области образован постановлением Совета Министров БССР № 178 от 18 июня 1970 г. в целях сохранения уникального озерно-лесного комплекса – исключительного по прозрачности воды оз. Свитязь, в котором обитают редкие реликтовые виды растений, а также прилегающего к нему лесного массива с редкими видами растений и разнообразной типологической структурой лесов. Площадь заказника 1204,2 га.

Заказник входит в структуру Новогрудского и Кореличского районов Гродненской области. Он расположен в 17 км на юго-юго-востоке

от г. Новогрудок, в 20 км на юго-запад от города Кореличи. Ближайшие населенные пункты к заказнику в Новогрудском районе деревни Валевка, Новосады, Ярошичи, Поречье, в Кореличском районе деревня Ятвезь.

В составе земель заказника «Свитязянский» доминируют лесопокрытые земли (79,8 %), остальную часть занимают земли под водой (15,9 %), земли под дорогами и просеками (2,6 %), болота (0,7 %) и прочие земли (около 1 %).

Озеро Свитязь имеет округлую форму, длина озера (1,65 км) практически равна максимальной ширине (1,42 км), при средней ширине – 1,06 км. Площадь озера составляет 1,76 км^2. Максимальная глубина озера – 15,1 м, средняя 3,5 м. Литораль четко выражена по всему периметру озера, пологая, сложена хорошо отсортированными песками. На долю глубин до 2 м приходится около 27 %.

Гидрологический режим озера тесно связан с характером водосбора. Площадь водосбора (без площади озера) составляет 2,77 км^2. Водосбор дренируется грунтовыми водами, поверхностные водотоки отсутствуют. Озеро является слабопроточным водоемом, условный водообмен которого составляет всего 0,1. Сток из озера осуществлялся по р. Сворotва, часто пересыхающий в межень.

Высшая водная и околоводная растительность оз. Свитязь уникальна. Здесь в различное время и различными исследователями было отмечено шесть видов охраняемых растений, из которых в настоящее время регистрируется лишь три (лобелии, полушник и прибрежница). Полушник озерный (*Isoëtes lacustris* L) встречается у северного, южного и юго-восточного берегов озера на мелководьях до глубин 1,7–1,8 м. Прибрежница одноцветковая (*Litorella uniflora* (L.) Aschers) встречается у южного, юго-западного и юго-восточного берегов озера на мелководьях до глубины 1,5 м. Лобелия Дортмана (*Lobelia dortmanna* L.) встречается у юго-восточного берега на мелководье до глубины 1,5 м.

Особую значимость и ценность сообществам животных, обитающих на определенной территории, придает доля в их составе редких и находящихся под угрозой исчезновения видов. В границах заказника установлено обитание 5 видов птиц, 1 вид млекопитающих: барсук (*Meles meles*), черный аист (*Ciconia nigra*), малый подорлик (*Aquila pomarina*), чеглок (*Falco subbuteo*), домовой сыч (*Athene noctua*), длиннохвостая неясыть (*Strix uralensis*).

Животный мир оз. Свитязь не отличается богатством видового состава. Зоопланктон озера представлен всеми основными таксономическими группами. По данным количественных проб, видовой состав его обеднен и представлен всего 16 видами, в том числе коловраток – 6, вет-

вистоусых ракообразных – 7, веслоногих – 3 вида. Структурно сообщество носит кладоцерно-копеподный характер, по биомассе в течение вегетационного сезона устойчиво преобладают кладоцеры (56,1–62,6 %). В видовом составе сообщества донных беспозвоночных (зообентоса) озера отмечено обитание 17 видов, относимых к 7 таксономическим группам. Наиболее многочисленны представители семейства хирономид – 6 видов. Остальные виды бентических животных были представлены пиявками (2), малощетинковыми червями (2), мокрецами (2) и представителями различных отрядов водных насекомых (4). По материалам контрольных обловов и опросных данных, ихтиофауна озера представлена комплексом лимнофильных и реофильных видов рыб, относимых к 3 семействам: карповые – плотва, красноперка, линь, карась серебряный, пескарь обыкновенный; окуневые – окунь речной, ерш обыкновенный; щуковые – щука обыкновенная. Из 8 обнаруженных видов 7 являются аборигенными, 1 (карась серебряный) – вселенцем. Наиболее многочисленны окунь и линь, реже попадаются плотва и щука, единично карась и красноперка.

Водное хозяйство на территории заказника сводится к использованию оз. Свитязь в рекреационных целях: купание, климатотерапия – принятие воздушных и солнечных ванн, плавание на лодках (200–2000 человек ежедневно в летний период), любительское рыболовство (5–15 человек в период активного лова, до 40 человек в выходные дни).

Территория заказника входит в Республиканскую рекреационную зону «Свитязь», круглогодичный отдых и оздоровление в пансионате «Свитязь» (2000–2500 человек в год), неорганизованный отдых и туризм (до 2000 тыс. человек в сутки в летнее время, всего 27 000–60 000 человек в год), любительское рыболовство.

15.3. Белорусское Полесье

Белорусское Полесье, как и центральная часть территории Беларуси, отличается низкой озерностью (менее 1 %), что и определило наличие здесь небольшое количество озер в пределах ООПТ.

Гидрологический заказник «Выгонощанское»

Выгонощанское озеро находится в Ивацевичском районе в пределах одноименного гидрологического заказника (рис. 15.5). Площадь озера 26 км^2, максимальная глубина 2,3 м, длина 7 км, максимальная ширина 4,8 км, длина береговой линии 21 км. Объем воды 32,1 млн м^3, площадь водосбора 61,1 км^2.

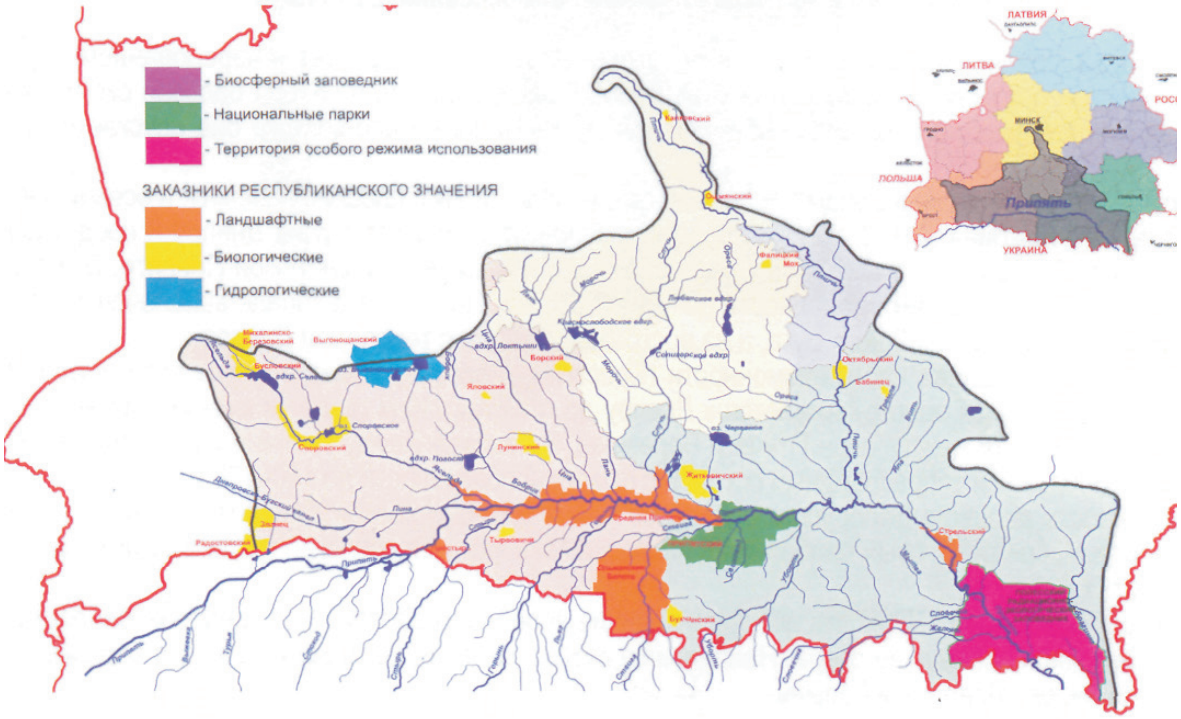


Рис. 15.5. Особо охраняемые территории бассейна р. Припять

Водосбор озера находится на водоразделе рек Щара (басейн Немана) и Ясельда (левый приток Припяти) на 37 км на восток от г. Ивацевичи. Склоны котловины озера пологие, преимущественно заболоченные. Берега низкие, торфянистые и закустарены, на севере и юге сплавинные. Дно котловины озера плоское, повсеместно занято сапропелем. В западной части находится множество мелей. С севера на юг озеро пересекает Огинский канал, основная часть Огинского водного пути. Озеро отличается богатым видовым составом высшей водной растительности и наличием разнотравно-осоково-злаковой сплавины шириной до 150 м, множеством водоплавающих птиц. Озеро зарастает по всей площади акватории.

ГЛАВА 16

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭВОЛЮЦИИ ОЗЕР

Развитие природы озер обусловлено особенностями формирования территории Беларуси, типологическими признаками озер. Формирование котловин озер, особенности осадконакопления несколько различаются в Полесье и Поозерье, поэтому оба региона целесообразно рассматривать раздельно. Природные особенности котловин и условий формирования лимносистем позволяют говорить об эволюции озера Поозерского и полесского типов. Следует отметить, что некоторые вопросы развития озер в голоцене рассматривались учеными белорусской школы лимнологов (О. Ф. Якушко, 1967; 1971; 1981), исследователями торфяников (А. П. Пидопличко, 1975). Более подробно вопросы эволюции озер рассмотрены в предыдущих главах.

На протяжении длительного геологического времени котловина озер заполняется донными отложениями, водоем мелеет, зарастает высшей водной растительностью. Последняя на заключительном этапе сменяется водно-болотной растительностью и озеро превращается в болотный массив. В классическом варианте в эволюции озер выделяется четыре основные стадии: юности, зрелости, старости и отмирания. Независимо от особенностей гидрологического режима, лимнических процессов эволюция озерной котловины представляет собой реализацию эквифинального принципа развития аквальных ландшафтов.

На *стадии юности* первоначальный рельеф котловины изменяется незначительно. О эволюции озерных котловин на этой стадии можно судить по развитию приледниковых водоемов. Обширные приледниковые водоемы занимали в позднем плейстоцене крупные гляциоозерные депрессии между стадиальными конечными моренами. Их образование на территории Белорусского Поозерья обусловлено подпруживанием талых вод краевыми моренными возвышенностями. Мощный приток талых вод приводил к образованию и даже к кратковременному объединению водоемов: Верхне-Березинского, Дисненского, Полоцкого, Суражского, Вилейского, Лучеснинского и других более мелких. Уровень воды в них может достигать 150–160 м, что позволяло озерным водам проникать глубоко в пределы морских возвышенностей и равнин. Доказательством существования и распростра-

нения приледниковых водоемов являются абразионные уступы, террасовые уровни и, главным образом, типичные слоистые песчано-галечниковые (мелководные), и песчаные и глинистые (глубоководные) ленточные глины.

В приледниковых водоемах в условиях олиготрофного холодного озера полярного типа шла аккумуляция песка, песчаной пыли, ила. Интенсивность накопления кремнеземистого материала определялась интенсивностью таяния льда, эпизодическими климатическими колебаниями, изменениями погоды. В летний более теплый период обильные талые воды с большей гидродинамической активностью приносили в озера неотсортированные материалы. Грубообломочный материал осаждался в дельтах водотоков, впадающих в водоемы. Более мелкий песчаный и алевритовый материал разносился по акватории и осаждался в глубоководной части. Мелкие частицы в виде взвесей долгое время находились в воде. Этому способствовали максимальная плотность воды и низкие температуры.

В зимний период, когда водоем покрывался льдом на достаточно продолжительный период и снижалась гидродинамическая активность приледниковых водотоков и водной акватории, резко сокращался привнос терригенного материала в озера. Весь тонкодисперсный материал, не успевший осесть летом, осаждался подо льдом. Весной после вскрытия в озера снова поступал глинистый и обломочный материал.

В условиях постоянной обратной термической стратификации на дне водоемов формировались слоистые ленточные глины. В прибрежной мелководной зоне, подверженной волнению, течениям, температурным колебаниям, формировались исключительно песчаные отложения. Гидродинамическая активность воды в зоне взмучивания не позволяла оседать здесь мелким частицам. В результате многократного оседания и взмучивания при волнении тонкие частицы выносились в открытую часть водоемов.

Талые ледниковые воды при температуре, близкой к нулю, и обладая меньшей плотностью, вместе со взвешенными частицами растекались по поверхности водоема. Высокая плотность воды на глубине препятствовала осаждению взвесей сразу. Разносу материала по акватории способствовали и ветры, дующие с ледника, где господствовал антициклон (Н. Г. Зайцева, 1969). Поэтому взвеси осаждались летом крайне медленно. Медленное осаждение способствовало сортировке материала, что характерно для ленточных глин. Отсутствие придонных течений в озерах не способствовало переотложению донных отложений.

Сезонное чередование поступления в озера песчаных и глинистых частиц летом и зимой способствовало формированию слоистых отложений в виде ленточных глин. Зимняя и летняя ленты в сумме рассматриваются как годичный слой. Зимой приток взвешенного материала в приледниковый водоем полностью прекращался. Подо льдом зимой отлагался исключительно глинистый материал, принесенный летом.

Кроме годичных слоев возможны были как климатические, так и погодные слои, вызванные соответственно климатическими и длительными погодными изменениями в летний период. Интенсивное перемешивание водной массы в штормовых условиях приводило к длительному взмучиванию прибрежной зоны и осаждению тонких прослоек песка в глубоководной части. Нередко возникали и длительные похолодания и потепления, вызванные климатическими колебаниями. Об этом свидетельствуют слои мощностью до 3–5 см. Продолжительность таких периодов могла достигать нескольких десятилетий. Это возможно могло привести к длительному замерзанию озерных водоемов и накоплению соответствующих осадков. При кратковременных летних потеплениях песчаные и алевритовые фракции в водоем практически не поступали.

Приледниковые водоемы различались проточностью. Подпруженные с севера ледниковым щитом озерные воды устремлялись на юг и в момент наиболее высокого уровня формировалась система сквозных долин: Западной Двины на участках Браслав – Даугавпилс, Илия – Гайна, Вилия – Березина (бассейна р. Неман), Страчи и др. Относительно быстрый спуск приледниковых озер характерен для тех условий, когда долины стока располагались более или менее перпендикулярно к краю ледника. Примером может служить сквозная долина Березины (бассейна реки Днепр), с помощью которой произошел спуск с Верхне-Березинского приледникового озера. В тех случаях, когда развитие озерного стока шло параллельно краю ледника, процесс спуска замедлялся и возникали многочисленные продолины (маргинальные), расположенные параллельно краю ледника. Примером может служить сквозной участок долины Западной Двины, а также Немана (Волкушанки – Бебжи).

Процесс спуска приледниковых озер завершился к началу голоцена. На месте спущенных водоемов сформировались заболоченные низины с остаточными заторфованными озерами, небольшими возвышенностями – островами бывших озер, долинами небольших рек, дюнно-бугристыми скоплениями.

В озере наблюдается интенсивное заложение прибрежных абразинных отмелей, идут процессы абразии берегов. Котловина озера выравнивается, выполаживается и заносится минеральными терригенными материалами (продуктами размыва). В озере наблюдаются те процессы, которые характерны для современных водохранилищ. Отдельные моменты в эволюции котловины озер можно найти в исследованиях приледниковых озер. Холодные условия позднеледниковья, наличие в котловинах песчаных отложений и глин свидельствуют о стадии занесения их чаши. Отсутствие достаточно развитой органической жизни не способствовало накоплению органики и заметного накопления органических отложений. Этот этап в жизни озер следует рассматривать как стадию занесения ложа.

На стадии *зрелости* вокруг озер существуют уже береговые отмели. Котловины озер представляют собой самостоятельные обособленные водоемы. В устьях рек формируются дельты. Однако в котловине озер существует достаточно сложный рельеф дна. Основным процессом является вдольбереговое перемещение наносов и аккумуляция в глубоководной части – в профундали органических, органо-минеральных и других типов отложений. Этот этап в развитии озер и их котловин является наиболее продолжительным и охватывает значительную часть голоцена. В зависимости от зональных и азональных особенностей озер, гидроморфологических и морфометрических особенностей их котловин, гидродинамических процессов, скорости естественного эвтрофирования озера получили соответствующий биологический статус и приблизились к стадии старения. С этой точки зрения на стадии зрелости озера относятся к многочисленной группе эвтрофных озер (слабо-, средне- и высокоэвтрофных). Для этой стадии развития озерных котловин характерен процесс заиления, заполнения ложа преимущественно органическими отложениями.

Озера в начале голоцена были олиготрофными, так как процесс расконсервации еще не закончился, о чем свидетельствует богатая диатомовая флора с преобладанием мелководных форм. Абсолютный возраст этого времени составляет 10 880±110 лет. Следующее кратковременное похолодание верхнего дриаса ($Дr_3$) проявилось в заметном преобладании крупнозернистого песка, иногда с мелкой галькой. Состав пыльцы этого небольшого слоя свидетельствует о возвращении условий лесотундры с карликовой березой, полярной ивой, сфанговыми болотами, распространением плаунка плаунковидного.

Таким образом, общая закономерность развития озер в позднеледниковье заключается в распространении процесса расконсервации котловин, образовании минеральных песчано-глинистых осадков в условиях холодного климата лесостепи, лесотундры и северной тайги.

Голоцен (послеледниковье) для северо-запада Европы рассматривается как отрезок времени в 10 тыс. лет (хотя имеются и другие мнения). Эволюция озер голоцена связана с колебаниями климата и выражается в полной расконсервации котловин, накоплением органо-минеральных отложений, развитием органической жизни, процесса естественного эфтрофирования. При оформлении молодых речных долин возможен процесс спуска мелководных водоемов.

Общеизвестно, что голоцен делится на следующие климатические периоды (этапы). *Нижний*, включающий пребореал (pB) и бореал (B), длится в течение 10–8 тыс. лет. *Средний* голоцен, включающий атлантический (A) и суббореальный (Sb) периоды, длится 7–5 тыс. лет. *Поздний* голоцен (4 тыс. лет) включает один субатлантический период. Начало

голоцена (пребореальный период) обозначается достаточно заметно в стратиграфических разрезах благодаря резкому увеличению карбонатной составляющей. Выше, в бореальный период в интервале 5–7 м от кровли формируется достаточно мощный слой озерной извести (карбонатного сапропеля) грязно-белого цвета кашеобразной консистенции. В оз. Нарочь, например, мощность карбонатного горизонта достигает 7 м, в пойме оз. Воробьи он составляет 4,5 м. С продвижением на восток мощность и содержание $CaCO_3$ в бореальное время сокращается.

Карбонатообразование (рис. 16.1) в начале голоцена знаменует важный этап в эволюции озер и выражает значительное потепление климата. К этому времени на возвышенностях закончился процесс расконсервации котловин, увеличилась глубина озер, уменьшилась их проточность и водная связь.

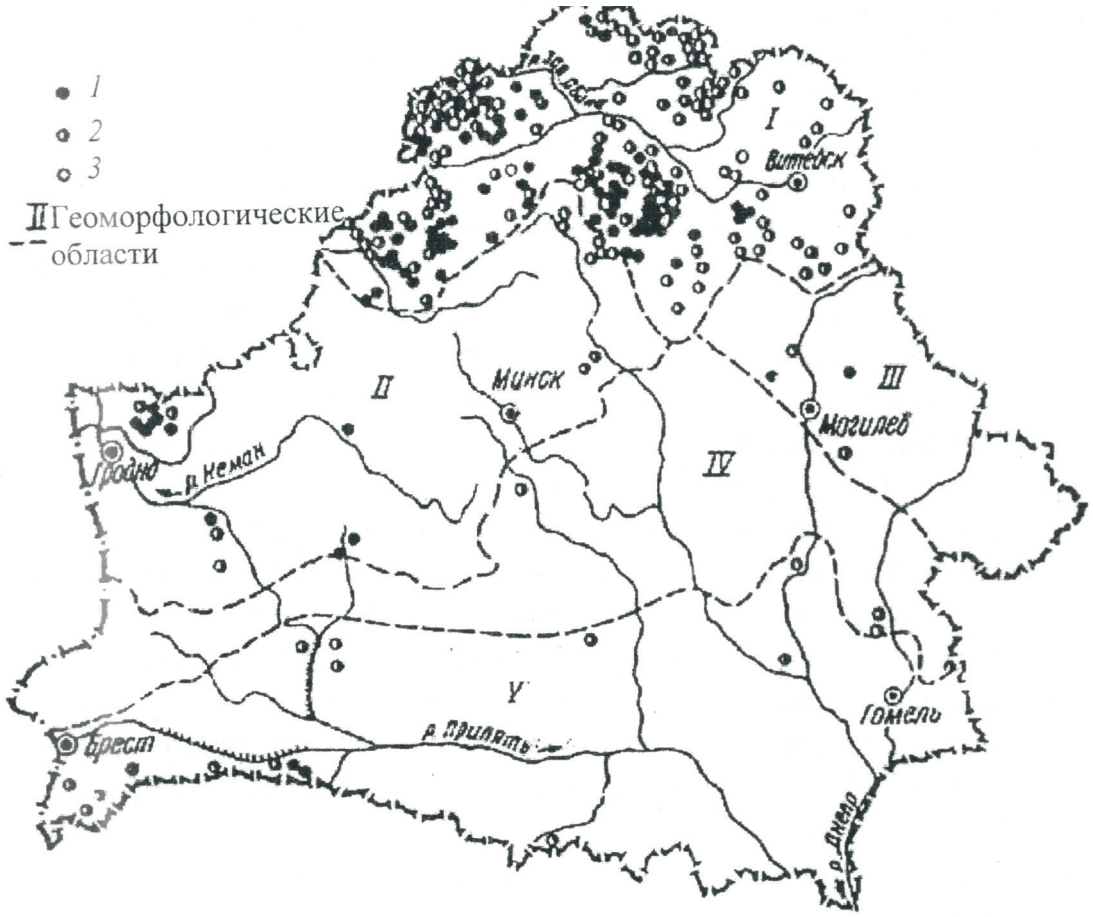


Рис. 16.1. Распространение голоценовых карбонатных отложений современных озер Беларуси: *I* – область Белорусского Поозерья, *II* – область Белорусской гряды, *III* – область Восточно-Белорусской равнины, *IV* – область равнн Предполесья, *V* – область Белорусского Полесья. *1* – озера сплошного карбонатонакопления, *2* – озера раннеголоценового карбонатонакопления, *3* – карбонатонакоапление в поверхностном слое

Карбонаты, извлекаемые из морены механическим и химическим выветриванием, транспортировались в озера, которые заметно прогревались. Режим озер этого периода был типично олиготрофным. Под влиянием прогревания водной массы, слабого развития флоры, недостатка свободной углекислоты, высокого содержания кислорода создавались условия карбонатного перенасыщения, а следовательно, происходило выпадение карбонатного вещества в осадок и накопление карбонатных сапропелей.

Флористические особенности раннего голоцена свидетельствуют о довольно суровом климате. Господствующее положение имеет пыльца сосны. В составе трав преобладают осоки, злаки, розоцветные. Потепление и уменьшение количества осадков, характерное для бореала, проявилось в распространении сосново-березовых лесов с небольшой примесью широколиственных пород и уменьшением заболоченных пространств.

Резкий климатический перелом ярко проявился в среднем голоцене (A и Sb), который способствовал климатическому оптимуму – особенно в атлантическом периоде. Состав спорово-пыльцовых спектров свидетельствует о широком происхождении смешанных и широколиственных лесов с большой примесью дуба (до 20 %), вяза, липы и ели.

Климатические события и солидный возраст озер сказались на характере накопления и вещественном составе донных отложений. Накопление озерной извести начало сменяться образованием сапропелей кремнеземнистого и смешанного кремнеземнисто-карбонатного состава. Для этого было несколько причин. В среднем голоцене продолжалось потепление климата и бурное развитие биоты в озерных водоемах. Это приводило к накоплению вблизи дна отмерших органических остатков, процесс разложения которых сопровождался потреблением кислорода и выделением свободной углекислоты. Этот процесс можно назвать эвтрофированием озер. Одновременно уменьшался привнос карбонатных веществ и сильновыщелочной морены.

Мощность кремнеземистых сапропелей, перекрывающих карбонатные, в мелководных озерах достигает нескольких метров. Кроме SiO_2, они обагощены окисью алюминия (8–12 %) и железа (7–14 %). В последнем случае такие осадки называются ожелезненными. В составе кремнеземистых осадков содержание органического вещества колеблется в пределах 30–40 %.

Выше по разрезу наиболее характерными отложениями для большинства неглубоких и мелководных озер являются тонкодетритовые и грубодетритовые сапропели с содержанием органического вещества 50 % и более. Такие условия сформировались в условиях более прохладного субатлантического климата (SA) позднего голоцена, когда на территории всей Беларуси распространились смешанные леса. Последние века субат-

лантического времени характеризуются интенсивным осадконакоплением в озерах, заметным эвтрофированием, которое усилилось под влиянием хозяйственной деятельности, что способствовало спонтанному увеличению продуктивности водоемов и быстрому их старению. Этот процесс получил название антропогенного эвтрофирования.

Среди озер Беларуси обнаруживаются исключения из вышеописанной схемы. В частности, есть водоемы – карбонатонакопители с позднеледникового до настоящего времени. К ним относятся мезотрофные озера Нарочь, Глубля, Глубелька, Волос Северный. Такие озера получили распространения в западной части Белорусского Поозерья, где состав морены отличается высокой карбонатностью по сравнению с силикатной мореной в восточных районах.

Нельзя не отметить такие водоемы, как мезотрофные с признаками олиготрофии, в которых органическое вещество в донных отложениях отсутствует и в верхнем слое накапливаются глинистые илы с очень низким содержанием органик: Свиты, Рудаково, Волосы Южные, Долгое и др.

Основные этапы эволюции оз. Долгое, отличающегося разнообразием фациальных сред, представлено в табл. 16.1, которая дает полное представление об эволюции озер в голоцене. Впервые исследователями показана связь стадий эволюции озер с гидрологическим режимом, геохимическими процессами, а также с этапами хозяйственной деятельности человека.

Значительный интерес представляют озера, которые находятся на стадии трясинного типа зарастания или близки к этому состоянию. Как правило, на отдельных участках береговой линии таких озер формируется сплавина, идет процесс торфообразования и торфонакопления. Исследования озерных отложений, формирующихся в контакте с торфяными залежами разного типа, дали возможность создать иные схемы развития озера на последних стадиях эволюции и формирования болота (рис. 16.2). В основу такой схемы было положено обеспечение процесса торфонакопления питательными веществами и трофность образующегося болота (А. П. Пидопличко, 1975). Отмечается связь растительности озер и особенностей эволюции их котловин с трофностью болотного массива. Обследования многочисленных озер показали, что их развитие в тесном контакте с эвтрофным торфяником завершается постепенным затягиванием торфяной сплавиной (рис. 16.2, *а*). Изменения в характере торфонакопления и в связи с переходом болот на другие стадии развития (в мезотрофные или олиготрофные) отражаются на особенностях эволюции озера. Отмечается, что с переходом торфяника на последующие стадии с соответствующим типом питания, процесс формирования сплавин несколько затормаживается (рис. 16.2, г) или даже прекращается (рис. 16.2, *б, в*).

Таблица 16.1

Основные показатели эволюции оз. Долгое в позднеледниковье и голоцене (А. Л. Жуховицкая, др., 1998)

Тыс. л.н.	Колебания уровня оз. Долгое ← низкий → высокий	Стадии развития озера	Преобладающий геохимический процесс	Фазы *Picea*	Этапы изменения лесов	Археологические периоды		Фазы антропогенной активности	Этапы хозяйственной деятельности (по пыльцевым данным)
							Эпохи		
1,0		Мезоэвтрофная	Биотерригенный			1,0	Новое время	6-	
		Мезотроф.-олиг.					Средневековье	5-	пахотное земледелие,
2,0		Мезоэвтрофная	Биогенный						скотоводство
		Эвтрофно - мезотрофная	Биотерригенный			0	Железо	4-	
3,0			Биохемогенный						подсечно-огневое
		Мезотроф-олиг;	Биотерригенный			1,0		3-	земледелие,
4,0		Мезотрофная	Биогенный			2,0	Бронза	2-	скотоводство
		Мезотрофная с приз.олиготроф.	Биотерригенный				поздний		
5,0						3,0	Неолит		начало земледелия
			Биохемогенный					1 -	
6,0			Биохемогенно - терригенный			4,0	средний		
		Мезоэвтрофная							
7,0			Биохемогенный			5,0	ранний		
									охота, собирательство, рыболовство
8,0		Мезотрофная	Терригенный			6,0			
9,0		Эвтрофно - мезотрофная	Биохемогенный			7,0	Мезолит		
10,0						8,0			
		Мезотрофная	Терриген.-глинистый						
11,0		Олигомезотроф.	Биохемогенный			9,0			
12,0						10,0	Палеолит		
		Олигомезотроф.	Терриген.-карб						
13,0		Олиготрофная	Терригенный			11,0			

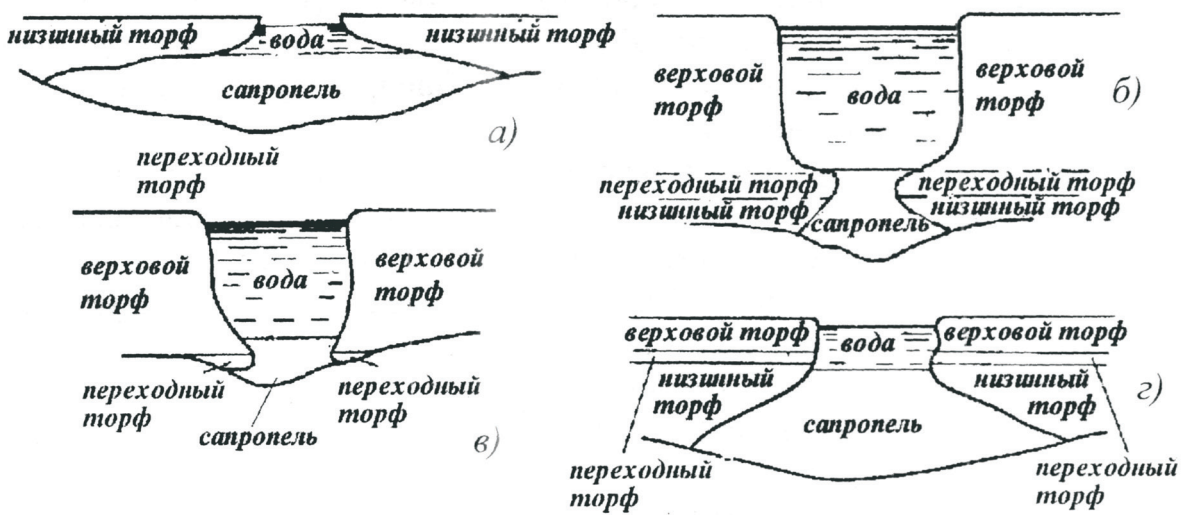


Рис. 16.2. Схемы формирования озерной ванны по А. П. Пидопличко (А. П. Пидопличко, 1975)

На наш взгляд, это положение не обосновано, так как остановить процесс эволюции на этом этапе развития водоема полностью невозможно. На отдельном конкретном отрезке времени развития озера возможна временная стабилизация процесса формирования сплавины. Однако дальнейшее развитие озера идет по пути одновременного накопления донных отложений и увеличения мелководности озера, что приводит к полному затягиванию акватории сплавиной.

Стадия *старости озер* отличается существенным изменением морфологических элементов котловины, значительным изменением средней глубины. В жизни озер основную роль играют высшая водная растительность и живые организмы. Начинается процесс зарастания озер, который сопроваждается изменением морфометрических характеристик котловин. В лимнических процессах происходит перестройка внутренней структуры экосистемы, сопровождающаяся снижением ее продуктивности. В водоеме все большее значение приобретает мертвое органическое вещество. Для этой стадии наиболее подходящими являются озера, находящиеся на стадии дистрофирования.

На стадии *отмирания озера* мелеют или зарастают на столько, что в подводной части котловины все морфологические части не различаются, водоем представляет собой блюдцеобразную котловину с биогенными типами литоралей. Профундаль заполнена отложениями, мелководна и зарастает вышей водной растительностью. В случае зарастания по поверхности и формирования верхового болота водоем покрывается сплавиной и характеризуется торфообразованием и торфонакоплением. Высшая водная растительность сменяется водно-болотной.

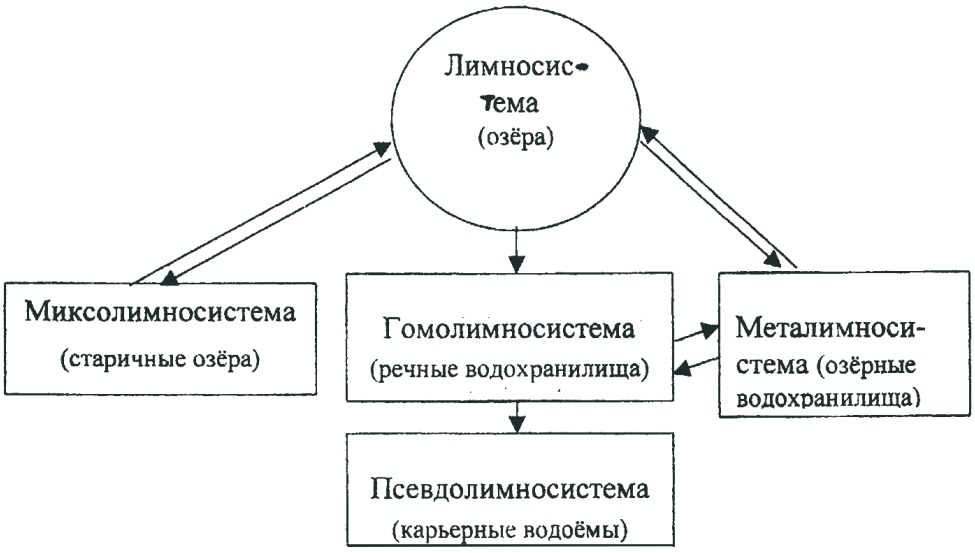


Рис. 16.3. Положение лимносистем среди других гидроэкосистем с замедленным водообменном

В последние годы была разработана единая гидрографическая типизация водоемов замедленного водообмена, основанная на особенностях образующих процессов и характере заполнения котловин, выявлены характер гидрологической связи водоемов с водотоком и водосбором, тип и степень их автономности как гидроэкосистем, степень устойчивости их гидрологического режима. Нами было доказано, что озера, как лимносистемы, сформированные в голоцене за длительный период своего развития, являются устойчивыми природными системами и могут использоваться в качестве эталона при сравнительной оценке и анализе развития природных и искусственных водоемов с замедленным водообменном.

Было установлено (Лопух, 2001), что в результате трансформации лимнических процессов в различных условиях формируются гидроэкосистемы с разным уровнем саморегуляции и, соответственно, устойчивости (рис. 16.3): лимносистемы, или классические озера, металимносистемы (озерные водохранилища), гомолимносистемы (водохранилища и пруды), миксолимносистемы (старичные озера) и псевдолимносистемы (карьерные водоемы).

В отношении эволюции старичных озер следует отметить их временную неустойчивость, сезонную изменчивость (рис. 16.4). В годичном разрезе старинные озера отличаются неустойчивостью, периодической (сезонной) изменчивостью. В весенний период они развиваются как эвтрофные водоемы. К концу летне-осеннего гидрологического периода они приобретают черты дистрофирующего водоема. Кратковременный зимний режим прерывается весенним обновлением и омоложением. Временная

сезонная неустойчивость в развитии стариц является аномальным явлением в эволюционном ряду лимносистем.

Изолированность от поверхностного стока, автономность и гидродинамическая пассивность, отсутствие условий для перемешивания водных масс и выполаживания ложа, формирования литорали определяют однообразие и незавершенность в развитии их гидроэкосистем. Бедный видовой состав и низкая биомасса макрофитов, преобладание планктонных организмов обусловили слабую роль органической жизни в развитии лимносистемы старинных водоемов и продолжительную озероподобную стадию эволюции, которая повторяется ежегодно в несколько фаз: фазы наполнения, озероподобной фазы эвтрофного и озероподобной фазы дистрофного типов (рис. 16.4).

Положение старичных озер на пойме способствует ежегодному обновлению водных масс и формированию сезонных (временных) состояний гидроэкосистем с различным уровнем трофии. Длительность этой стадии зависит от степени (полной, частичной или постоянной) гидравлической связи с рекой. Изолированные озера-вертебы практически погибают за 3–4 десятилетия. Большие и вытянутые старицы полесского типа существуют более длительный срок. Их «живучесть» объясняется ежегодным промывным режимом, отсутствием интенсивного процесса накопления илов. Водная мелиорация и обмеление рек способствуют более быстрому заилению и зарастанию котловин озер. Скорость полного перерождения стариц тесно связана с периодами разной водности. Продолжительный период снижения водности способствует более быстрому дистрофированию и заилению ложа. Наступление многоводного периода способствует некоторому обновлению водоемов, однако полное обновление наступает редко и водоемы превращаются в болото низинного типа.



Рис. 16.4. Сезонные фазы развития пойменных озер: 1 – маловодных лет; 2 – сезонные фазы многоводных лет

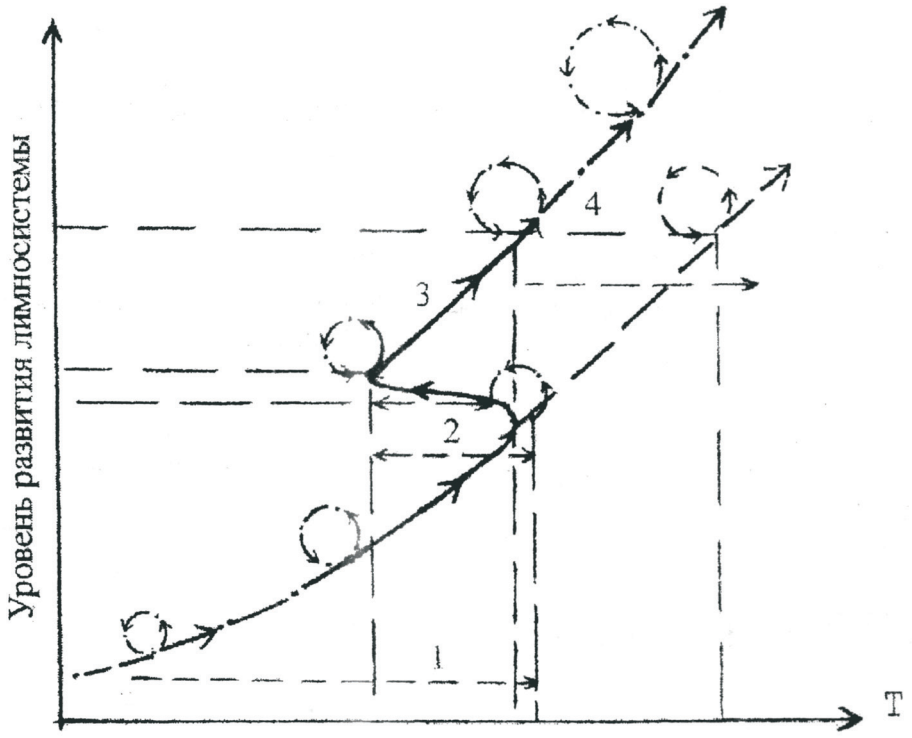


Рис. 16.5. Модель развития лимносистем в естественном состоянии и при создании водохранилищ озерного типа: *1* – озерная, *2* – дэволюции, *3* – стабилизации, *4* – озерная (вторичная) стадии эволюции озер

Интересным результатом исследований является тот факт, что близкие условия к лимносистемам создаются и в карьерных водоемах. В водоемах нового типа. Этому способствуют более значительные их параметры. Быстрое снижение уровня трофии водоемов и приближение к стадии отмирания во многом зависят от антропогенного влияния. Небольшой водосбор, слабая водообменность, автономность лимносистемы не способствуют их продолжительному существованию. Следует предположить существование двух стадий в эволюции карьерных водоемов: псевдоозерной и стадии перерождения.

На рис. 16.5 представлена гипотетическая модель развития лимносистем в естественном и зарегулированном состоянии. В естественных условиях развитие лимносистемы представляет собой плавное эволюционное развитие, без скачкообразных потрясений. Озера, как сложная лимносистема, постепенно эволюционируют от олиготрофного к эвтрофному, дистрофирующему водоему, завершая перерождением озера в новый тип водного объекта с замедленным водообменном (часть кривой 1). С поднятием уровня воды и применением других способов восстановления заросших озер происходит изменение лимнических условий в озере. Они

свидетельствуют о признаках омоложения, или олиготрофии лимносистем. Значения биомассы и видового состава гидробионтов также свидетельствуют о снижении трофности водоемов. При незначительном подъеме уровня озер изменения в их режиме имеют размытый характер, наблюдается временная релаксация лимносистемы: минуя период деэволюции, она восстанавливает равновесное состояние в течение 5–6 лет. Инерционность лимносистемы противостоит геоэкологическим факторам. При больших подпорах более глубокая перестройка лимносистемы происходит в четыре стадии: озерная (состояние естественного озера на определенном трофическом уровне), стадия становления или деэволюции (активизации внутриводоемной перестройки), стадия стабилизации процессов в лимносистеме на новом уровне и озерная (вторичная) стадия.

Представленные материалы представляют собой некоторые теоретические основы развития водоемов замедленного водообмена. Это позволяет объединить в единый эволюционный ряд разнотипные водоемы и проследить их развитие в пространстве и во времени, разработать единую теорию развития гидроэкосистем разного типа, наметить научные основы их управлением.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Реальное хозяйственное использование природных ресурсов озёр Белорусского Поозерья

№ п/п	Административный район	Кол-во озёр	Забор воды на хоз. нужды	Рыболовство		Добыча сапропелей	Рекреация	Место отдыха
				Промыш	Любит.			
1	Бешенковичский	17	11	11	6	–	4	6
2	Браславский	75	58	65	4	–	3	21
3	Верхнедвинский	8	4	5	2	–	1	4
4	Витебский	15	12	14	–	–	3	5
5	Глубокский	19	13	15	–	–	2	4
6	Городокский	38	23	26	4	–	3	11
7	Лепельский	45	31	38	3	–	1	15
8	Миорский	32	24	11	12	–	–	6
9	Полоцкий	63	33	35	19	4	8	24
10	Поставский	24	18	13	5	–	–	2
11	Россонский	29	13	19	8	–	2	7
12	Сенненский	11	8	8	1	–	1	4
13	Ушачский	66	46	34	28	1	1	33
14	Чашникский	22	17	18	4	–	–	7
15	Шумилинский	8	6	5	2	–	3	6
16	Мядельский	14	–	10	10	–	3	6
17	Островецкий	11	–	7	8	–	–	9
	Всего	497	317	334	116	5	32	171

Приложение 2

Перспективы хозяйственного использования озёрных ресурсов Белорусского Поозерья

№ п/п	Административный район	Кол-во озёр	Забор воды на хоз. нужды	Рыболовство		Добыча сапропелей	Рекреация	Место отдыха	Охот угодья	Охраняемые территории	В современном состоянии не имеет перспектив
				Пром.	Любит.						
1	Бешенковичский	17	7	6	8	5	9	2	–	–	–
2	Браславский	75	39	61	–	18	31	3	–	2	2
3	Верхнедвинский	8	3	5	1	2	2	1	–	2	–
4	Витебский	15	11	14	–	1	7	3	–	–	–
5	Глубокский	19	8	12	–	1	7	1	–	3	3
6	Городокский	38	15	30	–	5	16	1	2	3	–
7	Лепельский	45	28	40	1	5	11	6	–	4	–
8	Миорский	32	15	13	2	8	6	6	–	6	1
9	Полацкий	63	23	33	–	23	25	4	5	6	2
10	Поставский	24	7	14	–	4	5	3	–	3	1
11	Россонский	29	7	18	–	9	7	6	1	2	–
12	Сенненский	11	8	9	–	2	5	5	–	–	–
13	Ушачский	66	39	51	4	8	26	16	–	3	–
14	Чашникский	22	10	16	1	4	4	3	–	1	–
15	Шумилинский	8	3	4	–	2	3	2	–	1	1
16	Мядельский	14	10	10	10	1	3	7	–	4	–
17	Островецкий	11	4	7	8	2	5	5	–	2	–
	Всего:	497	237	343	35	100	172	74	8	41	11

Приложение 3

Количество, площадь озер и озерность по бассейнам рек Беларуси

Бассейн/система	Площадь бассейна в Беларуси (км²)	Количество озер	Площадь озер (км²)	Озерность (%)
Западная Двина	33 100	1479	950,85	2,8
Дисна	7730	275	176,11	2,2
Дрыса	6420	196	175,82	2,7
Оболь	2690	110	53,29	1,3
Улла	4090	87	112,19	2,7
Друйка	1050	93	125,39	11,9
Дива-Туровлянка	1000	93	84,17	8,4
Ушача	1150	121	29,02	2,4
Полота	470	60	14,09	2,8
Сосница	394	34	13,90	2,7
Овсянка	598	10	8,11	2,3
Нача	424	38	9,93	2,3
Лужеснянка	700	26	25,07	1,4
Лучоса	3510	26	16,51	0,7
Вята	424	24	33,11	4,1
Кривинка	637	10	8,55	5,2
Мерица	224	11	7,25	3,8
Сечна	166	12	7,80	4,4
Шевинка	342	12	5,76	2,3
Росица	150	10	1,88	3,6
Черногостиница	185	7	10,04	0,9
Волта	207	4	0,98	4,8
Островница	83	4	1,67	1,2
Тросница	65	6	0,6	2,6
Витьба	275	5	0,75	0,8
Каспля	530	3	3,57	0,1
Бельчица	47	3	0,56	7,6
Бикложа	40	1	0,23	1,4
Сарьянка	800	2	0,07	0,0
Неман	35 000	82	192,41	0,6

Бассейн/система	Площадь бассейна в Беларуси (км²)	Количество озер	Площадь озер (км²)	Озерность (%)
Вилия	11 000	41	157,68	1,4
Котра	2060	21	17,88	0,9
Щара	6990	11	12,18	0,5
Молчадь	1140	2	2,34	0,2
Дитва	1200	1	0,15	0,01
Зельвянка	1940	1	0,2	0,01
Днепр	118 000	77	56,36	0,05
Березина	24 500	38	40,64	0,2
Сож	21 500	15	4,75	0,02
Оршица	519	5	2,67	0,5
Друть	5020	4	2,19	0,04
Березовка	721	2	0,9	0,1
Артисловка	150	1	0,23	0,15
Бобр	2190	1	1,51	0,07
Добрица	149	1	0,29	0,2
Припять	51 400	54	129,57	0,2
Ясельда	7790	9	37,27	0,5
Птичь	9170	7	7,59	0,08
Цна	1130	4	0,8	0,07
Пина	2460	4	4,21	0,17
Сколодина	275	1	0,13	0,05
Случь	5470	1	0,14	0,02
Ствига	4300	1	0,98	0,02
Бобрик	1902	1	0,15	1,02
Тремля	769	1	0,78	0,01
Смердь	502	1	0,12	0,02
Западный Буг	10 000	14	16,56	0,07
Мухавец	6600	6	9,27	0,14
Спановка	200	3	1,03	0,5
Ловать	483	12	10,05	2,7
ВСЕГО		1285	1339,03	

Приложение 4

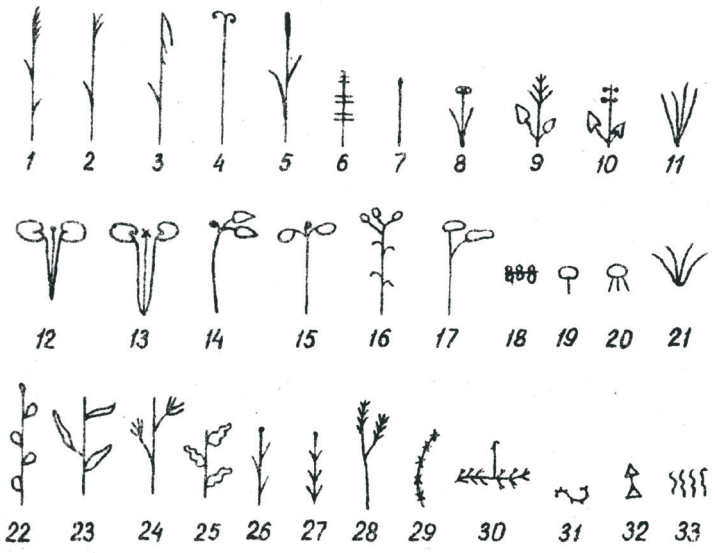
Список постов на озерах и водохранилищах Беларуси (на 01.01.2006)

Номер поста	Водоем	Дата открытия поста	Местоположение (название) поста	Код поста	Площадь водосбора, км.кв	Площадь зеркала водоема, кв.км	Отметка нуля поста.ю м, абс.	Примечание
01	Оз. Сенно	04.09.1927	Г.Сенно	73 114	85.3	3.30	142.13	
02	Оз. Лукомское	23.09.1932	Г. Новолукомль	73 125	216	36.7	163.54	О, С (П)
03	Оз. Нещердо	13.08.1932	С. Горбачево	73 126	167	28.4	147.02	О, С (П, Л)
04	Оз. Освейское	06.07.1928	Г. п. Освея	73 127	259	53.8	128.41	О, С (П)
05	Оз. Дривяты	12.09.1926	Г. Браслов	73 123	493	33.7	129.48	О, С (Л)
06	Вдхр. Вилейское	08.04.1976	Г. Вилейко	74 031	4100	63.8	153.00	И
07	Оз. Мястро	07.10.1961	С. Гатовичи	74 033	125	13.4	163.65	О, С (П, Л)
08	Оз Нарочь	01.10.1960	Кур. пос. Нарочь	74 034	279	79.6	163.65	И
09	Вдхр. Чигиринское	08.02.1962	Чигиринская ГЭС	79 280	3740	20.9	135.09	И
010	Вдхр. Заславское	20.10.1959	Заславский гидроузел	79 282	–	25.6	202.56	И
011	Оз. Выгонощанское	20.11.1964	С. Выгонощи	79 329	–	26.0	151.02	О, С(П, Л)
012	Вдхр. Солигорское	01.10.1975	Г. Солигорск	79 331	1670	20.1	144.37	-
013	Вдхр. Красная Слобода	25.10.1976	С. Новый Рожан	79 372	711	23.6	150.98	О
014	Оз. Червоное	17.03.1957	С. Пуховичи	79 383	427	39.8	134.48	О, С(П)

Условные обозначения:
И – пост информационный;
О – измерение осадков;
С – снегосъемка: П – поле, Л – лес

Приложение 5

Условные обозначения, рекомендуемые для обозначения видов растений на комплексных профилях



Условные знаки для обозначения видов растений на профилях

1- Phragmites communis; 2- Scolochloa festucacea; 3- Glyceria; 4-Scirpus; 5- Typha; 6- Equisetum; 7- Eleocharis; 8- Butomus; 9- Alisma; 10- Sagittaria; 11- Carex; 12- Nuphar; 13- Nymphaea; 14- Polygonum amphibium; 15- Potamogeton natans; 16- P.gramineus; 17- Nymphoides peltatum; 18- Salvinia natans; 19- Lemna minor; 20- Spirodela polyrrhiza; 21- Stratiotes aloides ; 22- Potamogeton perfoliatus ; 23- P.lucens; 24- P; pectinatus; 25- P. crispus; 26- P. compressus; 27- P. pusillus ; 28- Myriophyllum ; 29- Ceratophyllum; 30- Utricularia ; 31- Elodea canadensis; 32- Lemna trisulca ; 33- МХИ



Условные знаки для обозначения видов растений на картах и схемах

I-Погруженные растения: 1-Ceratophyllum demersum, 2- C.submersum, 3-Elodea canadensis, 4-Hydrilla lithuanica, 5-Isoetes lacustris, 6-Lemna trisulca, 7- Lobelia Dortmanna, 8-Myriophyllum alternifolium, 9-M.spicatum, 10-M.ussuriense, 11-M.verticillatum, 12- Najas marina, 13- Potamogeton crispus, 14- P.compressus, 15- P.filiformis, 16-P.Friesii, 17- P.lucens, 18-P. pectinatus, 19- P.perfoliatus, 20-P.praelongus, 21-P.pusillus, 22-P.trichoides, 23-P.vaginatus, 24-Ranunculus circinatus, 25-R.trichophyllus, 26-Ruppia maritima, 27-R.spiralis, 28-Utricularia vulgaris, 29-U.intermedia, 30-U.minor, 31-Vallisneria spiralis, 32-Zostera marina, 33-Волные мхи, 34-харовые водоросли. II - плавающие растения: 1-Callitriche palustris (а-плавающая, б-погруженная. в-наземная формы): 2-Hydrocharis morsus-ranae, 3-Lemna minor, 4-Nuphar lutea, 5-N.pumila, 6-Nymphaea alba, 7-N.candida, 8-N.tetragona, 9-Nymphoides peltatum, 10-Polygonum amphibium (а-f.aquaticus, б -f.terrestre), 11-Potamogeton gramineus (а-водная , б-наземная формы), 12-P.natans, 13-Ranunculus peltatus, 14-Sagittaria natans (а- водная. б-наземная формы), 15-Salvinia natans, 16-Stratiotes aloides, 17-Spirodela polyrhiza, 18-Trapa natans

ЛИТЕРАТУРА

Алекин, А. А. Основы гидрохимии / А. А. Алекин. Л., 1970. 444 с.

Антропогенное влияние на крупные озера Северо-Запада СССР. Л., 1981. 256 с.

Антропогенное воздействие на малые озера. Л., 1980. 172 с.

Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера / отв. ред. Н. А. Петрова. Л., 1982. 304 с.

Арсланов, Х. А. Радиоуглерод: геохимия и геохронология / Х. А. Арсланов. Л., 1987. 298 с.

Богословский, Б. Б. Озероведение / *Б. Б. Богословский.* Л., 1960. 335.

Боровик, Е. А. Озера Белорусской ССР / Е. А. Боровик. Минск, 1964. 380 с. *Бракш, Н. А*. Сапропелевые отложения и пути их использования / Н. А. Бракш. Рига, 1971. 282 с.

Брславский, А. П. Тепловое влияние объектов энергетики на водную среду / А. П. Брславский, М. Н. Кумарина, М. Е. Смирнова. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 251 с.

Верещагин, Г. Ю. Методы морфометрической характеристики озер // Тр. Олонецкой науч. экспедиции. 1930. Вып. 1, ч. 11. 106 с.

Власов, Б. П. Использование высших водных растений для оценки и контроля за состоянием водной среды: Метод. рекомендации / Б. П. Власов, Г. С. Гигевич. Минск, БГУ, 2002. – 84 с.

Власов, Б. П. Антропогенначя трансформация озер Беларуси: геоэкологическое состояние, изменения и прогноз / Б. П. Власов. Минск: БГУ, 2004. 2007 с.

Волкова, Г. Б. Трехмерная модель течений и переноса тепла и ее реализацияя на примере подогреваемого озера Лукомского / Волкова, Г. Б. [и др.] // Термика рек и водохранилищ. – М., 1984.

Восстановление экосистем малых озер / отв. ред.: В. Г. Драбкова, М. Я. Прыткова, О. Ф. Якушко. СПб: Наука, 1994. 144 с.

Гарункштис, А. А. Седиментационные процессы в озерах Литвы / А. А. Гарункштис. Вильнюс, 1975. 297 с.

Гурьянова, Л. В. Особенности распределения температуры воды в малом озере – охладителе ТЭС / Л. В. Гурьянова // Вестн. БГУ, сер. 2, 1989, №1. С. 57–60.

Гурьянова, Л. В. Изменение термики малого озера в результате использования его в качестве водоема-охдадителя ТЭС / Л. В. Гурьянова // Биология внутренних вод: инф. бюл. 1988. № 80. С. 72–75.

Гигевич, Г. С. Высшие водные растения Беларусию Эколого-биологическая характеристика, использование и охрана / Г. С. Гигевич, Б. П. Власов, Г. П. Вынаев. Минск, 2002. 231 с.

Давыдова, Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы экологических условий водоемов в голоцене / Н. Н. Давыдов. Л., 1985. 244 с.

Драбкова, В. Г. Зональные изменения интенсивности микробиологическихз процессов в озерах / В. Г. Драбкова. Л., 1981. 212 с.

Драбкова, В. Г. Озеро и его водосбор – единая природная система / В. Г. Драбкова, И. Н. Сорокин. Л., 1979. 196 с.

Жуховицкая, А. Л. Озерный седиментогенез в голоцене Беларуси: геохимические и биологические аспекты / А. Л. Жуховицкая, Б. П. Власов, Б. В. Курзо, В. А. Кузнецов. Минск, 1998. 280 с.

Ильвес, Э. Радиоуглеродный метод и его применение в четвертичной геологии и археологии Эстонии / Э. Ильвес, А. Лийва, Я.-М. Пуннинг. Таллин, 1974. 230 с.

Инструкция для исследования озер. СПб., 1908. 297 с.

Кадастр сапропелевых отложений озер Белорусской ССР. – Минск, 1981, 615 с.

Катанская, В. М. Растительность водохранилищ-охладителей тепловых электростанций Советского Союза / В. М. Катанская. Л.: Наука, 1979. 278 с.

Кабайлене, М. В. Формирование пыльцевых спектров и методы восстаноления палеорастительности / М. В. Кабайлене. Вильнюс, 1969. 148 с.

Китаев, С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов / С. П. Китаев. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.

Кордэ, Н. В. Биостратификация и типология русских сапропелей / Н. В. Кордэ. М., 1960. 220 с.

Лапотко, М. З. Озера и сапрорпель / М. З. Лапотко. Минск, 1978. 88 с.

Лапотко, М. З. Сапропели в сельском хозяйстве / М. З. Лапотко, Е. А. Евдокимова, П. Л. Кузьмицкий. Минск, 1992. 216 с.

Логинов, В. Ф. Причины и следствия климатических изменений / В. Ф. Логинов. Минск, 1992. 320 с.

Логинов, В. Ф. Спектрально-временной анализ уровенного режима озер и колебаний расходов воды крупных рек Беларуси / В. Ф. Логинов, В. Ф. Иконников // Природопользование. Вып. 9, 2003. С. 25–33.

Лопух, П. С. Типология озер Беларуси по режиму уровня воды / П. С. Лопух // Вестн. БГУ. Сер. 2, 1988. № 2. С. 46–51.

Лопух, П. С. Закономерности развития природы водоемов замедленного водообмена, их использование и охрана / П. С. Лопух Минск: БГУ. 332 с.

Лопух, П.С. Гидрография Беларуси / П. С. Лопух. Минск, 2004. 2004 с.

Меншуткин, В. В. Математическая модель экологической системы озера Дривяты / В. В. Меншуткин, А. А. Умнов // Экология. 1970. № 4 (1). С. 3–10.

Меншуткин, В. В. Функциональная модель экосистемы оз. Байкал / В. В. Меншуткин, О. М. Кожова, Л. Я. Ащепкова // Гидробиол. журн. 1978. № 3. С. 3–11.

Митрахович, П. А. Экосистема водоема-охладителя Лукомской ГРЭС / П. А. Митрахович [др.]. Минск, Право и экономика. 2008. 144 с.

Муравейский, С. Д. Очерки по теории и методам морфометрии озер / С. Д. Муравейский // Реки и озера. М., 1960. С. 91–126.

Образование осадков в современных водоемах / под ред. Н. М. Страхова. М., 1954. 792 с.

Общие закономерности возникновения и развития озер. Методы изучения озер. Л., 1986. 254 с.

Озера Белоруссии. Справочник / Под ред. О.Ф. Якушко. Минск, 1983. Т.1–3.

Оценка трансграничных водотоков Республики Беларусь. Реализация Конвенции ЕЭК ООН по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер. Минск, ООО «Белсэнс», 2010. 99 с.

Петрова, М. И. Хемотрансформация озерных вод под влиянием локальных источников загрязнения (на примере озер Белорусского Поозерья). Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геногр. наук. Минск: Институт природопользовния НАН РБ. Минск, 2010. 22 с.

Пидопличко, А. П. Озерны отложения Белорусской ССР: генезис, стратиграфия и некоторые качественные особенности / А. П. Пидопличко. Минск, 1975. 120 с.

Прыткова, М. Я. Научные основы и методы восстановления озерных экосистем при разных видах антропогенного воздействия / М. Я. Прыткова. СПб., 2002. 148 с.

Россолимо, Л. Л. Озерное накопление кремния и его типологическое значение / Л. Л. Россолимо. М., 1971. 103 с.

Россолимо, Л. Л. Антропогенное эвтрофирование озер / Л. Л. Россолимо. Л.: Наука, 1976. 119 с.

Россолимо, Л. Л. Изменение лимнических экосистем под воздействие антропогенного фактор / Л. Л. Россолимо, М., 1977. 144 с.

Семенович, Н. И. Лимнологические условия накопления железистых осадков в озерах / Н. И. Семенович. М.; Л., 1958. 2188 с.

Страхов, Н. М. Основы теории литогенеза / Н. М. Страхов. М. 1960. Т.1. 212 с.

Субетто, Д. А. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции / Д. А. Субетто. СПб: Изд-во РГПУ имен. А. И. Герцена, 2009. 339 с.

Тихомиров, А. И. Термика крупных озер / А. И. Тихомиров Л., Наука, 1982. 232 с.

Тюльпанов, А. И. Краткий справочник рек и водоемов БССР / А. И. Тюльпанов. Минск, 1949. 420 с.

Фащевский, Б. В. Основы экологической гидрологии / Б. В. Фащевский. Минск: Экоинвест, 1999. 240 с.

Хатчинсон, Д. Э. Лимнология: перевод с англ / Д. Э. Хатчинсон. М., 1969. 592 с

Хендерсон-Селлерс, Б. Инженерная лимнология: перевод с англ. / Б. Хендерсон-Селлерс. Гидрометеоиздат. Л., 1987. 336 с.

Эдельштейн, К. К. Лимнологическое моделирование / К. К. Эдельштейн, Ю. С. Даценко. Москва, МГУ, 1989. – 82 с.

Хомскис, В. Динамика и термика малых озер. – Вильнюс, 1969.

Экологическая система Нарочанских озер. Минск, 1985. 303 с.

Якушко, О. Ф. Белорусское Поозерье: История развития и современное состояние озер Северной Белоруссии / О. Ф. Якушко. Минск: Вышэйшая школа. 1971.

Якушко, О. Ф. Озероведение: География озер Белоруссии: учеб. пособие / О. Ф. Якушко. 2-е изд., перераб. Минск, Выш. шк. 1981. 223 с.

Якушко, О. Ф. Озера Белоруссии / О. Ф. Якушко [и др.]. Минск, 1988. 216 с.

Якушко, О. Ф. Природно-хозяйственная классификация озер Беларуси. Рекомендации по хозяйственному использованию озер / О. Ф. Якушко [и др.]. Минск, 1995. 136 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

Глава 1. Предмет, задачи и роль озер в природных комплексах 4
1.1. Предмет, задачи и методы исследования 4
1.2. История развития лимнологии в Беларуси 7
1.3. Научные школы и направления 10
1.4. Место озер в природном комплексе 13

Глава 2. Палеогеография озерных водоемов 20
2.1. Вопросы геохронологии 20
2.2. Палеогеографические методы исследования озер 21
2.3. Основные этапы формирования приледниковых озер 24
2.4. Особенности развития территории водосборов озер Беларуси в позднеледниковье и голоцене 35
2.5. Палеогеография озер Полесья 47
2.6. Палеогеография озер центральной части Беларуси 50
2.7. Генезис и типы котловин современных озер 51

Глава 3. Морфология и морфометрия озерных котловин 62
3.1. Морфология озерных котловин 62
3.2. Типы берегов 66
3.3. Стадии развития абразионных типов берегов 69
3.4. Характеритсика береговой линии озер на стадии устойчивой береговой линии 72
3.5. Морфометрия озер 81

Глава 4. Водный баланс и уровневый режим озер 88
4.1. Водный баланс озер 88
4.2. Уровневый режим 96

Глава 5. Динамика водных масс и ледово-термический режим 113
5.1. Особенности динамика водных масс малых озер 113
5.2. Ветровое волнение 117
5.3. Сгонно-нагонные явления 119
5.4. Сейши и явления термического бара 120
5.5. Течения 122
5.6. Ледово-термический режим 125
5.6.1. Радиационный баланс озер 125
5.6.2. Температурный режим 130
5.6.3. Ледовый режим озер 137
5.7. Теплозапас озер 139
5.8. Типизация озер по температурному режиму 143

Глава 6. Газовый режим 146

Глава 7. Гидрохимический режим 161

7.1. Оптические характеристики озерных вод 161
7.2. Активная реакция среды (pH) 164
7.3. Общая минерализация воды 166
7.4. Биогенные элементы 175
7.5. Органическое вещество в озерах 183

Глава 8. Биология озер 189

8.1. Фитопланктон (альгофлора) 190
8.2. Высшая водная растительность (макрофиты) 192
8.3. Зоопланктон, зообентос, ихтиофауна 200
8.4. Первичная продукция и ее роль в биологической продуктивности водоемов 203

Глава 9. Донные отложения 204

9.1. Закономерности образования и накопления осадков в озерах 204
9.2. Вещественный состав и классификация озерных отложений 213
9.3. Стратиграфия и мощность озерных отложений 222
9.4. Использование донных отложений озер 226

Глава 10. Вопросы классификации озер 233

10.1. Общие закономерности 233
10.2. Генетические типы озер Беларуси 241

Глава 11. Изиенение лимносистем под влиянием хозяйственной деятельности 251

11.1. Проблемы эвтрофирования лимносистем 251
11.2. Антропогенное эвтрофирование лимнических экосистем 255
11.3 Трансформация лимносистем под влиянием хозяйственной деятельности 261

Глава 12. Хозяйственное использование и охрана озер 267

12.1. Общая характеристика природно-ресурсного потенциала озер 267
12.2. Природно-хозяйственная классификация озер 272
12.3. Современное хозяйственное использование озер 274

Глава 13. География крупнейших озерно-речных систем 278

Глава 14. Вопросы управления и моделирования лимническими процессами 286

Глава 15. География и лимнологическая характеристика особо охраняемых территорий 295

15.1. Белорусское Поозерье 296
15.2. Центральная часть Беларуси 337
15.3. Белорусское Полесье 339

Глава 16. Теоретические закономерности эволюции озер 341

Приложения 354

Литература 361

П. С. Лопух, О. Ф. Якушко

Учебное издание

ОБЩАЯ ЛИМНОЛОГИЯ

Пособие для студентов
географического факультета

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *Е. А. Логвинович*

Дизайн обложки *Т. А. Малько*
Компьютерная верстка *О. С. Виноградовой*
Корректор *Л. Н. Масловская*

Электронный ресурс 59,4 Мб
Режим доступа: http:/www.elib.bsu.by, ограниченный

Белорусский государственный универститет.
ЛИ № 02330/0494425 от 08.04.2009.
Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.