

Ю. Б. ЛИТИНСКИЙ

Светлой памяти озероведа Г. Ю. Верещагина, изучавшего озеро Карелии с 1918 по 1924 г.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ГЕОМОРФОЛОГИИ ОЗЕР КАРЕЛЬСКОГО РЕГИОНА

Карелия является страной озер. На ее территории находится свыше 43 тыс. озер с площадями от 0,01 км² до таких, как Выгозеро (водохранилище), Топозеро и Пяозеро, которые достигают 1 тыс. км² (Григорьев, 1947). В состав Карельского гидрографического района (Григорьев и Грицевская, 1959) входят крупные озера мира: Ладожское и Онежское (Верхне-Свирское водохранилище). По озерности (18%) республика является первой в СССР и в Европе и почти вдвое превосходит по этому показателю Финляндию (Ренквист, 1953) и Швецию [Melin (Мелин), 1936]. Если по числу озер Карелия несколько уступает Мурманской области, где их около 100 тыс., то по проценту озерности и многообразию их типов, вероятно, значительно превосходит ее. Заболоченность территории Карелии составляет 30%¹, значительная часть низинных болотных массивов в недалеком прошлом также была занята мелководными озерами ледниково-аккумулятивного происхождения.

Большинство крупных озер Карелии превращено в водохранилища или их создание будет завершено в ближайшее время (Григорьев, 1959а). Запросы народного хозяйства республики требуют широкого комплексного изучения и малых озер. Уникальный озерный фонд Карельского региона, включающий большое количество водоемов различных типов и представляющий естественный музей, всегда привлекал внимание ученых многих специальностей.

К настоящему времени из всего множества озер Карелии и периферии соседних областей, входящих в регион, часть уже изучалась (главным образом, крупные) начиная с XVIII в. рядом исследователей, а в советское время некоторыми научными, проектными и ведомственными организациями Карелии и Ленинграда. Это изучение проводилось с разными целями и полнотой освещения. В фондах и изданиях Карельского филиала АН СССР имеется значительный рекогносцировочный, гидрографический (Григорьев и Грицевская, 1959; Лазаревская и Попенко, 1959) и режимный материал. Напечатан также ряд монографий по

¹ Торфяной фонд РСФСР, Карельская АССР, М., Изд. Гл. упр. торф. фонда при Совете Министров РСФСР и Института биологии Карельского филиала АН СССР, 1957.

отдельным крупным озерам (Советов, 1917; Молчанов, 1945, 1946), работ, касающихся численности озер или некоторых сторон их режима и вопросов типологии. Однако до настоящего времени нет ни одной работы, в которой с озероведческих позиций рассматривались бы общие закономерности режима озер Карелии во всей диалектической сложности, взаимосвязи и взаимообусловленности происходящих в них явлений и которая давала бы полное представление об их характерных типах, заключающих в себе ряд признаков. Безусловно, эта задача нелегкая и требует большего материала по изучению режима озер, чем имеется в настоящее время, а также совместных усилий специалистов многих отраслей озероведения. Одной из причин отсутствия такой обобщающей работы по озерам является недостаточная изученность вопросов генезиса озерных котловин, неясность связей формы озерной чаши с динамикой гидроморфологических процессов, определяющих во многом эволюцию водоемов.

Для успешного решения сложной, но необходимой задачи создания теории гидроморфологических процессов в озерных котловинах следует использовать принципиальные соображения Н. Е. Кондратьева и др. (1959), высказанные относительно речного руслового процесса, во многом определяющего озерный гидроморфологический процесс, сходный по конечным результатам.

Настоящая работа является попыткой обобщения однородного материала по геоморфологии и гидроморфологии ряда озер Карелии, на которых автор участвовал в экспедиционных работах в составе отдела гидрологии Карельского филиала Академии наук СССР, производил гидрографические промеры озерных чаш. Автор использовал материал, собранный им в различных частях северной, западной и южной Карелии в период с 1950 по 1960 г., а также материал других организаций, длительное время изучавших карельские озера: Олонецкой научной экспедиции (ГГИ) под руководством проф. Г. Ю. Верещагина, Бородинской биологической станции (проф. Б. В. Перфильев), Карельского отделения ГосНИОРХ¹, Ладожской и Онежской экспедиций Государственного гидрологического института (проф. С. А. Советов, и проф. И. В. Молчанов), Петрозаводского университета и др. На основании данной работы можно сделать вывод о признаках генетических типов озер региона, что важно для развертывания дальнейшего изучения геоморфологии озер Карелии. Геоморфологические исследования озер представляют большую ценность при составлении «Кадастра озер Карелии», который создается медленно (успешнее в гидробиологической части) и с большими трудностями различного характера. Правда, и работы по «Водному кадастру СССР» ведутся с большим отставанием (Близняк, 1957) из-за недопонимания значения этих работ в народном хозяйстве страны, и этим несколько тормозится развитие советского озероведения.

Постановка проблемы, основные определения и термины

Генезис озерной котловины и ее морфология тесным образом связаны с формированием и развитием рельефа и ландшафта озерного района. Поэтому морфологические исследования озер должны быть увязаны с общими геоморфологическими исследованиями данной территории (Семенович, 1950). К сожалению, такая увязка бывает не всегда; озероведы уделяют основное внимание подводному рельефу озерной чаши, а при общих геоморфологических исследованиях часто ограничиваются рассмотрением надводной части озерных котловин. В этих случаях

¹ «Озера Карелии». (Справочник). Петрозаводск, 1959.

зеркальная поверхность озер как бы нарушает морфологическую корреляцию единого процесса, «отражая» односторонне.

В условиях ландшафта Карелии (со сложными котловинами озер) особое значение приобретают морфологические исследования, так как от формы чаши во многом зависят все процессы, происходящие в озере (Верещагин, 1930). На этом основании С. А. Советов (1935) предложил называть раздел общей лимнологии (озероведения), изучающий формы подводного рельефа озерных котловин и его динамику (гидроморфологию) геоморфологией озер. Это предложение и тогда не было новым. Расчлененный рельеф озерных котловин Карелии достаточно хорошо был известен многим лимнологам. Сложность рельефа озерных чаш вынуждала глубоко изучать морфологию озер на более широкой основе. Обобщение материала по озерам, лежащим в различных физико-географических зонах мира, потребовало большего внимания к вопросу происхождения озер (Анучин, 1896) и классификации их по этому признаку. Поэтому особое значение приобрела работа М. А. Первухина (1937). В последующие годы вопросы геоморфологии озер почти не поднимались. Только после Великой Отечественной войны литература по этому вопросу пополнилась работами С. Д. Муравейского (1948), П. В. Иванова (1949), Н. И. Семеновича (1950, 1958), Б. Б. Богословского и С. Д. Муравейского (1955), но в них предложение Советова не нашло должного отражения, вероятно, потому, что оно не вызывает возражений. В известной автору иностранной общей лимнологической и географической литературе термин «геоморфология озер» не применялся.

Геоморфология озерных котловин изучается прежде всего и является основой всех дальнейших комплексных исследований озер. От полноты геоморфологических исследований зависит правильность представления о типе озера. Иногда тип озера смешивают со стадией в его развитии, что происходит в результате недооценки вопроса о генезисе озера (Молчанов, 1946; Баранов, 1958).

Для дальнейшего развития озероведения выделение комплексного раздела «геоморфологии озер», который будет базироваться на аэрофотосъемках, съемках ультразвуковыми эхолотами-самописцами, подводном фотографировании и водолазных исследованиях, увязанных с комплексными геоморфологическими исследованиями склонов озерной котловины и ландшафта окружающей местности (бассейна), теперь является вполне назревшим (Литинский, 1958; 1959а).

Геоморфология озер должна изучать происхождение озерных котловин¹, их рельеф и динамику озерных процессов и рельефа (гидроморфологию); рассматривать законы формирования озерного побережья как зоны взаимодействия озерных вод и котловины, охватывающей собственно берег, прибрежье (зону действия прибойного потока) и прилегающую к берегу часть озерной чаши — подводный береговой склон (зону действия волн и вдольбереговых течений). В ряде случаев должны быть даны необходимые сведения по гидроморфологии побережья, где имеются формы рельефа, созданные динамическим воздействием вод древних водоемов, имевших более высокий или низкий уровень, а в настоящее время по ряду причин находящихся под воздействием денудационных процессов или погруженных под урез воды озера.

Геоморфология озер также должна рассматривать основные факторы, формирующие рельеф ложа озер (тектоника, седиментация) и стадии их развития, описывать крупные и малые формы рельефа озерной

¹ Генетические типы озерных котловин Карельского региона рассмотрены в работах автора (1956, 1959б).

чаши, их динамику, выяснять происхождение и структуру этих форм. К этому разделу должно быть отнесено рассмотрение озерных отложений, условий седиментации, палеолимнологии (Семенович, 1958), а также вопросов изучения геохронологии (Перфильев, 1952) и палеогеографии водоемов.

Нужно ликвидировать «белые пятна» озер на геологических, геоморфологических картах и картах четвертичных отложений Карелии, где они занимают почти пятую часть. Особое внимание следует уделить изучению озерных чаш — криптодепрессий. Нужно заранее готовить будущих специалистов по геоморфологии и геологии озер и усилить гидрогеологические исследования.

Как указывает М. А. Великанов в предисловии к книге Р. Хортона (1948), гидрология как наука географического и геофизического циклов, трактующая о современных процессах в естественных водоемах, выросшая на базе количественного учета и функционального анализа, всегда направляла свое внимание не только на морфологию, но и динамику этих форм, вызванных воздействием вод.

Подход к рассмотрению всех явлений, диалектически связанных между собой, должен производиться на генетической основе, вполне оправдавшей себя при геоморфологических работах на морях (Зенкович, 1950, 1956; Леонтьев, 1955).

Поскольку для разрешения вопросов, перечисленных здесь крайне схематично, необходимо привлечение ряда наук географического, геофизического и биологического циклов: геологии и гидрогеологии, общей геоморфологии суши и моря, гидрологии моря и суши, озероведения и болотоведения; гидродинамики и гидрофизики, биогеографии и гидробиологии; метеорологии и климатологии, геодезии и картографии и др., то методы изучения первоначально должны быть заимствованы из этих наук, а в дальнейшем потребует новая комплексная методика.

Вопросы геоморфологии озер не получили еще должного освещения, поэтому ограничимся постановкой проблемы и некоторыми предложениями, основанными на анализе имеющегося материала.

В морфологии и морфометрии озер еще не выработалось точных определений ряда основных понятий и терминов, применяемых в научной литературе, они страдают иногда расплывчатостью и некоторой неоднородностью, так как во многом заимствованы из сопредельных наук. Поэтому вопрос терминологии является очень важным и требует специальной разработки и широкого обсуждения. Термины и определения, употребляемые в озероведении (общей лимнологии), незначительно представлены даже в «Сборнике определений основных гидрологических терминов и понятий» (1957), подготовленном Государственным гидрологическим институтом. Основные определения и термины, принятые нами в этой работе, поясним здесь, некоторые будут рассмотрены в соответствующих разделах при описании сущности явления.

Отметим понятия, исторически сложившиеся и определяющие различные виды водоемов. Как любезно сообщил нам сотрудник Ленинградского отделения Института языкознания АН СССР А. И. Федоров, слово «озеро» (диалектное «возеро» с начальным «в», возникшим в результате огубления «о», и «езеро») широко известно во всех славянских языках: украинское — озеро, древнерусское — озеро, озоро, старославянское — озеро, словенское и чешское — jezero, польское — jezioro. Оно встречается и в других индоевропейских языках (латышский — ezers). Основное значение этого слова во всех славянских языках и некоторых индоевропейских (литовский, прусский) — замкнутый в берегах большой естественный водоем. На основании этимологии можно полагать, что

слово озеро¹ имело значение: глубокий естественный водоем, замкнутый в берегах.

Слово «пруд» первоначально употреблялось по отношению к водоему, который создавался при перепруживании реки (чешское *pród* — порог, отмель; в старославянском языке это слово означало песок). Современное значение: небольшой искусственный водоем в выкопанном углублении; запруженное место в реке.

Слово «лужа» этимологи связывают со словом «луг». Эта связь подтверждается значением слова *liugas* (болото) в литовском языке. Можно полагать, что слово «лужа» в славянских языках всегда означало небольшой естественный водоем, возникший после дождя или при движении подпочвенных вод (верховодки. — Ю. Л.).

Слово «ламба» заимствовано в северные говоры русского языка из финского языка (*lampi* — лесное озеро; первичное или вторичное озеро на болоте. — Ю. Л.) и воспринимается как особое озеро, вид озера. Только этим, по нашему мнению, можно объяснить причину заимствования этого слова в говоры русского языка из финского.

Из этого перечня водоемов (естественных и искусственных), обозначаемых разными понятиями, можно полагать, что его основное значение зависит от происхождения или стадии развития и назначения водоема. Термин «озеро» может быть принят как обобщающий независимо от размеров площадей водоемов (Иванов, 1949). Исключение, может быть, составляет лог с затрудненным оттоком (лужа), так как его существование непродолжительно из-за условий питания верховодкой — кратковременный водоем (озеро-эфемер, по аналогии с кратковременным водотоком). Реки аридного климата в летнюю межень разобщаются на плесы, которые представляют собой временные озера.

Речные плесы врезаны всегда глубже быстотоков и поэтому обеспечивают основное подземное питание реки, дренируя более глубокие водоносные горизонты, что сближает их с озерами. Если площадь собственно озер на земле невелика, то с учетом речных плесов их совместная роль в планетарном масштабе водообмена значительна. Фактически глубину эрозийного вреза озерно-речной системы определяют отметки дна речных плесов и проточных (иногда тех же водноэрозийных) озер. Можно полагать, что озерное регулирование рек в значительной степени сводится к гарантированной отдаче подземного стока. Поэтому глубокие озера, несмотря на малый объем призмы естественного регулирования (при малом удельном водосборе) дают равномерный сток в реки. Степень дренирования подземных вод естественными водоприемниками определяется не линейным протяжением их наземной водной сети, как считает, например, Т. Н. Попова (1958), а глубиной вреза по отношению к поверхности бассейна и уровню моря. Структурные (врезанные в коренной рельеф) формы озерных чаш часто имеют обильное подземное питание (рис. 2), а скульптурные (надстроенные) котловины — несколько меньшее (особенно долинные водохранилища). Тем более велика роль подземного питания в больших озерах — криптодепрессиях, которые дренируют обширные бассейны. Если реки являются продуктом климата и их водный режим подчиняется закону климатической зональности, то

¹ У многих северных народов бытует глубокий по смыслу и поэтический по форме афоризм: «Озера — глаза земли». Вероятно, этимологически все же существует связь между современными словами озеро и глаз (у Даля и в других словарях нет. — Ю. Л.); корень -зор-, зер- указывает на связь со словами- «обзор» (улучшение обзора местности на озере по сравнению с рекой или лесом, по которым передвигался человек) и, безусловно, зеркало — отражение в спокойной озерной воде, которое более четко, чем в движущейся речной и ключевой. — Ю. Л.

озера являются прежде всего производными геологического и гидрогеологического строения территории и рельефа. Поэтому их гидрологический режим вообще и водный в частности более стабилен (Литинская, 1959). Расположение относительно постоянных уровней озер на нескольких высотных ярусах в разных частях Карелии (Григорьев, 1948) частично объясняется установившейся гидравлической зависимостью между поверхностными и подземными водами сферы дренирования. Озерные чаши являются местными дренирующими уровнями.

Эти вопросы мало изучены, но анализ общего фона показывает огромное значение озер в водообмене поверхностных и подземных вод сферы дренирования. Особые положения озера регулирования почти не учтены в учении о стоке и в известной автору общей гидрологической литературе.

В связи с широким развитием на реках строительства различных прудов, «комсомольских озер» — мест водного спорта и отдыха (часто представляющих собой «копани», выработки рудников или естественные понижения рельефа, ранее безводные) нет необходимости сохранять различные названия этих водоемов. Все они являются молодыми антропогенными (иногда зоогенными) озерами, находящимися в процессе своего формирования. Только небольшие пруды (водоемы), имеющие сплошную облицовку берегов и дна или искусственно кольматированные, не могут считаться озерами по признаку подземного стока, и их лучше называть открытыми бассейнами.

Следовательно, важным признаком озера является склоновый (или внутрипочвенный¹), почвенно-грунтовой и, особенно, подземный (подводный — субаквальный) сток в него и возможность оттока при соответствующих условиях. Не менее важным условием является также отсутствие взаимной открытой связи с морем. Связь озер с морем, вообще говоря, существует, хотя бы подземным путем, но море с озером взаимно и одновременно водами не обмениваются. Пресные озера с котловинами — криптодепрессиями, даже при водопроницаемых грунтах и близости к морю, не засоляются, если происходят подток пресных вод. Исходя из этих соображений, к принятому в гидрологии определению озера следует дать дополнения. Озером называется естественный или искусственный, врезанный в водоносный горизонт водоем замедленного водообмена, не имеющий взаимной открытой связи с морем. В это определение не введено ограничение площади, это связано с макро-, мезо- и микроформами ландшафта, которые недостаточно четко разграничиваются в земледелии (Калесник, 1955). Связь площадей озер мира с их глубинами рассмотрена Ивановым (1949) и как важное следствие выявлено условное геометрическое подобие озерных чаш различных размеров и ложа морей и океанов.

Понятию «озеро» в собственном смысле соответствует развивающийся водоем, находящийся в стадиях юности (если не учитывать почти не выраженную на этой стадии биогидрологическую сторону водоема), зрелости и, частично, старости (в зависимости от размеров и горизонтальной расчлененности). В карельских условиях стадиям старости и дряхлости (Липин, 1950) водоема (первичные озера на болотах) иногда отвечает понятие «ламба» (лампи) при площади не свыше 1 км^2 (Молчанов, 1946; Харкевич²). Ламба может быть и вторичным озером на торфяном массиве. По Ф. А. Форелю (1912) стадии дряхлости

¹ В условиях значительного увлажнения, что характерно для Карельского региона.

² Работа в данном выпуске.

водоема соответствует понятие «пруд»; ограничения площади здесь может не быть, но, по мнению автора, этот термин не удачен (возможно, здесь вина переводчика). Но независимо от названия стадии это еще озеро.

Стадии умирания озера соответствует понятие «болото», гидрологическое определение которого как стадии озера сформулировано К. Е. Ивановым (1953).

Следует отметить, что материалистическая философия естествознания во многих областях разработана еще недостаточно и особенно это заметно в озероведении. Вопрос о стадиях развития озера, в частности, должен тщательно прорабатываться. Необходима и дальнейшая теоретическая разработка основных вопросов озероведения.

Вертикальным расчленением отдельных частей озерной котловины занимались многие ученые-озероведы. Впервые профиль эрозийного абразионно-аккумулятивного.— Ю. Л.) берега был изучен Форелем (1912) и без существенных изменений использован в позднейших работах А. П. Россолимо (1935), Великанова (1948), Е. В. Близняка (1952), И. А. Ильина (1953), Л. Л. Россолимо (1953), Богословского и Муравейского (1955). В известной нам отечественной и иностранной общей лимнологической и географической литературе не было попыток определить границы озерной котловины. А. С. Барков (1948) дает определение котловины как формы рельефа вообще, но границы ее «расплывчатые», как указывает сам автор. Нам представляется, что под озерной котловиной, как частью более обширной котловины или равнины, которые входят в состав озерно-речного бассейна, следует понимать полную отрицательную форму на земной поверхности, аналогичную по смыслу речной долине от бровок до дна, вертикальное расчленение которой является общепринятым. Тогда озерная чаша —местилище воды— будет соответствовать речному руслу. Если считать, что озерная котловина — это часть собственного водосбора озера (исключая водосборы, долины и русла постоянных водотоков), с которой происходит непосредственный склоновый и почвенно-грунтовый сток в него в настоящее время, то определить ее границу достаточно легко. Происхождение озерной котловины может быть вызвано различными факторами. Даже в случае, когда котловина выработана текучей водой потока более мощного, чем современный (водноэрозийные котловины), при становлении озера она будет моделирована склоновым стоком, водораздел которого четко выражен. Речные долины (в том числе и приспособленные — тектонические) оформлены преимущественно эрозийной деятельностью водотоков и в условиях Карельского региона генетически отличаются от озерных котловин тем, что возникли позже и разрушают их в процессе своего развития. Участки речных долин притоков в устьях, находящиеся в пределах динамического воздействия вод озера, или затопленные, будут входить в озерную котловину. Озерной котловиной назовем врезанное или надстроенное углубление на поверхности суши с затрудненным поверхностным и подземным оттоком, в нижней части которого расположено озеро, а по верхней происходит непосредственный склоновый и почвенно-грунтовый сток в него (рис. 1; Литинский, 1958 а, б). В то же время озерные котловины являются закономерными элементами эрозийных долин главных водотоков озерно-речных бассейнов.

В ряде лимнологических и географических работ озера по происхождению их чаши делятся на две большие группы — плотинные и котловинные. При том определении, которое дано для котловины озера выше,



Рис. 1. Схематическая гидроморфологическая карта озерной котловины (Шотозеро). 1—гребень котловины; 2—береговая зона различных типов (обозначения см. табл. 2); 3, 4—горизонтали; 5—надводные и подводные камни; 6—отметка максимальной глубины озерной чаши; 7—отметка среднего многолетнего уровня воды; 8—направление стоковых течений в озере; 9—водоворотные зоны.

Примечание. Горизонтали на склонах котловины проведены через 10 м, в чаше озера — через 2 м.

и плотинные и котловинные озера будут иметь котловину, выраженную в той или иной степени. Для устранения некоторой тавтологии предлагаем называть эти группы надстроенными (плотинные, запрудные) — скульптурные формы рельефа (Шукин, 1946) и врезанными (котловинные) — структурные формы земной поверхности. В работе Н. М. Страхова и др. (1954) предлагается делить озера по относительной глубине условно на плоские и котловинные, имея в виду, что форма чаши озера имеет определяющее значение (при прочих равных условиях) в отложении и переформировании озерных осадков. По нашему мнению, понятие «плоские» соответствует графическому изображению в принятом масштабе, а «котловинные» — скорее объемное и более широкое понятие, поэтому, учитывая условное геометрическое подобие чаш водоемов, лучше воспользоваться предложением Иванова (1949) о связи площадей водоемов с их глубиной и соответственно делить на мелкие и глубокие по показателю их относительной глубины (Литинский, 1959 а).

Представляется следующая схема типичного горизонтального и вертикального расчленения озерной котловины тектонико-ледникового (смешанного) происхождения, характерной для Карелии (рис. 1 и 2; Литинский, 1958 а, б). Водораздел склонового и почвенно-грунтового стока

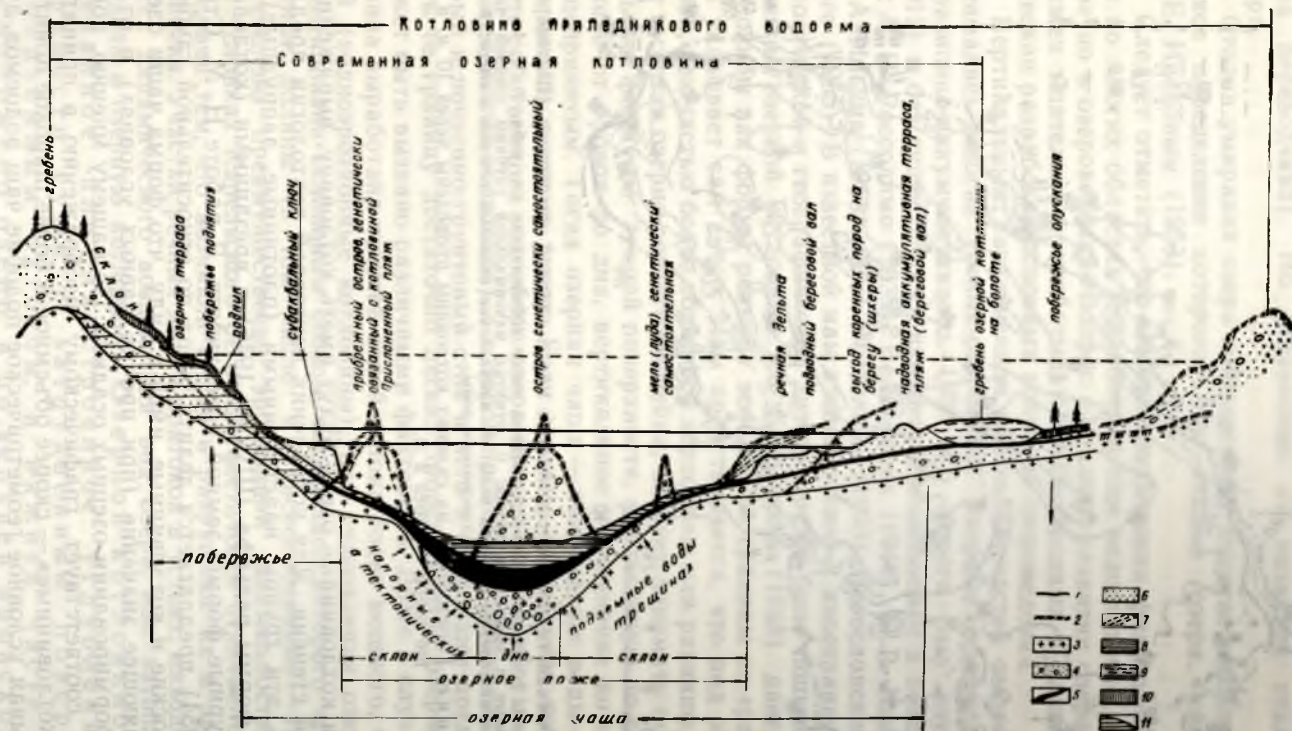


Рис. 2. Схема типичного вертикального расчленения озерной котловины тектонико-ледникового (гетерогенного) происхождения.

1— контур первого плана; 2— контур второго плана; 3— кристаллические породы; 4— морена; 5— ленточные глины; 6— озерные пески; 7— речные наносы; 8— илы; 9— торфяно-болотные отложения; 10— почва; 11— грунтовые воды.

проходит по гребню котловины¹. Склоны озерной котловины, различные по форме профиля, уклону и составу пород, располагаются от гребня котловины до границ озерной чаши. Озерная чаша — нижняя часть озерной котловины (вместилище воды), измененная воздействием вод озера, наносами его притоков и собственными отложениями, располагается ниже бровки абразионного и абразионно-аккумулятивного или верхнего края надводной террасы аккумулятивного берегов.

Поскольку положение линии раздела водной массы озера с его котловиной не остается неизменным, а перемещается как по вертикали, так и в плане, то она будет представлять собой на карте (плане) полосу большей или меньшей ширины. Линию пересечения спокойной водной поверхности озера с суши при среднем многолетнем уровне назовем береговой линией.

Ввиду качественных и количественных различий в процессах, протекающих в поверхностной зоне (активный слой: атмосфера — гидросфера; Григорьев, 1952) и глубинной зоне озер — более стабильной, формы рельефа чаши озера в этих частях имеют значительное различие (Россолимо, 1935). Нужно отметить, что пересеченный рельеф дна глубоких озер при незначительном твердом стоке, характерном для Карелии, сохраняется, вообще говоря, лучше, чем на дневной поверхности, так как в его разрушении и переформировании участвует меньше агентов: ложе озера можно рассматривать как своеобразный «останец» в отрицательной форме рельефа (Литинский, 1956). Подводный береговой склон (рис. 3) и прилегающая к берегу озера прибрежная (прибойная) полоса — побережье находятся во взаимодействии и формируются по особым гидроморфологическим законам с преобладанием волнового воздействия, прибойного потока, вдольбереговых и прибрежных течений. Эти части озерной чаши могут быть названы прибрежной зоной озера. Побережье и собственно берег (как его часть) озера являются скорее бытовыми понятиями и не всегда точно определяются (Богословский и Муравейский, 1955). Берегом озера можно назвать часть озерной котловины от верхней границы заплеска прибоя (при нагонах), включая бровку обрыва абразионного или верхний край надводной террасы аккумулятивного берегов, до наинизшего уровня озера. Участок озерной котловины, который позднее было принято называть побережьем, С. А. Зернов (1934) и Великанов (1948) называют прибрежьем; по нашему мнению, этот термин более логичен. Побережьем озера целесообразнее называть часть озерной котловины от высшего исторического уровня воды до сопряжения подводного берегового склона с ложем озера. Это определение объединит исторически сложившееся бытовое представление о территории, примыкающей к озеру со стороны суши и, по физическому смыслу, как зоне взаимодействия суши и вод озера при современном и исторически высоком (или низком) уровне существующего водоема.

Прибрежье можно разделить на три части: смачиваемое (временно затопляемое при денивеляциях уровня воды и заплесках прибоя), затопляемое (при высоком стоянии уровня вод) и подводное.

Подводный береговой склон — зона действия волн и течений — включает участки: размываемый, намываемый (аккумуляция наносов вдоль берегового потока и продуктов абразии) и отсыпь (рис. 3).

¹ Водоразделы подземного и поверхностного стока в озеро редко совпадают и первый может быть установлен только специальными гидрологическими исследованиями, которые в Карелии, к сожалению, производятся крайне редко.

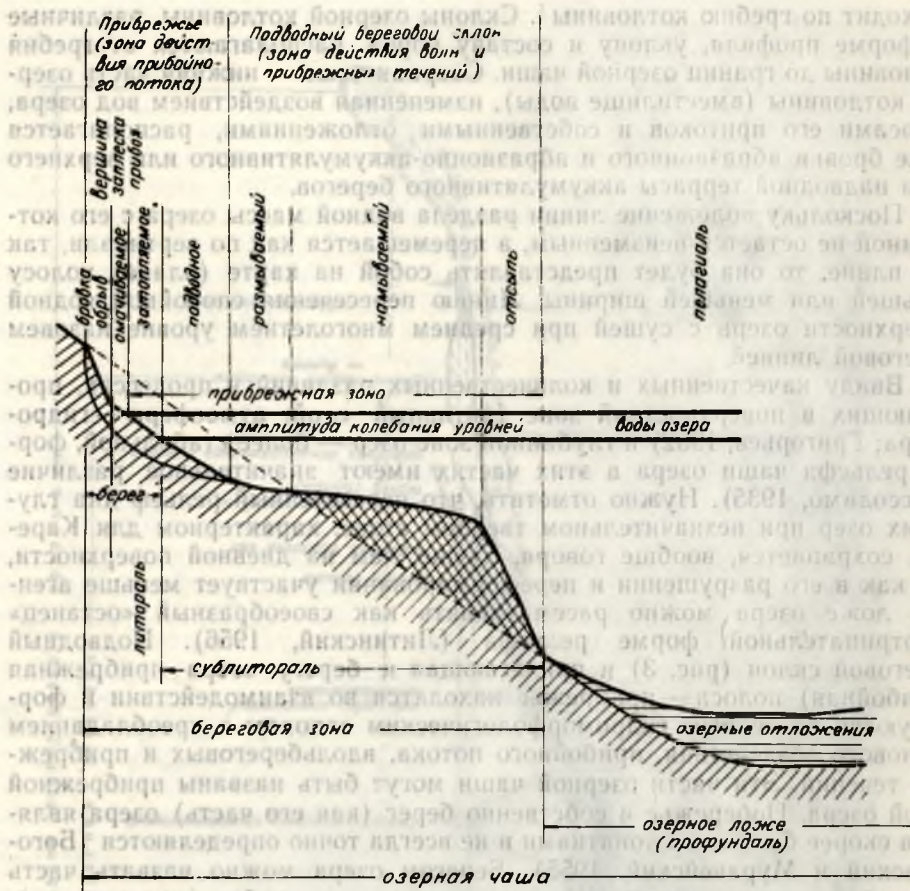


Рис. 3. Схема расчленения абразионно-аккумулятивной озерной береговой зоны.

Ложем озера нужно считать часть озерной чаши, которая лежит ниже отсыпи подводного берегового склона и находится вне непосредственного воздействия волн. С понятием «ложе» вообще связано представление об определенной статичности. Формирование озерных отложений в этой глубоководной зоне происходит с преобладанием гравитационной составляющей. Ложе озера в свою очередь может быть разделено на склоны и дно (рис. 2).

Описанное вертикальное расчленение озерной котловины наблюдается не всегда, отдельные участки выпадут в определенных условиях генезиса котловины, а также в зависимости от стадии развития озера, геологии района в широком смысле и комплекса физико-географических условий ландшафтной зоны.

Расчленение чаши озера по зонам бентали зависит от генезиса и геологии котловины, климата района и динамических процессов, происходящих в озере. Поэтому отдельные типы озер отличаются своеобразием подобного расчленения, что вносит некоторую хаотичность в озерную терминологию, как указывает Зернов (1934). Смещение понятия типа озера и стадии в его развитии, как уже указывалось, способствует этому. Не являясь специалистом в области гидробиологии, позволю высказать соображения по расчленению зон бентали, которое полностью

зависит от расчленения озерной котловины данного региона. Отсутствие отдельного элемента вертикального расчленения озерной чаши неизбежно приведет к отсутствию определенной зоны бентали, коль скоро не появится новый вид гидробионта, приспособившийся к особым условиям. Необходимо дать общее, типичное расчленение зон бентали в наиболее сложном случае и определить четкие границы зон по ряду признаков. Существенным фактором будет динамическое воздействие вод, которое определяет водообмен в озере и видовой состав гидробионтов. Ввиду высокой приспособляемости организмов к несколько измененным условиям среды границы зон динамического воздействия и бентали не совпадают. На молодых озерах большой площади и с глубокими чашами наиболее четко будут выражены все элементы бентали (рис. 3). При движении наблюдателя в глубь озера на побережье следует выделить супралиторальную (заплеск прибоя) зону — от вершины заплеска прибойной потока до наивысшего уровня воды озера при весеннем подъеме. Литоральная зона на морях принята в пределах уровней прилива-отлива. Может быть, в безливных водоемах литоралью целесообразно называть зону побережья от наивысшего весеннего горизонта до наинизшего меженного уровня, когда эта осушенная зона станет уже супралиторалью. Из-за относительной длительности стояния высокого уровня и незначительного прибоя на малых озерах в общем случае расчленения на зоны, возможно, нет смысла выделять супралиторальную зону на озерах, а включить этот участок в зону литорали. Ввиду того, что в Карелии зона сублиторали на глубоких озерах невелика и включает только отсыпь, а на мелких иногда отсутствует, сублиторалью можно назвать зону побережья и подводного берегового склона, все время находящуюся под водой. Ее границами будут наинизший уровень воды озера и сопряжение отсыпи со склоном ложа. При зонном зарастании озера макрофитами сублитораль (в указанных границах) может быть разделена на подзоны полуводных, плавающих, погруженных растений и переходную зону (к профундали). Границы профундали не вызывают разногласий, и на рис. 2 она занимает склоны и дно ложа. Разделение толщи воды над частями озерной чаши (бентали) также общепринято: над побережьем и подводным береговым склоном расположена прибрежная пелагиаль, над ложем озера — собственно пелагиаль. Последние определения даны для увязки с несколько измененными границами элементов озерной чаши.

Автор выражает надежду, что основные определения и термины, предложенные в результате длительного обдумывания и практической проверки на ряде озер Карельского региона, будут внимательно и беспристрастно обсуждены.

Горизонтальная расчлененность озерных котловин и типы озер по форме очертаний акватории

Большинство озерных котловин Карелии в плане имеют значительную горизонтальную расчлененность¹. Следует различать первичную расчлененность акватории, которая возникла в результате затопления водами озера пересеченного рельефа суши, и вторичную — результат воздействия вод озера на береговую зону.

Первичная расчлененность характеризуется большим числом обособленных участков озера — заливов и бухт. При этом очертание береговой линии более плавное, так как процессы денудации нивелируют

¹ В отличие от расчленения рельефа озерных котловин по вертикали.

первичный рельеф склонов будущей озерной котловины еще до заполнения ее водами. Такая расчлененность характерна для «молодых» озер, водоемов, находящихся в стадиях юности и зрелости.

Вторичная расчлененность как результат абразийно-аккумулятивного и гидроморфологического процессов чаще выражена отдельными изгибами побережья, но береговая линия может быть значительно изрезана за счет меандрирования вдольберегового потока, склонового стока (смыва), появления береговых аккумулятивных образований в виде речных дельт, кос и причленения к берегу растущих при денивеляциях уровня воды донных аккумулятивных форм. В результате зонного или сплавинного типов зарастания макрофитами побережья озер конфигурация береговой линии упрощается. Вторичная расчлененность характерна для озер, находящихся в стадиях старости и дряхлости.

Расчлененность озер является понятием, определяющим очертания мезорельефа склонов озерной котловины, а развитие береговой линии (формирование изрезанности) отражает формы микрорельефа берега, в основном меняющиеся в результате изменения уровня вод озер и абразийно-аккумулятивного процесса.

Ввиду значительной горизонтальной расчлененности озер Карелии отдельные части озера (центральный плес, заливы, бухты) могут иметь различие по гидроморфологическим, физико-химическим и биогидрологическим признакам. Реки, впадающие в обособленный участок озера, определяют его гидрологический режим. При малых глубинах происходит значительное прогревание вод, а защищенность от волн способствует развитию высшей водной растительности, создающей особый тип берегов. В рыбохозяйственном отношении заливы являются местами нерестилищ некоторых рыб. Поэтому для расчлененных озер Карелии необходимо выделить морфологически обособленные участки озера (Верешагин, 1930; Литинский, 1959 а).

В Карелии морфологически обособленные участки озер носят местные названия с добавлением слова «губа» или «лахта» (варианты: лахти, лакши и др.). Термин «губа» исторически закреплен за обособленными участками сравнительно большой площади и открытыми в сторону центрального плеса. С гидрологических позиций губа может быть названа заливом озера. Термин «лахта», как правило, употребляется для заливов, закрытых от динамического воздействия волн открытого озера и по смыслу близок к бухте (в морской терминологии). Для закрытых обособленных участков небольшой площади термин «бухта озера» будет приемлем.

При создании больших долинных водохранилищ со значительным подпором в других районах СССР образуются заливы, занимающие долины рек-притоков. На Рыбинском водохранилище, например, их называют «отрогами». Этот термин закреплен за положительными формами рельефа и в научной литературе не может применяться к отрицательным формам. Может быть, лучше их называть «лиманами», так как по генезису (искусственная трансгрессия вод) они сходны с морскими лиманами. Но правильнее называть их заливами, так как само водохранилище именуется морем.

Горизонтальная расчлененность долинных водохранилищ в различных районах СССР близка к расчлененности лопастных карельских озер.

Особенностью горизонтальной расчлененности котловин карельских озер являются также многочисленные острова, которые при относительно большой площади озер занимают довольно значительную их часть. Так, на Ковдозере они занимают 19, Энгозере — 12, Тикшезере — 10, Кереть-

озере — 11,5% (табл. 5). Значительна и островистость озерных водохранилищ, но острова приурочены к побережью в зоне затопления.

Больших открытых водных пространств на внутренних озерах сравнительно мало. Это является частично причиной того, что переход ко вторичной расчлененности идет довольно медленно, ибо воздействие волн на берега незначительно. Велика длина береговой линии островов (до 110% от длины внешнего контура озера — Ковдозеро). Условный показатель воздействия волн на берега (Близняк, 1952) — отношение акватории к суммарной длине береговой линии озера (и его островов. — Ю. Л.) — всегда бывает значительно меньше единицы.

Озеро делится островами и полуостровами на ряд плесов, отличных по физико-биогеохимическим особенностям от других частей озера. В проливах между островами и коренными (котловинными) берегами под воздействием ветра возникают временные течения как дрейфовые, так и гравитационные, создавая таким образом в условиях значительно расчлененных озерных котловин своеобразный режим ветров и движения водных масс.

В районах впадения в озеро рек на горизонтальной расчлененности сказываются эрозионно-аккумулятивные русловые процессы. Морфологическим выражением этих процессов являются наблюдающиеся в карельских озерах речные дельты выполнения и осередки, сложенные аллювием (Машканцева, 1959). По обе стороны этих дельт образуются большие мелководные заливы, которые благодаря хорошему прогреванию и ослабленным здесь динамическим процессам сравнительно быстро зарастают макрофитами (формируется фитогенный берег), уменьшая тем самым площадь озера и изменяя его форму. Примером таких озер может служить оз. Ройкнаволоксское с дельтой Суны и Шотозеро с дельтой Шуи (рис. 1).

Таким образом, к основным факторам, определяющим горизонтальную расчлененность озер Карелии, следует отнести: 1) тектонические процессы; 2) действие ледника; 3) динамические процессы водных масс озера — прибой и вдольбереговой поток, дрейфовые и гравитационные



Рис. 4. Оз. Кукаозеро (бассейн водной системы Ковды) — вытянутая тектоническая котловина. Северная Карелия.

Фото Н. Демидова

течения, денивеляции, напор (и припай) льда; 4) общие процессы денудации и воздействие потоков поверхностных и подземных вод; 5) органические, фитогенные процессы и 6) деятельность человека.

В результате действия всех перечисленных факторов озера Карелии приобрели те очертания, которые они имеют в настоящее время. Однако довольно значительное многообразие форм расчлененности карельских озер позволяет полагать, что их контуры определило своеобразное сочетание или преобладание тех или иных факторов.

Из всего многообразия форм горизонтальной расчлененности озер по очертанию акваторий в плане можно выделить 5 основных типов (Предтеченский, 1935).

I тип — вытянутые озера (в виде щели). Этот тип характеризуется отношением длины озера к его средней ширине (показатель удлиненности озера) не менее 4—5, до 20. Такая форма озер встречается почти по всей территории КАССР, за исключением, может быть, ее восточной части. Этот тип наиболее широко представлен на Заонежском п-ове и в прилегающих к нему районах (Космозеро, Путкозеро, Кончезеро и др.), где озера имеют северо-западное простираие, иногда несколько измененное ледником, и котловины выполнены его отложениями. На севере республики озера этого типа имеют дугообразную форму и широкое простираие. В котловинах таких озер, вероятно, отложения ледника совсем отсутствуют, что характеризует современную (новейшую) тектонику (рис. 4, 6). Происхождение их тектоническое. Глубины у северных озер значительные [например, Панаярви — 128 м; Гальбфасс (Halbfass), 1922]. Возможны и большие глубины, поскольку новейшие тектонические движения, даже в выявленных криптодепрессиях (Ладожское и Онежское озера), не изучены. По этому типу озер недостаточно данных, материал не всегда сопоставим и требует проверки.

II тип — лопастные озера. Они характеризуются ярко выраженными морфологическими обособленными участками, большой расчлененностью, значительным числом островов. Большинство котловин озер тектонико-ледниковые (гетерогенные) по генезису, с глубинами до 50 м



Рис. 5. Оз. Ньюозеро (бассейн озерно-речной системы Кеми) — тектонико-ледниковая лопастная котловина. Западная Карелия.

Фото Н. Лазаревской

(табл. 5). Примером могут служить озера Каменное, Ньюозеро (Лазаревская и Попенко, 1959; рис. 5, 6); Верхнее Куйто (бассейн озерно-речной системы Кеми) и Тикшезеро (Попенко, 1959 — бассейн водной системы Ковды).

III тип — овальные с лопастными отчленениями. Они характеризуются тем же, что и озера второго типа, но меньше расчленены и имеют меньше морфологически обособленных участков лопастного вида, обусловленных формами водно-ледниковой и ледниковой аккумуляции (табл. 5, рис. 6). К этому типу относятся озера Онежское (звено водной системы Невы), Сязозеро (бассейн озерно-речной системы Шуи — Онежской; Литинский, 1959 а), Нижнее Куйто (бассейн озерно-речной системы Кеми) и Суозеро (бассейн озерно-речной системы Суны). Такие озера находятся в стадии зрелости.

IV тип — овальные. Этот тип свойствен внутренним озерам средней величины (50—100 км²), но к нему относится и Ладожское озеро. Он характеризуется показателем удлиненности озера равным 2—2,5, незначительной расчлененностью без ясно выраженных больших обособленных участков, малым числом островов, приуроченных, как правило, к береговой полосе (генетически связанных с котловиной). Глубины внутренних озер незначительны (10—15 м), рельеф ложа сглаженный — озера находятся в стадии зрелости (табл. 5) или перехода к старости. Озера этого типа занимают теперь наиболее глубокие части древних водоемов, т. е. происхождение их может быть названо условно «реликтовым» или «останцевым», но основное — тектонико-ледниковое. Примером может служить Шотозеро (бассейн озерно-речной системы Шуи — Онежской; Машканцева, 1959) переходное по форме от овального с лопастными отчленениями к овальному (рис. 6).

V тип — круглое озеро. Этот тип чаще встречается среди малых озер площадью до 10 км², гляциогенных или образовавшихся за счет зарастания более крупных ледниково-аккумулятивных озер, расположенных на ныне заболоченных участках между моренными возвышениями (первичные озера). Он характерен также и для вторичных (биогидрогенных) озер. Более крупные озера этого типа приурочены, как правило, к южной части Карелии. Морфометрически такая форма характеризуется почти полным совпадением длины озера и его наибольшей ширины, малым показателем горизонтальной расчлененности (табл. 5, рис. 7). Проточные озера этого типа имеют малую глубину (2,5—5,0 м), ложе у них почти или полностью не выражено, острова отсутствуют. К этому типу относятся озера Миккельское, Вагатозеро (переходное от овального к круглому, рис. 6, 11) в бассейне озерно-речной системы Шуи — Онежской. По происхождению котловины более крупные озера этого типа расчлененности являются ледниково-аккумулятивными и могут быть «реликтами» древних водоемов и иногда находятся в стадии дряхлости.



Рис. 6. Типы горизонтальной расчлененности акваторий озер Карельского региона.

1, 2 — вытянутые озера, сев., южн. Карелия; 3 — лопастные, зап., вост. Карелия; 4, 5 — овальные озера, южн. Карелия; 6 — круглые озера, южн. Карелия.



Рис. 7. «Ламба» — первичное озеро на болотном массиве (стадия дряхлости) — ледниково-аккумулятивная котловина.

Фото Г. Лака

Современные склоны их котловины были склонами ложа древних водоемов; высота гребней котловин незначительна, и теперь озера доступны для ветров всех румбов. Это определяет равномерное динамическое воздействие волн и течений на их береговую зону и приводит к выравниванию контура озера (рис. 11), что отрицал Муравейский (1948).

В связи с созданием больших долинных водохранилищ в различных районах СССР с берегами менее стойкими к абразии, чем в Карелии, следует подчеркнуть, что их горизонтальная расчлененность будет довольно быстро изменяться от вытянутой лопастной до овальной. Поэтому детальное изучение формирования горизонтальной расчлененности озер будет иметь и чисто практическое значение.

Генетические типы береговых зон озер Карельского региона

В формировании озерных береговых зон¹ участвует много различных факторов: с одной стороны динамическое воздействие прибоя озерных волн и течений в пределах амплитуды колебаний уровня воды, аккумуляция речных наносов, деятельность растительных организмов и гидробионтов, напор и припай льда, общие процессы денудации и воздействие человека, с другой — сильно сказывается различное геологическое, геоморфологическое и гидрогеологическое строение озерной котловины.

Литература по озерным берегам невелика и в большей части относится к крупным водоемам (Верещагин, 1947; Лепнева, 1950; Леонтьев, 1955, 1957; Ладохин, 1957; Лымарев, 1957). Следует выделить классическую монографию Л. С. Берга по Аральскому морю (1908) и «Инструкцию для исследования озер» (1908), в которых рассматриваются

¹ Под береговой зоной понимается пространственная форма части озерной котловины, включающая собственно берег, побережье и подводный береговой склон (рис. 3). Термин «берег» далее применяется для сокращения, но подразумевается указанный морфологический объект.

общие вопросы формирования озерных берегов. Особую ценность для региона представляют работы крупнейших озероведов профессоров Верещагина (1926, 1930) на карельских озерах, Советова (1917) и Молчанова (1945, 1946) на величайших озерах Европы — Ладожском и Онежском.

Значительно шире литература по частным вопросам формирования берегов водохранилищ, которая издана в послевоенный период. Это работы Ю. С. Кашина (1952), Кондратьева (1953), А. В. Живаго (1954), Б. А. Пышкина (1954), Д. Н. Раша (1958), Л. И. Дубровина и др. (1959). В них рассматривается формирование берегов при затоплении местности, т. е. переход от первичной расчлененности водоема ко вторичной. Процесс формирования берегов водохранилищ идет очень быстро. Это позволяет за короткий период наблюдений рассмотреть различные стадии формирования берегов, которые на озерах почти незаметны, так как идут очень медленно. С другой стороны изучение берегов озер позволяет наметить «палеоаналоги» (Живаго, 1954) водохранилищ среди многочисленных озер и наблюдать «конечную» стадию, к которой может привести развитие береговых процессов на водохранилищах, находящихся в аналогичных условиях, когда выработается относительно устойчивый профиль динамического равновесия береговой зоны и сформируется котловина.

Во многом способствовала изучению берегов крупных озер деятельность секции Океанографической комиссии АН СССР по изучению динамики берегов морей и водохранилищ (Зенкович, 1957).

Берега озер Карелии могут быть охарактеризованы по признакам: 1) литологическому — составом слагающих пород; 2) орографическому — высотой над уровнем воды озера (Молчанов, 1946); 3) генетическому — происхождением и причинами, его обусловившими (Машканцева, 1959).

Высокую устойчивость берегов озер Карелии определяют кристаллические породы, на которых динамическое и физико-химическое воздействие вод и льда сказывается незначительно (рис. 8). Берега, сложенные мореной, из-за насыщенности валунным материалом (рис. 10) создают абразионную террасу, устойчивую к процессам размыва. Тектонические озера северной Карелии имеют малое протяжение аккумулятивных берегов, так как поступление наносов со склонов котловины и с бассейна невелико ввиду незначительного слоя четвертичных отложений (рис. 4).

Высота берегов, особенно склонов озерной котловины, оказывает непосредственное воздействие на ветровой, а следовательно, и волновой режимы озер и вызывает иногда направленное изменение соответствующих берегов. Высота берегов в скрытой форме также характеризует современные тектонические движения на побережьях карельских озер. Применение историко-археологического метода для определения вертикальных движений земной коры (Зенкович, 1948; Николаев, 1949) с использованием материалов археологов, работавших в Карелии (Гурина, 1951) позволяет выявить вертикальные движения озерных берегов. Обращает на себя внимание, как указывает Н. Н. Гурина (1951), значительно большая высота расположения стоянок первобытного человека над современным уровнем озер или рек на севере по сравнению со стоянками первобытного человека того же периода в южной Карелии. Если высота последних не превышает 2,5 м и в очень редких случаях достигает 3—5 м (Сямозеро — бассейн Шуи — Онежской — поднятие юго-восточного берега; Литинский, 1959 а), то высота расположения северных стоянок доходит до 8—10 м, не спускаясь ниже 4 м. Очень часто они лежат на коренном берегу древних заливов и бухт, отстоящих далеко от

современного берега озера и поросших в настоящее время крупными деревьями. Это обстоятельство, возможно, отчасти объясняется более интенсивным поднятием северо-западных берегов озер по сравнению с южными. Следует отметить вообще более интенсивное поднятие берегов озер северной Карелии чем перекося берегов южных озер. Такая же картина прослеживается на Ругозере (бассейн озерно-речной системы Выга) и в особенности на Лексозере (бассейн водной системы Лендерки — Лиэксайки).

Признаки опускания берегов обнаружить труднее, они требуют постановки специальных работ. Опускание берегов отмечено Верещагиным (1926) для оз. Сегозера в бассейне Выга и для Онежского озера в составе водной системы Невы. Автором проведены рекогносцировочные наблюдения на северо-западном побережье Сямозера (1959 а), где отмечаются некоторые признаки опускания берега.

По генетическому признаку в Карелии можно выделить три основных типа озерных береговых зон: абразионные, абразионно-аккумулятивные и аккумулятивные, которые развиваются по тому или иному типу в зависимости от первоначального уклона скатов озерной котловины и литологического состава пород (Молчанов, 1945, 1946. В условиях относительной стабильности уровней карельских озер темп отступления открытых участков берега постепенно замедлялся, а на некоторых прекратился совсем, появился абразионно-аккумулятивный тип берега с почти отмершим береговым обрывом. Процессы абразии на них наблюдаются только при высокой воде в паводок и при нагонах.

Как указывает О. К. Леонтьев (1956б), каждая научная классификация природных явлений должна удовлетворять нескольким основным требованиям: 1) включать в себя все морфологические типы и разновидности данной группы явлений; 2) быть диалектической, т. е. отражать состояние их развития и взаимопереходы в процессе развития; 3) должна быть генетической, т. е. показывать основные факторы, формирующие классифицируемые объекты; 4) должна быть «картографичной», т. е.



Рис. 8. Ровный сбросовый берег (первый класс, первый тип). Оз. Кукасозеро.

Фото Н. Демидова



Рис. 9. Шхерный берег (первый класс, второй тип). Оз. Энгозеро (бассейн речных систем Калги и Воньги).

Фото Л. Попенко

такой, чтобы ее можно было использовать в качестве основы для разработки системы обозначения данного явления на карте.

Озерные берега, как и морские, по степени участия в процессе их формирования волновых и неволновых факторов могут быть разделены на две большие группы (Леонтьев, 1956 б): а) берега нормального (термин В. П. Зенковича.—Ю. Л.) типа развития, формируемые преимущественно волновыми процессами, и б) берега усложненного типа развития, в формировании которых существенное участие принимают другие процессы: твердый сток рек, общие процессы денудации, деятельность организмов (в условиях Карелии это, в основном, высшая водная растительность.—Ю. Л.) и воздействие человека.

Для классификации берегов озер Карелии за основу принята картографическая классификация морских берегов, предложенная Леонтьевым (1956 б). В табл. 1 справа приведены примеры типов озерных берегов (Литинский, 1958 а и б).

Ровные берега первого класса (рис. 8) образовались в результате тектонических разломов и сбросов. Такие высокие берега характерны для озер с первичной расчлененностью, находящихся в стадии юности. Под воздействием волновых процессов эти приглубые берега превращаются в берега второго класса. Участки коренных пород, отпрепарированные ледником («бараньи лбы»), также являются ранней стадией развития берегов первой подгруппы, почти не измененных озером. Шхерные берега первого класса в процессе развития приобретают черты типичных абразионных берегов: на мысах образуются обрывы, вырабатывается подводная абразионная терраса (рис. 9). Появляются значительные изгибы береговой линии, в кутовых частях возникают небольшие прислоненные пляжи, формируемые грубыми наносами, образующимися при абразии ближайших мысов. Интересными образованиями шхерной береговой зоны являются «псевдопересыпи», подробно описанные на побережье Белого моря В. С. Медведевым (1959). Автор такие формы обнаружил на Укшезере в бассейне озерно-речной системы Шуи¹.

¹ Ю. Б. Литинский. Предварительный отчет о геоморфологических исследованиях озер Кончезерской группы в 1959 г. (Рукоп.)

Таблица 1

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОЗЕРНЫХ БЕРЕГОВЫХ ЗОН

(КАРЕЛЬСКИЙ РЕГИОН)

А. Берега нормального типа развития

I. Абразионные

1 класс

Берега, слабо измененные озером

Типы:

- | | |
|-----------------------------------|---------------------|
| 1) ровные (сбросовые, контактные) | Кукасозеро (рис. 4) |
| 2) шхерные | Энгозеро (рис. 9) |

2 класс

Берега, измененные озером, с резким преобладанием абразионных форм

Типы:

- | | |
|----------------------------------|--------------------|
| 3) шхерные с прислоненным пляжем | Янисъярви |
| 4) зубчатые абразионные | Янисъярви |
| 5) выравненные абразионные | Энгозеро (рис. 10) |

II. Абразионно-аккумулятивные

3 класс

Берега, измененные озером, с замыкающими и свободными аккумулятивными формами

Типы:

- | | |
|---|---------------------------------------|
| 6) бухтовые со свободными и замыкающими аккумулятивными формами | Онежское озеро, юго-восточный берег |
| 7) выравненные сложные | Шотозеро, юго-западный берег (рис. 1) |

III. Аккумулятивные

4 класс

Аккумулятивные берега

Типы:

- | | |
|--|--|
| 8) ровные | Вагатозеро, южный берег (рис. 11) |
| 9) бухтовые | оз. Пелдожское |
| 10) выравненные с примкнувшей террасой | Шотозеро, северо-западный берег (рис. 1) |
| 11) выравненные, окаймленные подводным береговым валом или баром | Ладожское озеро, восточный берег |

Б. Берега усложненного типа развития

I. Потомагенные

(формирующиеся при существенном участии речного фактора)

5 класс

Дельтовые берега

Типы:

- | | |
|------------------------------|--|
| 12) берега клювовидных дельт | Шотозеро, южный берег |
| 13) берега лопастных дельт | озера Ройкнаволоксское и Шотозеро, западные берега (рис. 1). |

II. Органогенные

(формирующиеся при участии аккумулятивной деятельности организмов)

6 класс

Фитогенные берега

(формируемые водной растительностью)

Типы:

- 14) берега зонного зарастания озера или их обособленные участки, находящиеся в стадии дряхлости, с отлогим подводным береговым склоном (рис. 12)
- 15) берега сплавинного зарастания (торфяные) то же, с более крутым склоном (рис. 7)

III. Антропогенные

(формирующиеся при участии различной деятельности человека)

7 класс

Берега повышенного вторичного стока (антисанитарные)

Типы:

- 16) берега бытового вторичного стока в прибрежных населенных пунктах без канализации
- 17) берега смешанного вторичного стока в прибрежных промышленных городах (промышленного и бытового)

8 класс

Искусственные берега

Типы:

- 18) берега с преобладанием свайно-ряжевых гидротехнических сооружений в прибрежных крупных населенных пунктах
- 19) волноломы } Ладожское и Онежское
- 20) набережные } озера
- 21) вторичные берега Пальеозеро

9 класс

Берега искусственных озер (водохранилищ)

Типы:

- 22) затопленные и подтопленные Водлозеро, Тулемозеро
залесенные
- 23) приращенные (вторичные) торфяные Выгозеро, южный берег Онежского озера
берега

В том случае, когда вдоль береговой линии залегают породы различной прочности, ровные берега первого класса вследствие избирательной абразии и меандрирования прибрежных течений превращаются в зубчатые абразионные.

Если береговая зона сложена однородными легко разрушающимися породами или изгибы береговой линии невелики, а подводный береговой склон сохраняет значительную крутизну вдоль всего побережья, то берега предшествующих типов превращаются в выравненные абразионные.

Дальнейшее развитие берегов второго класса приводит к отмелым берегам третьего класса, характеризующимся значительным развитием аккумулятивных форм (рис. 10) и постоянных вдольбереговых потоков наносов. Далее под воздействием меандрирующих прибрежных течений они превращаются в сложные выравненные берега, отличающиеся чередованием абразионных участков (мысы) с аккумулятивными образованиями (бухты). Берега этих типов распространены при вто-



Рис. 10. Выровненный абразионный берег (второй класс, 5 тип).
Оз. Энгозеро.

Фото Л. Попенко

ричной расчлененности озер, находящихся в стадии зрелости (рис. 5). Сложная выравненная береговая зона наиболее характерна для озер Карельского региона тектонико-ледникового (гетерогенного) происхождения. Она создана в ледниковых отложениях прибрежными меандрирующими течениями и прибоем особо сильным в осенний период и напором льда при торошении весной (Пиотровский и др., 1912). Этим напором льда образованы валы из валунов, которые тянутся на значительные расстояния вдоль береговой линии.

Низкие берега четвертого класса развиваются на отмелях прибрежьях, что способствует повсеместному развитию береговой аккумуляции наносов, образованию подводных береговых валов и превращению их в бары (Ладожское озеро — восточное побережье) при сгонных явлениях.

При значительном поступлении наносов (например, при размыве озов, образовании конусов выноса грунтовыми водами на надводных террасах и т. д.) выравненные берега предшествующих классов могут превратиться в выравненный аккумулятивный берег. Отложение масс наносов вдоль выравненных абразионных и выравненных сложных берегов приводит к полному затуханию абразии. Широкое распространение аккумулятивных берегов характерно для озер в стадии старости (рис. 11).

При незначительной величине современного твердого стока рек



Рис. 11. Аккумулятивный ровный берег (4 класс, 8 тип). Оз. Вагатозеро (бассейн озерно-речной системы Шуи-Онежской). Виден береговой вал.

Фото В. Фрейндлинга



Рис. 12. Фитогенный берег зонного зарастания (6 класс, 14 тип). Оз. Ройкнаволоксское (бассейн озерно-речной системы Суны).

Фото Н. Лазаревской

Карелии развитие потамогенных берегов на озерах идет очень медленно. При их формировании преобладают речные процессы над озерными волновыми. Вначале образуется клювовидная дельта. Далее она развивается в лопастную (при появлении раздвоения устья; Самойлов, 1952). Многоостровных дельт в Карелии мало. Наиболее характерна дельта р. Чирка-Кеми — притока Кеми при впадении в Юшкозеро (Григорьев, 1948).

Органогенные берега в Карелии распространены довольно широко и представлены классом фитогенных. Здесь следует выделить берега зонного зарастания высшей водной растительностью, которые развиваются на отмелях побережьях, и сплавинного зарастания приглубого берега, защищенного от волнения (рис. 7). Сплавина встречается осоковая, зеленомошная, но чаще сфагновая. Роль растительности при зонном зарастании в основном сводится к удержанию и закреплению на побережье наносов и отмерших частей растений (рис. 12). Широкое распространение фитогенных берегов характерно для озер, находящихся в стадиях дряхлости и умирания (Литинский, 1958 а), и вторичных озер.

Воздействие деятельности человека на жизнь водоемов исключительно велико. С ней связано формирование особой группы берегов усложненного типа развития — антропогенных. Берега, имеющие различный генезис, в пределах населенных пунктов даже внешне изменяют свой облик, но здесь значительное воздействие на водоем оказывает вторичный сток, иногда совершенно меняющий и тип водоема. Необходимо выделить класс искусственных берегов, так как все гидротехнические сооружения в какой-то степени нарушают установившийся естественный режим в прибрежной зоне озера. Если даже установка сооружений сделана правильно и они функционируют нормально, то значительные изменения могут происходить на соседних участках берега. Набережные всех типов также меняют динамический режим побережья (Джунковский, 1940), но особенно меняется режим склонового и подземного (субаквального) стока в водоем.

Значительный размах гидротехнического строительства в Карелии с использованием способа пионерного канала и гидромеханизации при

больших объемах земляных работ приводят к созданию особого типа вторичных береговых зон на озерах. В этом случае естественный берег бывает погребен под слоем вынесенного или нанесенного грунта и в большинстве случаев превращается в абразионно-аккумулятивный тип (оз. Пальеозеро). Почти все крупные озера Карелии уже превращены в водохранилища, и в связи с этим появились новые типы берегов, доставляющие много неприятностей при эксплуатации водохранилищ. Из этих соображений следует выделить берега со значительными участками затопленного и подтопленного леса (Живаго, 1954). На водохранилищах, созданных для регулирования лесосплава (Ведлозеро, Тулемозеро и др.), этот тип берега является преобладающим. На крупных водохранилищах, где зоны затопления велики и представляли собой торфяные болота, наблюдается всплывание торфяников, образующих дрейфующие острова. При их разрушении на побережье формируется вторичный аккумулятивный берег (причлененный). Такие берега могут быть и на озерах в естественном состоянии при опускании побережья (Онежское озеро, юго-восточное побережье; Молчанов, 1946).

Для изображения типов берегов на картах и планах предлагаются следующие обозначения (табл. 2).

Эти обозначения далеки от совершенства, но удобны для обозначения берегов на статических картах грунтов (Страхов и др., 1954) озер и специальных комплексных гидроморфологических картах озерных котловин (рис. 1) с рельефом, выраженным в горизонталях с абсолютными отметками (Литинский, 1959 а).

Генетическая классификация берегов должна уточняться и совершенствоваться по мере накопления материала, но и в таком виде может быть использована для прогноза развития береговых процессов на крупных водохранилищах Карелии и в других районах СССР.

Таблица 2

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ К ГИДРОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЕ ОЗЕРНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

Генетические типы береговых зон

А. Берега нормального типа развития

I. Абразионные

-  — ровные
-  — шхерные
-  — зубчатые

II. Абразионно-аккумулятивные

(со свободными и замыкающими аккумулятивными формами)

-  — бухтовые
-  — выравненные сложные

III. Аккумулятивные

-  — ровные
-  — бухтовые
-  — выравненные с примкнувшей террасой
-  — окаймленные подводным береговым валом.

Б. Берега усложненного типа развития

I. Аккумулятивные потамогенные

-  — берега клювовидных дельт
-  — берега лопастных дельт

II. Аккумулятивные фитогенные

-  — берега зонного зарастания
-  — берега сплавинного зарастания

III. Антропогенные

- ПБВС**  — повышенного бытового вторичного стока
-  — берега с преобладанием свайно-ряжевых сооружений
-  — волноломы
-  — набережные
- В7**  — вторичные
-  — затопленные и подтопленные залесенные
-  — приложенные (вторичные) торфяные

Вертикальное расчленение озерных чаш и их преобразование

Расчленение озерной котловины в целом и чаши озера как ее части было рассмотрено в первом разделе; здесь отметим специфику региона.

Характерная морфологическая особенность озерных котловин Карелии — это многочисленные острова и мели (рис. 13), которые являются положительными формами их рельефа. По своему происхождению острова могут быть генетически связанными с котловиной, когда они образовались при затоплении отдельных возвышенностей, возникших одновре-



Рис. 13. Острова и мели на Ладожском озере.
Фото с самолета Г. Лака

менно с образованием озерной котловины (при первичной расчлененности) или в результате тектонических разломов (Молчанов, 1945) и сбросов, а также размыва перешейков полуостровов водами озера (вторичная расчлененность). Поэтому острова, генетически связанные с котловиной, располагаются чаще в прибрежной зоне и могут иметь скалистое основание (рис. 2; Литинский, 1958 а, б).

Генетически самостоятельные острова возникают несколько позднее озерной котловины, хотя могут быть образованы воздействием аналогичных факторов. В условиях материкового оледенения такие острова могли образоваться при таянии «мертвого» льда, заполнившего тектонические впадины. На поверхности льда здесь в период его таяния могли образоваться речные потоки и отдельные озеровидные углубления, в которых происходило накопление осадочного материала тем больше, чем значительнее толща льда. При быстром протаивании относительно тонкого льда дальнейшее отложение осадков не могло происходить, так как появлялся промежуточный базис эрозии для осадкоформирующих потоков. При окончательном таянии льда в тектоническом углублении эти осадки дали обращенный рельеф: отложения речных потоков формировали вытянутые острова и мели (озы), вместо отложений водоемов — округлые острова и подводные возвышения (камы) — луды (Бискэ, 1955). Генетически самостоятельные острова больше характерны для открытой части тектонико-ледниковых озер и располагаются в окружении или около значительных глубин (морфологическая пара, рис. 2). К генетически самостоятельным следует отнести острова, возникшие в результате роста донных аккумулятивных форм, и своеобразные плавающие торфяные острова — лимы — на водохранилищах (Живаго, 1954). Большинство островов с отложениями подводными склонами находится в стадии размывания (Андриянов, 1939), особенно значительная абразия происходит при высоком весеннем уровне вод озера. На побережье островов баланс наносов отрицательный.

Тектоническое происхождение многих озер Карелии определяет и значительную глубину их ложа. Озера Восточно-Европейской равнины

с максимальными глубинами 15—20 м считаются глубокими, а в Карелии ряд более крупных озер имеет средние глубины 8—12 м и более. Из тектонических озер небольшое Панаярви, например, глубже Онежского озера, где глубина достигает 120 м (Молчанов, 1946). Возможны и большие глубины, вызванные новейшими тектоническими движениями — Ладжское озеро — свыше 300 м (Молчанов, 1945).

Расположение глубинных участков в тектонических озерах, как и их конфигурация, отвечают общей орографии местности (морфологическая корреляция); большей частью это узкие удлиненные котловины, где глубинная область превосходит прибрежное мелководье (Герд, 1949). Большое количество островов увеличивает мелководную часть озер (рис. 13).

Участки наибольших глубин образуют отдельные ямы неправильной формы, иногда совпадающие с направлениями радиальных тектонических разломов (Рихтер и Каманин, 1956). Встречаются значительные повышения дна с батиметрической амплитудой до 100 м и более. Характерно, что наибольшие глубины находятся часто вблизи от побережья или у архипелагов островов и центральная открытая часть озер почти всех генетических типов котловин является сравнительно мелководной. Интересно отметить, что именно такие закономерности выявлены для ложа морей и океанов (Калесник, 1955).

В южной Карелии довольно часто встречаются озера с относительно простым профилем чаши (оз. Вагатовское; Машканцева, 1959). В большинстве случаев они являются «останцами» древних более обширных водоемов и имеют малые глубины.

Озеро представляет собой элемент географической среды, в котором в физико-географических условиях озерно-речного бассейна тесно взаимодействуют неорганическая и органическая природа, происходит превращение одного вида энергии в другой. В своем развитии озеро проходит через стадии, причем каждая новая стадия является высшей по отношению к старой, поскольку более сложно организована. Один из основоположников озероведения Форель (1912) различал следующие возрастные фазы в развитии озера (даются в более развернутом виде. — Ю. Л.):

1-я стадия — юность — первоначальный рельеф котловины, возникший под влиянием многих взаимодействующих или различных одиочных факторов, почти не изменен воздействием скопившихся вод, твердым стоком и аллохтонными организмами, поселившимися в нем. Гидробиоценоз не сложился, горизонтальное и вертикальное расчленение озерной чаши — первичное. Подобный случай мы имеем при заполнении руслового или долинного водохранилища, различных выработок, «копаней» и понижений рельефа. При образовании озерного водохранилища только в «надстроенной» прибрежной зоне горизонтальная расчлененность является первичной.

2-я стадия — зрелость — динамическим воздействием вод озера (абразивно-аккумулятивный процесс) сформировано прибрежье и подводный береговой склон, притоки озера принесли грубые речные наносы, образовались речные дельты. В отчлененных участках озера (заливах, бухтах) появилась высшая водная растительность. Бентос, планктон и нектон — автохтонного происхождения. Сложился гидробиоценоз. Мелкодетритные озерные илы и речные наносы выравнивали углубления ложа, но еще заметны детали рельефа первичной котловины. Горизонтальная расчлененность озерной чаши является переходной от первичной к вторичной. В этой стадии находится большинство крупных озер Карелии: Ладжское и Онежское озера в составе водной системы

Невы, Топозеро, Пяозеро и Ковдозеро — водной системы Ковды, Нюк-озеро (рис. 5).

3-я стадия — старость — озерные отложения покрывают все дно, очертаний первоначальной котловины не видно. Центральная часть дна представляет почти горизонтальную поверхность, развиты аккумулятивные образования, значительны заросли высшей водной растительности (фитогенный берег). Расчлененность озера вторичная. Примером может служить Вагатозеро (рис. 11) в бассейне озерно-речной системы Шуи-Онежской. Из крупных водоемов СССР в этой стадии находятся озера Ильмень (бассейн р. Волхова) и Белое (р. Шексна — бассейн р. Волги).

4-я стадия — дряхлость (Липин, 1950) — центральная озерная равнина сравнялась с подводным береговым склоном. Заметен только склон прибрежья. Озера, находящиеся в этой стадии, являются также первичными водоемами различного генезиса на болотных массивах низинного типа. Прибрежная растительность может быть распространена по всей акватории. В этой стадии находится озеро Миккельское (Фрейндлинг, 1956) в бассейне озерно-речной системы Шуи-Онежской и небольшие, слабопроточные и защищенные от ветров лесные озера — «ламбы» (рис. 7).

5-я стадия — умирание (Липин, 1950) — озеро превратилось в болото. Водоем настолько заилен, что подводная озерная флора заменилась надводной болотной растительностью.

Иногда озеро может восстановиться из стадии болота. Исследование стратификации донных отложений на некоторых уральских озерах показало, что по невыясненным пока причинам озера перенесли стадию болота и потом стали нормальными озерами (Липин, 1950). Вероятно, основная причина в значительном притоке воды, например, по понорам или трещинам кристаллических пород. Подобную картину восстановления мы наблюдаем в зонах затопления водохранилищ, где имеются низинные болота, которые в свое время были озерами или заливами.

На верховых торфяных болотных массивах, являющихся уже положительной формой рельефа, возникают иногда небольшие «вторичные» озера (микроозерки; Иванов, 1953) — биогидрогенные.

Следует отметить, что о подводном рельефе карельских озерных чаш мы имеем все же недостаточное представление. Сравнение батиметрических карт, построенных ранее на основании промеров озера ручным лотом, произведенных с весельной лодки (с малой плотностью промера) и гидроакустическим профилографом (эхолотом), показывает, что плавные очертания чаши в первом случае совершенно не отражают действительного расчленения подводного рельефа (Литинский, 1959 а), а во втором несколько приближаются к нему (Удинцев, 1956). В настоящее время еще нет данных надежного дешифрирования батиграмм эхолотов на озерах Карельского региона. При сравнении наложенных озерных промеров — плотного промера лотом и эхобатиграммы (сличение лотов) — имеются расхождения до нескольких метров на небольших глубинах. Это было обнаружено при гидрографических промерах в Петрозаводском заливе Онежского озера в 1954 г. (Литинская¹) и на Крошнозере (Фрейндлинг, 1956). Учитывая возможное небольшое несовпадение галсов промеров в плане, все же следует признать этот факт подтверждающим значительное расчленение подводного рельефа.

В последние годы довольно широко стало применяться легководо-

¹ Статья в данном выпуске.

лазное снаряжение как за рубежом, так и в СССР. Использование акваланга для гидрографических работ открывает широкие перспективы для превращения ультразвукового эхолота-самописца из чисто промерного прибора в основной для геоморфологических исследований озер. Подводные визуальные наблюдения и исследовательские работы, сами по себе исключительно ценные, будут в значительной мере способствовать сбору материала по дешифровке батиграмм. Только тогда можно будет утверждать, что наше представление о подводном рельефе озерных чаш Карелии соответствует существующему в природе.

Морфометрия озер

Сравнительное изучение озер основывается на совокупности признаков, характеризующих природу каждого озера как элемента географической среды.

Морфология озер является одним из существенных признаков, характеризующих природу водоема, поскольку отражает на себе процессы, повлекшие образование озерной котловины, показывает большее или меньшее развитие гидроморфологических процессов, ведущих к переработке побережья и исчезновению озерной чаши (заиление, заболачивание). Она также определяет характер водообмена под воздействием ряда причин, обуславливает гидрофизические и биогидрохимические особенности вод озера и отражается на составе гидробионтов (Верещагин, 1930).

Морфометрия — учение о принципах и методах количественной характеристики форм рельефа — представляет собой раздел геоморфологии и картографии (Муравейский, 1948). Морфометрия озер должна быть частью геоморфологии озер, как раздела озероведения (общей лимнологии) для количественной характеристики форм рельефа озерной котловины.

По морфометрии озер можно выделить две работы ныне покойных советских озероведов: Верещагина (1930) и Муравейского (1948), в которых дается анализ высказываний по этому вопросу как отечественных, так и иностранных ученых и вносится ряд новых предложений. Для озероведов Карелии особый интерес представляет первая работа, поскольку она построена на исследованиях карельских озер. Ввиду многообразия генетических и морфологических типов озер Карелии их морфометрия требовала особо тщательной проработки.

Из большого числа морфометрических величин, применяемых для количественной характеристики озерных котловин, следует выделить наиболее важные, которые показывают географическое положение озера, его происхождение, тип и стадию развития, дают некоторое, может быть, косвенное, представление о режиме озера в зависимости от гидроморфологии его чаши и будут применяться на практике. Исходя из этого, морфометрические характеристики озер можно разделить на 4 группы: а) положения; б) собственно морфологические; в) лимноморфогенетические (Первухин, 1937; Литинский, 1959 а); г) гидроморфологические.

Их удобно свести в таблицу. Такая таблица нами составлена на основании материалов, полученных отделом гидрологии Карельского филиала АН СССР (Литинский, 1958 а) при исследовании озер Карелии (табл. 3).

Определения основных морфометрических величин даны Верещагиным (1930) с исчерпывающей полнотой, приняты в практике озероведения и не требуют особого рассмотрения. С критикой формализма

Таблица 3

Морфометрические, лимноморфогенетические и гидроморфологические характеристики озерных котловин

Группа величин	№ п/п	Наименование характеристик	Единицы измерения	Определения, примечания
1	2	3	4	5
Положения	1	Географические координаты крайних точек озера или его условного центра (пересечение большой и малой его осей): северная широта восточная долгота	° ' " ° ' "	
	2	Административная принадлежность	—	
	3	Бассейн моря, озерно-речной или речной системы		
	4	Положение озера в водной системе		Верхнее, среднее, нижнее
	5	Средняя абсолютная отметка уреза воды	м	
	6	Абсолютная отметка дна наибольшей глубины	м	Указывать криптодепрессии
Морфометрические	7	Площадь озерной котловины	км ²	Площадь собственного водосбора склонового стока в озеро
	8	Площадь озера	•	С островами
	9	Акватория озера	•	Площадь озера без островов
	10	Площадь островов	•	
	11	Количество островов	—	
	12	Длина озера	км	
	13	Большая ось озера	•	
	14	Наибольшая ширина озера	•	
	15	Малая ось озера	•	
	16	Длина береговой линии озера	•	Внешний } контуры внутренний } озерной } чаши
	17	То же для островов	•	
	18	Объем водных масс озера	км ³ , м ³	
	19	Средняя глубина озера	м	
	20	Наибольшая глубина озера	•	
	21	Наибольшая глубина чаши озера	•	
	22	Плотность промера		Количество промерных точек на 1 км ² акватории озера
	23	Плотность эхолотирования		Отношение длины промерных галсов, произведенных эхолотом, к акватории озера

1	2	3	4	5
Линноморфогенетические	24	Генетический тип озера		По происхождению озерной котловины (главные первичные факторы генезиса)
	25	Морфологический тип озера		По форме горизонтальной расчлененности и вертикальному разчленению озерной чаши
	26	Тип водного режима		Бессточное сточное, проточное
	27	Удельный водосбор		Отношение площади водосбора озера к площади его акватории
	28	Показатель возможного водообмена		Отношение среднегодового объема притока в озеро к объему его водных масс
	29	Стадия развития озера		Возрастные ступени озера
	30	Индекс расчлененности озера		Отношение большой оси озера к диаметру круга, равновеликого акватории озера
	31	Островистость озера	%	Отношение площади островов к площади озера
Гидроморфологические	32	Показатель горизонтальной расчлененности озера	1	Отношение площади круга с длиной окружности, равной длине береговой линии озера (внешний контур), к площади озера
	33	Показатель развития береговой линии озера	—	Отношение длины береговой линии озера (острова) к длине линии, осередняющей изрезанность
	34	То же для острова (каждого в отдельности)	—	
	35	Площадь акватории озера, открытая для ветров всех направлений (румбов)	км ²	Площадь наибольшего круга, вписанного в акваторию озера
	36	Показатель условного динамического воздействия на берега озера и островов		Отношение акватории озера к суммарной длине береговой линии озера и островов
	37	Средняя многолетняя амплитуда колебания уровней воды озера	м	

1	2	3	4	5
Гидроморфологические	38	Показатель формы озерной чаши		Отношение средней глубины озера к его наибольшей глубине
	39	Показатель относительной глубины озера		Отношение средней глубины озера к корню кубическому из площади акватории озера ¹

в понимании и определении некоторых величин, предложенных Верещагиным, с которой в свое время выступал Муравейский, нельзя не согласиться, но в ряде вопросов и он, по нашему мнению, не прав. Некоторые положения требуют пояснения.

Во вступлении к этой, по существу, коллективной работе (1930) Верещагин указывал, что в результате практической проверки некоторые показатели, возможно, окажутся ненужными поэтому обвинение в формализме незаслуженно.

В своей классической работе по морфометрии Г. Ю. Верещагин писал, что понятие глубины озера настолько очевидно, что никем точно и не определялось. Под глубиной озера, по Верещагину, следует понимать вертикальную протяженность водной массы озера по нормали к зеркалу (спокойному состоянию) водной поверхности (акватории). В случае ровного, однородного и твердого грунта на понятие глубины очевидно. Что же считать глубиной озера (моря) — собственно водной массы — на участках, где имеется слой взвешенного и разжиженного ила, или других отложений мощностью в несколько метров (Литинский, 1959 а)? Вероятно, следует ввести понятие глубины чаши озера, чтобы тем самым определить мощность взвешенного и разжиженного грунта, всей толщи озерных отложений за весь период существования водоема. Ее можно определить как расстояние по нормали к акватории озера (при средневековом уровне воды) до дна первичной озерной котловины. Глубина озера на участках резко пересеченного рельефа и разнородного грунта (например, крупный валун по песку) должна приниматься в зависимости от среднего размера крупных неровностей дна. Это подсказывает также применение эхолота. На батиграмме нельзя сделать точный отсчет глубины, так как истинная глубина при расчлененном рельефе «блуждает» в полосе записи (Удинцев, 1956). Поэтому закрепленная на карте глубина озера — расстояние по нормали от водной поверхности при среднем многолетнем уровне воды до верхней осредненной поверхности озерных отложений.

В ряде работ по морфометрии озер (Гальбфасс, 1922; Верещагин, 1930; Муравейский, 1948) указывается, что определение среднего уклона дна для озер с расчлененным рельефом не показательно, с чем нужно

¹ П. В. Иванов (1949) рекомендует следующую шкалу для определения характеристики глубины озер по показателю относительной глубины — „а“ (Литинский, 1959 а):

показатель „а“ изменяется от 20 до 10—очень глубокие озера;

•	•	•	•	10	•	4—глубокие;
•	•	•	•	4	•	2—нормальной глубины;
•	•	•	•	2	•	0,5—мелкие;
•	•	•	•	0,5	•	0,1—очень мелкие.

согласиться. Определение уклонов необходимо производить для подводного берегового склона, так как в основном в зависимости от его наклона берег развивается по абразионному или аккумулятивному типу (Зенкович, 1946).

В раздел морфометрических величин введены данные по плотности промера (лот) и плотности эхолотирования, позволяющие судить о порядке точности в определении подводного рельефа (Гальбфасс, 1922). Об этом забывать нельзя, чтобы не впасть в заблуждение (Баранов, 1958), принимая плавные линии изобат, наведенных по малому числу промерных точек, за основу для выводов о малом расчленении подводного рельефа озерных чаш карельских водоемов (Литинский, 1959 а).

Остальные собственно морфометрические характеристики озер не требуют специального пояснения.

К группе лимноморфогенетических величин и характеристик отнесены генетический и морфологический типы водоема, которые в сжатой форме определяют происхождение и основные черты режима озера (Литинский, 1959 а) и необходимы при составлении кадастра озер. Морфологический тип озера характеризуется показателем горизонтальной расчлененности, формой этой расчлененности и вертикальным расчленением озерной чаши по показателю относительной глубины.

На протяжении всего развития озера существует тесная связь его с бассейном. Еще Форель (1912) указывал на важность соотношения площади бассейна и площади озера для суждения о связи озера с бассейном. Выделение таких величин, как коэффициент питания (Сумароков, 1947), удельный водосбор и показатель условного водообмена (Григорьев, 1948, 1959) или проточность (Дубровин и др., 1959) очень ценно для типологии и классификации озер. Богословский (1955) предлагает термин «водообменность» и определяет ее отношением объема озера к объему стока, что с генетических позиций не совсем правильно. Это соотношение будет применимо только к сточному водоему с котловиной, вырожденной в чашу, питающуюся атмосферными осадками и ограниченным подземным стоком. Для общего случая проточных озер правомернее отношение среднегодового объема притока к объему озерных вод, которое применяется чаще. По нашему мнению, это отношение должно называться показателем возможного водообмена, причем должен учитываться приток подземных вод непосредственно в чашу озера и метеорные осадки на его акваторию. Водообмен в озерах происходит по сложной схеме, но со временем он все же будет детально изучен. Термин «условный» как бы исключает познание, а «проточность» не полностью соответствует физическому смыслу водообмена в общем случае.

Отношение площади водосбора озера к его акватории правильнее называть удельным водосбором, а не коэффициентом питания. Питание озера складывается из многих составляющих и в общем случае площадью водосбора они не учитываются. Только когда будет выяснено соотношение объемов бассейна озерной системы и собственного бассейна озерной чаши как пространственных элементов, можно ставить вопрос о каком-то показателе питания озера.

Возрастные ступени развития озера связаны с приведенными выше показателями и во избежание ошибок должны определяться при установлении генетического типа водоема.

В геоморфологии морских берегов принят термин «расчленение» берега (Леонтьев, 1955), но, по нашему мнению, термин «расчлененность» лучше применить в геоморфологии озер ко всему озеру в целом, а для береговой линии озер принять термин «изрезанность» как фиксирующий

развитие береговой линии на определенном этапе. Физическая сущность формирования береговой линии озер и взаимопереход типов горизонтальной расчлененности акватории рассмотрены в соответствующем разделе.

По Верещагину (1930), показатель общего развития озера — отношение площади круга с длиной окружности, равной длине береговой линии озера, к площади озера — может быть использован для определения горизонтальной расчлененности озера. По нашему мнению, это отношение следует назвать показателем горизонтальной расчлененности озера и выражать в абсолютных величинах. В данном случае круг не является «порочным» (Муравейский, 1948), ибо всякий другой выпуклый контур будет «расчленен» по отношению к кругу, который можно принять за своеобразный эталон.

Х. Ренквист (1953) рекомендует для финских озер индексы изрезанности, характеризующие изрезанность береговой линии (побережья. — Ю. Л.) озер и многочисленность островов. Для этого используется соотношение между наибольшей протяженностью озера от одного берега до другого по прямой линии (большая ось озера — по Верещагину, 1930. — Ю. Л.) и диаметром круга, равного площади поверхности озера (акватории. — Ю. Л.). Если бы озеро имело округлую форму и было лишено островов, это соотношение равнялось бы единице. Поскольку этот показатель относится к озеру в целом, лучше назвать его индексом расчлененности озера.

Ренквист (1953) использует и понятие ядра озера (вписанного круга. — Ю. Л.) как участка акватории озера, открытой для ветров всех направлений. Эта площадь и определяет возможность равномерного динамического воздействия волн и течений на берега, а также возможность выравнивания контура озера.

Показатели гидроморфологической группы относятся к категории лимноморфогенетических. Их выделение произведено для того, чтобы подчеркнуть значение гидродинамических процессов (особенно течений) в преобразовании озерной котловины при вторичной расчлененности.

Близняк (1952) предлагает использовать условный показатель динамического воздействия вод на берега как отношение площади озера (акватории. — Ю. Л.) к длине береговой линии озера (и островов. — Ю. Л.). Этот показатель очень характерен для карельских озер и использовался Ренквистом (1953).

Применяемое в практике озероведения определение изрезанности береговой линии по формуле Нагеля является, по существу, смешением понятий расчлененности озерной чаши и изрезанности его береговой линии (прибрежья), в том смысле, как было изложено в соответствующем разделе. Вообще определение показателя развития береговой линии имеет практический смысл только на картах или планах крупного масштаба (не свыше 1 : 25 000), где можно учесть микроформы берега и поэтому предложение Муравейского (1948) об определении изрезанности береговой линии отношением длины береговой линии к периметру линии, обводящей контур озера, будет более правильным. Это более приемлемо для расчлененных озер Карелии и вновь создаваемых водохранилищ в различных районах СССР. Учитывая генерализацию береговой линии на картах в определенных масштабах, можно считать, что ее длина, в первом приближении, и будет являться обводящей для микроизгибов береговой линии, выраженных на следующей по крупности масштаба карте, тем более, что по генезису изрезанность развивается как за счет размыва (абразии), так и аккумуляции, т. е. положительных и отрицательных движений береговой линии. Поэтому

обводящая должна их осреднять (что происходит при генерализации карты), а не проходить только по суше, как считал Муравейский (1948).

Нельзя согласиться с Муравейским (1948), отрицавшим возможность равномерного динамического воздействия вод на береговую полосу. В многолетнем разрезе такая равномерность существует и вызывает выравнивание выпуклого контура [за пределами региона: оз. Белое — бассейн р. Шексны и оз. Мичиган (США); Леонтьев, 1955], иногда очень близкого к кругу (например, оз. Миккельское — бассейн озерно-речной системы Шуи-Онежской; Фрейндлинг, 1956). Мы читаем: «термин «развитие береговой линии» (выделение наше. — Ю. Л.) надо решительно отбросить, так как он не соответствует нашему представлению о развитии как процессе возникновения нового» (Муравейский, 1948, стр. 69). Такое суждение является, по существу, формальным, а предложение заменить этот динамичный термин «изрезанностью» отрицает возможность выравнивания береговой линии на высших стадиях развития озер, что в природе имеет место.

Показатель емкости — по Верещагину (1930) отношение средней глубины к наибольшей — позволяет установить степень «полноты» объема озерной чаши. В зависимости от пространственной формы озерной чаши при равных площадях поверхности и равных максимальных глубинах озера имеют соответственно различные объемы водных масс, которые при морфометрических расчетах условно можно приравнять к объемам простых тел вращения. Показатель формы озерной котловины — по Муравейскому (1948) — определять довольно сложно, а в условиях значительного вертикального расчленения чаш озер

Таблица 4

Тело	Показатель формы озерной котловины $C = \frac{H_{\text{ср.}}}{S_0}$	Показатель формы озерной чаши (емкость) $\frac{H_{\text{ср.}}}{H_{\text{наиб.}}}$
Цилиндр	2,0	1
Полушар	1,78	0,67
Параболоид	1,50	0,50
Конус	1,33	0,33

Карелии (их молодости) он в некоторых случаях будет практически бесполезен. По нашему мнению, для этих целей все же лучше использовать отношение $\frac{H_{\text{ср.}}}{H_{\text{наиб.}}}$, что и назвать показателем формы озерной чаши (ложка; Форель, 1912) как более простой для вычисления величины. Для сравнения приводим табл. 4 с показателями, предложенными Муравейским (1948) и Верещагиным (1930) (при $H_{\text{мах.}} = 1$). Во втором случае мы получили почти одно и то же ($C=1$), но здесь эта единица «положительна» (проще вычисляется).

В зависимости от генетического типа и стадии развития озера имеют различные кривые распределения их площадей и объемов водной массы по глубине. Эти кривые в относительном виде (Нагель, 1939) хорошо характеризуют форму озерной чаши.

Важным показателем для озерной чаши является коэффициент «а» (Иванов, 1949), зависящий от степени заполнения ее озерными осадками и речными наносами. Классификация озер по величине площади и их средней глубине, предложенная П. В. Ивановым, представляет большой интерес. Совершенно очевидно, что о глубине озера следует говорить в связи с его площадью (акваторией. — Ю. Л.). Формула Иванова применялась для оз. Сямозера (Литинский, 1959 а), которое по показателю относительной глубины (коэффициент «а») оказалось мелким, хотя наибольшая глубина его 25 м, а акватория озера 266 км². При раздельном рассмотрении этих величин озеро не казалось мелким. Особенно ценно применение формулы Иванова для Кольско-Карельской озерной области, где Кольским и Карельским филиалами АН СССР произведены значительные работы по определению площадей озер (около 150 000 озер), а данных по глубинам недостаточно. Имея озера-аналоги, можно в первом приближении получить глубины и объемы для группы озер (Литинский, 1956).

Для большей наглядности в табл. 5 приведены основные морфометрические, лимноморфогенетические и гидроморфологические характеристики некоторых карельских озер.

Нет сомнения в том, что в порядке обсуждения будут предложены новые величины и зависимости, а также уточнены применяемые нами. Совершенно очевидно, что в дальнейшем гидроморфологические зависимости должны увязываться с расчетными формулами различных гидродинамических явлений в озерах и со средними многолетними характеристиками гидрометеорологического режима региона.

Некоторые вопросы динамики водных масс и гидроморфологии чаш озер Карелии

Определяющим фактором всей жизни озера является водообмен, складывающийся из соотношений водного баланса бассейна озера [озерно-речной (водной) системы и собственного] и воздействия атмосферы на его акваторию.

Расчлененный рельеф склонов озерных котловин и множество островов создают местные отклонения воздушных потоков (иногда усиливают их), которые, воздействуя на водную поверхность, вызывают направленные перемещения водных масс и волнение, осложняемые значительным горизонтальным и вертикальным расчленением озерных чаш, а также большим числом мелей.

Динамические процессы в озерах имеют несколько иной характер, чем на морях, так как во всецело зависят от величины водоема и замкнутости его контура. Волны на озерах вообще меньше и круче, чем на морях. Во-первых, вода озер пресная, следовательно, более легкая. Поэтому возникновение волн под влиянием ветра на озерах происходит быстрее, чем на морях. Точно так же и успокоение озера при стихании ветра происходит быстрее. На озерах на форму волны значительное влияние оказывает разность температур воды и воздуха, поэтому осенью и в начале зимы на озерах волны очень крутые (в воздухе возникают вихри с горизонтальной осью). Вследствие сравнительной близости берегов и множества островов и мелей появляются отраженные от них волны, которые, встречаясь с первоначальными волнами и интерферируя с ними, создают так называемую «толчею», в которой трудно разобрать первоначальное направление волн (Советов, 1935).

Размеры волн на озерах имеют определенный предел независимо от дальнейшего увеличения скорости ветра (Молчанов, 1945). Вероятно, это

происходит из-за возрастания скоростей волнового и дрейфового течений, которые выполаживают волны. Такое явление мы наблюдаем на реках и при сложных озерных течениях (Литинский, 1959 а).

Озеро, в отличие от моря, представляет собой почти замкнутый водоем. Потоки различных по генезису течений вследствие неразрывности образуют сравнительно небольшие системы циркуляций. В этих системах компенсационные течения нельзя рассматривать как самостоятельные. Они являются звеном общего циркуляционного течения, возникшего при приложении определенных сил (Офицеров, 1959). В зависимости от соотношения величин акватории и глубины озера, определяющих «глубину трения», системы циркуляций располагаются только в горизонтальной или вертикальной плоскостях, а иногда существуют совместно и осложняются постоянными стоковыми течениями и сейшами.

На небольших озерах, находящихся в составе крупных водных озерно-речных систем, при штиле наблюдается приточно-сточное течение речного потока на расстояниях до 5—6 км (Шотозеро в составе озерно-речной системы Шуи-Онежской; рис. 1), и «растекание» потока невелико. При ледяном покрове на трассе такого потока наблюдаются полыньи, не замерзающие в теплые зимы (оз. Гимольское в составе озерно-речной системы Суны и Выгозеро), причем в сужениях течения (между берегом и островами) скорости потока увеличиваются. Здесь существует «поток в жидких берегах» (Самойлов, 1952, 1957) — явление, заслуживающее детального исследования (Литинская¹).

Динамика стоковых течений в пределах приустьевого плеса на безливных водоемах изучена недостаточно. В дополнение к устьевым участкам рек, впадающих в моря (Самойлов, 1952), следует выделить несколько типов устьевых участков со своеобразным гидравлическим режимом.

Для озерно-речных систем Карельского региона характерны следующие типы устьев: 1) водопад (р. Габручей в бассейне Шуи-Онежской); 2) порог (протока Косалма между озерами Кончезером и Укшезером в этом же бассейне); 3) искусственные устья (водосбросные гидротехнические сооружения — Кондопожская ГЭС); 4) эстуарий (рр. Кивач и Судак — притоки Сямозера в бассейне Шуи-Онежской); 5) дельта (оз. Ройкнаволоокское в бассейне р. Суны); 6) пролив-«салма» (между Укшезером и р. Шуей); 7) понора (воронка) карстовых озер; 8) субаквальные ключи (сосредоточенные и рассредоточенные).

Особенностью устьев типов водопада, порога и искусственного является то, что сопряжение скоростного потока с водоемом осуществляется посредством гидравлического прыжка. Происходит быстрое перемешивание воды с переходом кинетической энергии потока в тепловую, и стоковое течение в пределах приустьевого плеса озера затухает.

Устье типа эстуария на приглубом побережье обеспечивает наиболее плавное сопряжение скоростного потока с водной массой озера, и стоковое течение в штиль визуально прослеживается на большом расстоянии от устья.

Вероятно, также плавным сопряжением турбулентных речных потоков объясняется то, что воды главной реки и ее притока на длительных расстояниях не смешиваются.

В зависимости от скорости речного потока и расходов воды стоковое течение в озере распространяется по волновой линии, близкой к синусоиде с возрастающей амплитудой и периодом. Если река, породившая

¹ Статья в данном выпуске.

стоковое течение, протекает в меридиональном направлении с севера или юга, то, по нашим наблюдениям, стоковое течение распространяется вдоль побережья озера, расположенного справа от направления течения. Потоки, движущиеся в широтном направлении с запада, отклоняются иногда вправо, с востока — влево, но всегда продолжают движение вдоль побережья, где энергетические затраты меньше, чем над глубинной зоной (Лабейш, 1959).

Экспериментальными (Михайлов, 1959) и натурными (Самойлов, 1957) наблюдениями на устьевых участках рек установлено, что стоковое течение распространяется в водоеме потоком, расширяющимся в пределах определенного угла. По-видимому, образующие этого угла являются касательными к вершинам синусоидальных волн оси потока и ограничивают район его меандрирования. Более тонкий эксперимент с усиленным различием вод потока и водоема (температура и окраска), вероятно, позволит воспроизвести естественный процесс на приустьевом плесе озер.

Устья типа дельт (клювовидной, лопастной и многоостровной) (Самойлов, 1952) образуются на реках со значительным твердым стоком. В Карелии они развиваются преимущественно на отмелем побережье озер. На более сложных многоостровных дельтах чаще наибольшей водностью, как и всюду в северном полушарии, обладают правые рукава. Левые рукава сбрасывают воду лишь тогда, когда живое сечение правых рукавов недостаточно для пропуска возросшего расхода воды. На отмелем приустьевом плесе озер движение речного потока четко выражено морфологически (рис. 14) и развивается как и при эстуарии. Опускание потока также вызывается меньшими энергетическими затратами.

Устье типа пролива в протоках между озерами, с уровнями, расположенными на близких отметках, характерно тем, что движение потока может быть последовательным в обоих направлениях при мелком и узком русле. В глубоком и узком русле водообмен происходит одновременно в обе стороны в виде поверхностного и глубинного противотечений. При широком и неглубоком русле течения взаимно обратны вдоль берегов. Эти течения являются стоково-дрейфовыми и большей частью существуют лишь в пределах приустьевого плеса озера.

Для озер с преобладающим питанием подземными водами выделяем своеобразные устьевые участки в виде понор карстовых озер и субаквальных ключей. Различие между ними в том, что по понорам может происходить и истечение воды из карстового озера и дебит поноры значительно выше, чем ключа.

Субаквальные ключи могут быть сосредоточенными, и тогда по гидравлическим свойствам они приближаются к поноре, или рассредоточенными, фильтрующими воды через грунты озерной чаши. Из особенностей гидравлики можно отметить круговые течения, расходящиеся в вертикальной плоскости, которые возникают в результате выхода грунтовых вод под урез воды на побережье озера (Шотозеро). Эти течения вырабатывают незначительные (при малом дебите) углубления, которые не разрушаются прибойным потоком, вероятно, из-за того, что происходит своеобразная «ломка» волн. Подобное явление используется в пневматических волноломах. При значительном дебите поверхность воды озера над сосредоточенным субаквальным ключом возвышена на несколько миллиметров (Онежское озеро, при штиле). Для детального изучения течений над субаквальными ключами можно использовать термометр, так как температура воды озера летом на 10—15° выше температуры поступающей грунтовой воды. Зимой температуры грунтовых вод на 2—3° выше озерной, и над ключевым углублением образуется полынья

(пропарина). Иногда лед значительно разрушен, и это представляет опасность для зимнего транспорта. При изучении термического режима озер на субаквальный сток следует обратить особое внимание.

Наличие истоково-устьевых форм указывает на то, что между устьем и истоком много общего, поскольку они формируются стоковыми течениями общего характера.

При изучении стоковых (отточных) течений необходимо рассмотреть и истоковый участок реки, вытекающей из озера. От его конфигурации во многом зависит коэффициент вытекающего из озера расхода воды. Если устьевые участки рек изучены сравнительно хорошо (Самойлов, 1952; 1957) и даны их классификации, то истоковые участки на озерах почти не рассматривались. Большое количество озер — признак молодости земной поверхности. Понижение базиса эрозии зависит в первую очередь от пород, слагающих озерную котловину, поэтому иногда только формирование истока определяет продолжительность жизни озера (Половинкин, 1958).

В Карелии сток из озер происходит чаще всего через плотно уложенные валунные гряды (базальный слой), оставшиеся после вымыва мелких фракций морены на уровне промежуточного базиса эрозии. Поток формирует русло в истоковой части, когда процесс размыва отстает от процесса удаления наносов. При трудноразмываемом грунте наносы обычно мелкозернистые, они удаляются во взвешенном состоянии, и бифуркация из озер (например, Энгозеро — речные системы Калги и Воньги) существует долго, во-первых, из-за недостатка наносов для засыпки одного из истоков, во-вторых, когда они одинаковы по условиям стока и, в-третьих, за счет «перекоса озера», т. е. неравномерного поднятия или опускания берегов (Верещагин, 1926; Рихтер и др., 1956).

Можно наметить (в первом приближении) следующие типы истоковых участков (Литинский, 1958 а, б) на озерах Карельского региона:

1) водопад (Топозеро — Софпорог, бассейн водной системы Ковды, аналогично — оз. Эри — Ниагара в США);

2) порог (Энгозеро — р. Воньга);

3) перекат — валунный (Сямозеро — р. Сяньга, бассейн озерно-речной системы Шуи);

4) канал (Святозеро — р. Свят, бассейн озерно-речной системы Шуи), аналогичен эстуарию;

5) «салма» (пролив) между озерами, где движение вод может быть в обе стороны из-за денивелиации уровня воды (например, Лубоярви и Вонгозеро — бассейн озерно-речной системы Суны). Последнее имеет многолетнюю низшую отметку;

6) поноры (воронки) карстовых озер района Балтийско-Каспийского водораздела. Своеобразные, малоизученные истоково-устьевые участки озер, которые располагаются на различной батиметрической высоте от среднесноголетнего уровня воды. По ним расходы воды могут проходить в двух направлениях — в озеро и из озера. Возможна своеобразная «бифуркация»;

7) для озер, не имеющих поверхностного стока, важно выявить сток через водопроницаемые породы: а) трещины различного происхождения в кристаллических и аморфных породах и б) области интенсивной фильтрации в рыхлых породах. Это тоже своеобразные «истоковые» участки. Детальное изучение истоков 6 и 7 типов возможно с применением водолазной аппаратуры;

8) искусственный исток (водосбросные плотины, отверстия турбинных камер — на водохранилищах, промышленные водозаборные сооружения на озерах и т. д.).

Наибольшие расходы воды (при прочих равных естественных условиях) будут в истоке — водопаде, а «салма» и понора могут давать возвратный расход. При геоморфологических исследованиях озер Карелии на истоковые участки следует обратить особое внимание, так как они являются регуляторами стока из озера, определяют его ретенцию и формируют отточные течения.

Участие дрейфовых, гравитационных стоковых течений в формировании донных отложений озер Карелии несомненно. Только этим можно объяснить появление «азональных» типов грунтов (Страхов и др., 1954), не только принесенных течениями, но и появившихся в результате размыва верхнего слоя озерных отложений (Фрейндлинг, 1959) или их намыва. Так, на Шотозере на глубине 4—6 м обнаружены ленточные глины, деформированные воздействием вод (рис. 1, юго-восточная часть озера между островом и лудой; Машканцева, 1959). Эти глины являются отложениями древнего водоема, существовавшего в Шуйской депрессии, в состав которого входило нынешнее Шотозеро (Земляков и др., 1941). В размыве ложа участвует, вероятно, сложное течение, аналогичное отмеченному на Сямозере (Литинский, 1959 а). В юго-западной части Шотозера стоковым течением, отклоняющимся к югу под воздействием силы Кориолиса, на приустьевом плесе размыт оз., ушедший под урез воды (рис. 1), и формируется подводное русло Шуи (рис. 14).

Это стоковое течение хорошо прослеживается вдоль всего южного побережья Шотозера. Оно усиливается гравитационным течением, возникающим при юго-западных ветрах. В подводном рельефе выявлены углубления и возвышенности, которые обязаны своим происхождением водоворотам с нисходящим и восходящим токами (рис. 1), образующимся при отрыве на закруглениях меандрирующего потока. По-видимому, и расчлененность южного побережья — чередование мысов и бухт — есть результат взаимодействия с течением, меандрирующим на побережье.

Меандрирование стокового течения довольно хорошо выражено на оз. Миккельском, где течение было выявлено рН-методом (Фрейндлинг, 1956). Поток свирских вод в Ладожском озере (Молчанов, 1945) имеет тенденцию к меандрированию вдоль южного побережья, что видно на термических разрезах и схемах.

Некоторое значение в водообмене озера имеет движение водных организмов и других обитателей. Миграции гидробионтов и птиц, плавающих в малых озерах, создают механическое воздействие на среду обитания, соизмеримое с другими факторами водообмена.

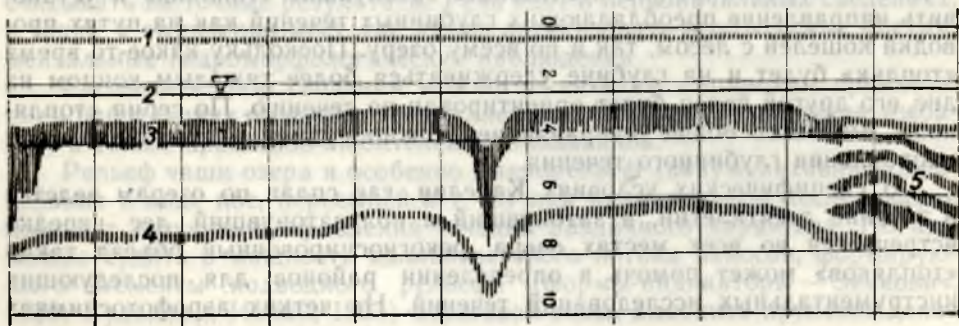


Рис. 14. Схематизированная батиграмма ультразвукового эхолота «РЭЛ-1 М».

Подводное русло потока озерно-речной системы Шуи при впадении в Шотозеро.

1 — рабочий горизонт воды в озере («нулевая отметка»); 2 — средний многолетний (приведенный) горизонт воды; 3 — профиль дна; 4 — вторичное отражение ультразвукового импульса («второе дно»); 5 — запись слоистости грунта.

Динамика водных масс карельских озер еще недостаточно изучена, требуется большой натурный материал. Иногда о преобладающих течениях в озерах можно судить с помощью простых средств, в том числе по ориентировке неподвижных и перемещающихся бревен — «топляков»¹, которые распространены в озерах Карелии.

В свободном состоянии «топляк», вышедший из-за оплотника кошеля, передвигается течением в вертикальном положении, представляя собой своеобразный поплавок-интегратор длиной 6,5 или 8 м, в зависимости от сортимента древесины. Большая длина погруженной части и малая, выступающая над поверхностью воды, практически исключают непосредственное ветровое воздействие, а при непродолжительном ветре большая часть «топляка» находится ниже упорядоченного конвекционного течения на озерах.

На реках «топляки», опустившиеся комлевым концом на дно, сами устанавливаются по течению, при этом в мягких грунтах они могут удерживаться на одном месте долго.

На озерах «топляки» также устанавливаются плавающим концом в направлении преобладающего течения, и их нижний конец нередко засасывается илом на глубину до 1 м, при наклоне в сторону течения до 60°. Такие «топляки» можно наблюдать продолжительное время в районах озера, защищенных от меняющихся ветров, где высота волны не превышает 0,5 м. При больших волнах возросшая амплитуда колебания верхнего конца бревна приводит к отрыву «топляка» и дальнейшему его дрейфу. Непродолжительное изменение направления течения обычно не меняет ориентации «топляка».

В бассейне озерно-речной системы Шуи-Онежской, на оз. Сямозере, например, в районе д. Кяргеля, один «топляк», ориентированный преобладающим течением на северо-восток, находится на одном месте на глубине 6 м уже свыше 3 лет (только по нашим наблюдениям). Его длина 8 м, диаметр 25—30 см. Казалось бы, что «топляк» должен был затонуть, но, этого не происходит. Причина, видимо, в своеобразном «заколачивании» и «вибрации», которыми он вбивался в грунт. «Топляк» обжат илом и удерживаемый им в вертикальной плоскости превратился в наклонную сваю (рис. 15). В ледоход он не перемещается, так как его верхушка вытаскивает от радиации еще при неподвижном ледяном покрове, а при последующем повышении уровня воды и подвижках льда верхняя часть бревна обычно уже оказывается ниже льда.

При наличии легкого водолазного снаряжения или маски для подводного плавания можно исследовать затонувшие «топляки» и установить направление преобладающих глубинных течений как на путях проводки кошелей с лесом, так и по всему озеру. Поскольку какое-то время «топляк» будет и на глубине удерживаться более тяжелым концом на дне, его другой конец будет ориентирован по течению. По серии «топляков», имеющих общее направление, можно судить о преобладающем направлении глубинного течения.

В специфических условиях Карелии, где сплав по озерам ведется в течение десятилетий, а затонувший и полузатонувший лес нередко встречается во всех местах озера, рекогносцировочный объезд таких «топляков» может помочь в определении районов для последующих инструментальных исследований течений. На четких аэрофотоснимках

¹ «Топляками» сплавщики называют полузатонувшие или затонувшие бревна. Комлевая часть бревна, имеющая больший удельный вес, при намокании опускается вниз, а тонкий конец выступает из воды на высоту нескольких сантиметров или находится под водой (в зависимости от влажности намокающей древесины).

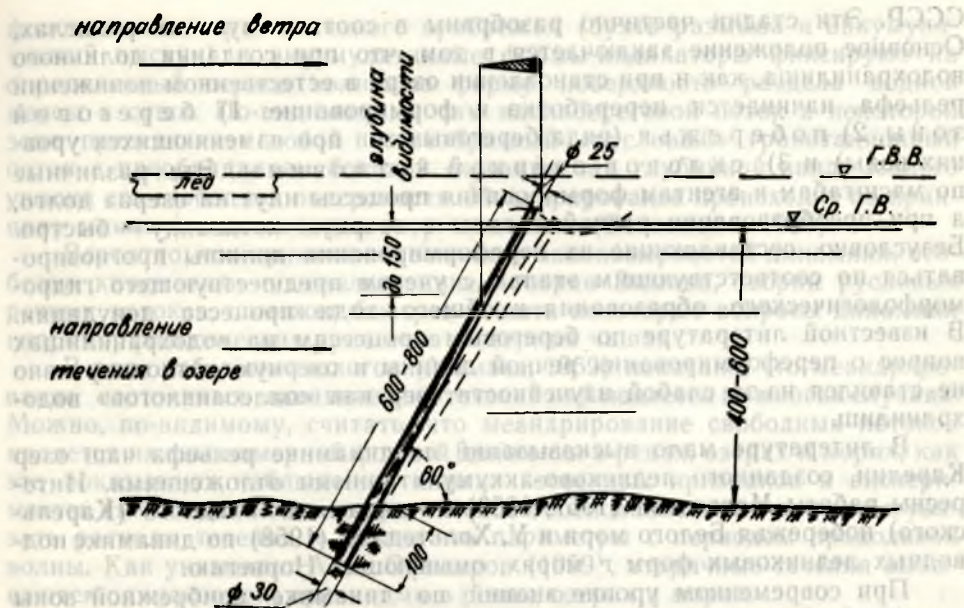


Рис. 15. Схема самоустановки бревна-«топляка» в озере (размеры в см).

«топляки» определяются по пятнышкам каплевидной формы, расширенная часть которых расположена по течению (рис. 15,верху).

Автор сознательно подробно рассматривает вопрос о «топляках», которые представляют опасность для судоходства. Из-за большого количества «топляков» на судовом ходе по водной системе Нева — Ладожское озеро — Свирь — Онежское озеро Министерство речного флота РСФСР не разрешило плавание теплохода на подводных крыльях (типа «Ракеты») на линии Ленинград — Петрозаводск. Изучив «топляки», можно разработать методы борьбы с ними. Но очевидно, что в дальнейшем сплащики не должны допускать появления «топляков».

Некоторый интерес могут представить также и наблюдения за рыбацкими сетями, которые прогибаются (образуют «пузо») под воздействием озерных течений.

Конечно, определяя течения по «топлякам» и сетям, нельзя рассчитывать на точные результаты. Речь идет о первоначальных сведениях, а также о выявлении мест, где лучше организовать необходимые инструментальные гидроморфологические наблюдения.

Расширить сбор сведений можно по анкетам с широким привлечением работающих на озерах специалистов: водолазов, сплащиков, рыбаков, а также краеведов-любителей и школьников.

Рельеф чаши озера и особенно микрорельеф (аккумулятивные образования в виде кос, пересыпей и т. д.) при внимательном исследовании поможет уточнить направления течений различного характера. По ним можно судить о мощности вдольберегового потока наносов, формирующего элементы подводного рельефа (формы-индикаторы — Зенкович, 1950; Буданов и Ионин, 1953) береговой зоны, выявить происхождение и историю развития побережья и озерной котловины.

При изучении истории развития озерных котловин Карельского региона, их отдельных частей (побережья и береговой зоны) выяснено три стадии гидроморфологических процессов, которые должны проявляться и при образовании долинных водохранилищ в других районах

СССР. Эти стадии частично разобраны в соответствующих разделах. Основное положение заключается в том, что при создании долинного водохранилища, как и при становлении озера в естественном понижении рельефа, начинается переработка и формирование: 1) береговой зоны, 2) побережья (ряда береговых зон при изменяющихся уровнях воды) и 3) склонов озерной котловины. Эти различные по масштабам и агентам формирования процессы идут на озерах долго, а при преобразовании речной долины в озерную котловину — быстро. Безусловно, составляющие их переформирования должны прогнозироваться по соответствующим этапам с учетом предшествующего гидроморфологического образования и общего хода процесса денудации. В известной литературе по береговым процессам на водохранилищах вопрос о переформировании речной долины в озерную котловину явно не ставился из-за слабой изученности озер как «палеоаналогов» водохранилищ.

В литературе мало высказываний по динамике рельефа чаш озер Карелии, созданного ледниково-аккумулятивными отложениями. Интересны работы Медведева (1957, 1959) по динамике западного (Карельского) побережья Белого моря и У. Хольтедаля (1958) по динамике подводных ледниковых форм в морях, омывающих Норвегию.

При современном уровне знаний по динамике прибрежной зоны трудно дать расчетные уравнения: недостаточно объективных инструментальных наблюдений (Лонгинов, 1958), режим потока неустановившийся. Вероятно, не следует упрощать граничные условия расчетных уравнений, ибо с применением новейшей вычислительной техники возможности решения систем дифференциальных уравнений повышаются. Для выяснения сложного взаимодействия прибойного потока и подводного рельефа следует более широко поставить водолазные наблюдения, которые с большей безопасностью могут производиться в зоне прибоя на озерах. Опыты расчета динамических явлений на моделях крупных озер (Байкал, Аральское море) и морей (Белое) показывает большую перспективность подобных экспериментальных работ по моделированию некоторых макро- и мезодинамических процессов на озерах Карелии. В. В. Лонгинов (1958), рассматривая взаимоотношения профиля и контура береговой зоны (по урезу воды), приходит к выводу, что контур береговой линии позволяет с большей надежностью экстраполировать морфологию подводного берегового склона, чем профиль, если учитывать морфологическую корреляцию рельефа. В отношении репрезентативности пространственные модели водоемов безусловно дадут лучший результат, чем плоские, в основе которых лежит профиль.

В заключение остановлюсь на некоторых общих вопросах динамики вод озера и его прибрежной зоны, речных и морских течений. «Экономия во всех процессах природы, как мертвой, так и живой, имеет всегда первостепенное значение» (Жуковский, 1948, стр. 329). Процесс развития рельефа побережья водоема под воздействием вод также происходит наиболее экономно и всякое изменение в надводной или подводной его части с неизбежностью вызывает соответствующую перестройку рельефа для достижения оптимального динамического равновесия при данных условиях.

Общезвестно положение о том, что нормальная поверхность раздела двух сред представляет собой волновую поверхность, дающую наименьшее сопротивление движению. Наблюдениями установлено, что не только русловой поток над грядами лежа, но и воздушный над взволнованной поверхностью водоема не снижает скорости движения, хотя появление «шероховатости» налицо. Вероятно, можно считать, что «мор-

фологическая пара» песчаного побережья (бухта размыва и аккумулятивный выступ) и аккумулятивные формы-индикаторы фиксируют на определенный период волновую форму поверхности раздела водной массы и суши. По-видимому, и сам вдольбереговой поток в некоторой зоне представляет собой своеобразный «русловый» гравитационный поток с преобладанием боковой «эрозии» над глубинной ввиду малого уклона его свободной поверхности. Меандрирование происходит по принципу минимума диссипации энергии потока (Великанов, 1958).

Вероятно, что применение основных закономерностей динамики, особенно кинематики с использованием теории Экмана, теории русловых речных потоков, поможет быстрее решить некоторые вопросы динамики гидроморфологических процессов в озерных чашах.

В ряде работ океанологов (Мамаев, 1959) показано, что меандрирование постоянных океанических течений наблюдается во многих случаях. Можно, по-видимому, считать, что меандрирование свободных потоков является их закономерной формой движения в реках, озерах и морях, как это показывают наблюдения, анализ косвенных признаков и эксперименты. Необходимо дать теоретическое обоснование этого явления и увязать расходы течения и другие его параметры с периодом продольной волны. Как указывает А. С. Офицеров (1959), вторичные течения вызываются одинаковыми причинами в реках, озерах и морях.

Очень важным является положение, высказанное еще С. О. Макаровым (Лабеиш, 1959) о «прилипании» морских течений к берегам. Это явление часто наблюдается на озерах со стоковым течением. Движение потока происходит в виде продольной волны, а в вершинах образуются вихри, которые тормозят поток. Разница в энергетических затратах на закругления потока, определяющая энергетический градиент, направляет поток в сторону наименьших сопротивлений. В мелководной зоне, при прочих равных условиях, вихрей меньше чем на глубине. Поток прижимается к побережью до тех пор, пока сопротивление от трения о грунт не выравнивается с энергетическим градиентом. Поток в «жидких берегах» движется на определенном расстоянии от берега или дна, которое меняется в зависимости от общего запаса его энергии.

В таком случае вдольбереговой поток, который создается волновым течением и энергией прибоя, может иногда развиваться в зоне между урезом воды и прибрежными течениями различных направлений, движущимися независимо от фронта волны и направления ветра.

Наблюдениями, опубликованными в иностранной литературе, установлено, что наибольший эффект при берегоукреплении дают сквозные бун. Нам представляется, что такая структура бун позволяет вдольбереговому потоку сохранить при меняющихся импульсах продольной волны и условиях режима оптимальную форму меандрирования. В тени за отдельными элементами этих бун аккумулируются наносы при различных углах подхода, чего не бывает при сплошных бунгах, рассчитанных на осредненный режим вдольберегового потока.

Все эти вопросы имеют большое научное и практическое значение, поэтому должны учитываться при специальных исследованиях и дискутироваться более активно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Озера Карельского региона являются исключительно своеобразными, и их котловины имеют различное происхождение. В этих условиях необходимо выделение комплексного раздела геоморфологии озер, в котором будут рассматриваться общие закономерности формирования

озерных котловин, предопределяющие ход развития всех процессов в озерах как элементах географической среды.

При комплексном изучении озер назрела необходимость тщательной проработки определений и терминологии, употребляемых в озероведении (общей лимнологии), и дальнейшего обоснования основных теоретических положений озероведения. Необходимо более глубоко рассмотреть взаимосвязь явлений, происходящих в озерах.

Генетическая классификация озерных береговых зон, предложенная автором, включает три основные группы: 1) абразионные; 2) абразионно-аккумулятивные; 3) аккумулятивные, которые при преобладании неозерных (внешних) факторов дают некоторые разновидности. Впоследствии эти береговые участки вторично изменяются динамическим воздействием озерных вод. Дальнейшая детализация генетической классификации береговых зон озер Карельского региона позволит применить эту классификацию для озер, расположенных в других физико-географических условиях. Эта классификация может послужить основой для прогноза формирования береговой зоны водоемов и их котловин в связи с широким водохозяйственным использованием в качестве водохранилищ различного назначения.

К настоящему времени наше представление о подводном рельефе озерных чаш является неполным. Последующие геоморфологические исследования озер Карелии должны производиться по новой комплексной методике при помощи легководолазного снаряжения и приборов подводного наблюдения, уже широко применяемых при морских и озерных исследованиях в других регионах. Исключительно ценные сами по себе визуальные подводные наблюдения в сочетании с точными контрольными промерами и аэрофотосъемками помогут в проверке и уточнении опыта дешифрирования батиграмм ультразвуковых эхолотов и позволяют превратить гидроакустический профилограф из чисто промерного прибора в основной при геоморфологических озерных исследованиях.

Необходимо продолжить исследования по морфометрии озер для получения точных количественных характеристик рельефа озерных котловин и некоторые их морфометрические величины увязать с расчетными формулами динамических процессов в озерах.

Основное внимание следует уделить динамике водных масс озер, определяющих динамику рельефа озерной чаши, изучению водообмена, течений и денивеляций уровня различного характера, зависящих от атмосферного воздействия на акваторию озер, и влияния подводного рельефа озерных чаш, а также прогнозу этих процессов. Поскольку имеющийся к настоящему времени материал о течениях в озерах очень мал, следует широко практиковать сбор сведений по анкетам, выявлять наиболее характерные участки для длительных гидроморфологических инструментальных наблюдений и производить эксперименты на моделях типичных озер и водохранилищ.

ЛИТЕРАТУРА

- Андрианов В. Г. Ветровая волна озеровидных водоемов. «Изв. науч.-исслед. ин-та гидротехники», 1939, № 24.
Анучин Д. Н. Воды суши. Озера. «Землеведение», т. 3, кн. 2 (приложение), 1896.
Баранов И. В. Классификация озер Кольско-Карельской лимнологической области. «Тр. Карельского отд. ВНИОРХ», вып. 7, 1958.
Барков А. С. Словарь-справочник по физической географии. М., Учпедгиз, 1948.
Берг Л. С. Аральское море. Опыт физико-географической монографии. СПб, 1908.
Бискуп Г. С. Озы Карелии. Л., Изд. АН СССР, 1955.

- Бискэ Г. С. Четвертичные отложения и геоморфология Карелии. Петрозаводск, Госиздат КАССР, 1959.
- Близняк Е. В. Водные исследования. М., Речиздат, 1952.
- Близняк Е. В. Задачи и перспективы исследования вод СССР. В сб.: Вопросы гидрологии. М., Изд. Моск. ун-та, 1957.
- Богословский Б. Б., Муравейский С. Д. Очерки по озероведению. М., Изд. Моск. ун-та, 1957.
- Буданов В. И., Ионин А. С. Некоторые формы-индикаторы динамики морских берегов. «Природа», 1953, № 5.
- Великанов М. А. Гидрология суши. М., Гидрометеониздат, 1948.
- Великанов М. А. Русловой процесс (основы теории). М., Изд-во физико-математической литературы, 1958.
- Верещагин Г. Ю. Положительное и отрицательное движение береговой линии на озере Сегозере. «Тр. Олонецкой научной экспедиции», Л., ГГИ, 1926, ч. III, вып. 1.
- Верещагин Г. Ю. Методы морфометрической характеристики озер. Там же, 1930, ч. II, вып. 1.
- Верещагин Г. Ю. Байкал. Иркутск, 1947.
- Герд С. В. Биоценозы бентоса больших озер Карелии. Петрозаводск, Госиздат КАССР, 1949.
- Григорьев А. А. Проблема взаимообмена веществ и энергии в литосфере, гидросфере и атмосфере и ее значение для общей теории физической географии. «Изв. АН СССР», серия геогр., 1952, № 4.
- Григорьев С. В. О численности озер в КФССР и их распределении. «Изв. Карело-Финск. науч.-исслед. базы АН СССР», 1947, № 1—2.
- Григорьев С. В. Водные ресурсы КФССР. Рукоп. Архив Карельского филиала АН СССР, ф. 2, оп. V, № 920.
- Григорьев С. В. Опыт гидрологической типологии озер Латвийской ССР. «Тр. Ин-та биологии АН Латв. ССР», т. VII, 1958.
- Григорьев С. В. Водоемы Карелии как энергетические водохранилища. «Тр. Карельского филиала АН СССР», вып. 18, 1959 а.
- Григорьев С. В. О некоторых показателях в озероведении. «Тр. Карельского филиала АН СССР», вып. 18, 1959.
- Григорьев С. В., Грицевская Г. Л. Каталог озер Карелии. Л., Изд. АН СССР, 1960.
- Гурина Н. Н. Результаты работ Карельской археологической экспедиции АН СССР. «Краткие сообщения о докладах и полевых исследованиях института материальной культуры», 1951, вып. 37.
- Джунковский Н. Н. Действия ветровых волн на гидротехнические сооружения. М., Стройиздат, 1940.
- Дубровин Л. И., Магарзин Ю. М., Печерин И. А. Камское водохранилище. Пермь, 1959.
- Живаго А. В. Современные геоморфологические процессы на берегах Кубенского озера и Рыбинского водохранилища. «Тр. Ин-та океанологии АН СССР», 1954, т. 10.
- Жуковский Н. Н. Обзор основных явлений естественного формирования речного русла. В сб.: Вопросы гидротехники свободных рек. М., Речиздат, 1948.
- Зайков Б. Д. Очерки по озероведению. Л., Гидрометеониздат, 1955.
- Земляков Б. Ф., Покровская И. М., Шешукова В. С. Новые данные о позднеледниковом морском балтийско-беломорском соединении. «Тр. Советской секции международной ассоциации по изучению четвертичного периода», вып. 5. М., Госгеол-издат, 1941.
- Зенкович В. П. Методы определения вертикальных движений по морфологии берегов. «Тр. совещания по методам изучения земной коры», М., Изд. АН СССР, 1948.
- Зенкович В. П. Изучение морских берегов. «Справочник путешественника и краеведа», ч. 2. М., Географиздат, 1950.
- Зенкович В. П. Эволюция акваторий лагун. «Изв. Всесоюз. геогр. о-ва», т. 84, 1952, № 5.
- Зенкович В. П. Изучение динамики морских берегов. В сб.: Вопросы географии. М.—Л., Изд. АН СССР, 1956.
- Зенкович В. П. Изучение морских берегов и основные задачи береговой секции Океанографической комиссии АН СССР. «Тр. Океанографической комиссии АН СССР», 1957, т. II.
- Зернов С. А. Общая гидробиология. М.—Л., Биомедгиз, 1934.
- Иванов П. В. Классификация озер мира по величине и по их средней глубине. «Бюлл. Ленингр. ун-та», 1949, № 21.
- Иванов К. Е. Гидрология болот. Л., Гидрометеониздат, 1953.
- Ильин И. А. Исследование вод суши (гидрографические работы). Л., Гидрометеониздат, 1953.
- Инструкция для исследования озер. Изд. Русск. геогр. о-ва, СПб, 1908.
- Калесник С. В. Основы общего землеведения. М., Учпедгиз, 1955.

Кондратьев Н. Е. Расчеты ветрового волнения и переформирования берегов водохранилищ. Л., Гидрометеиздат, 1953.

Кондратьев Н. Е., Ляпин А. Н., Попов И. В., Пиньковский С. И., Федоров Н. Н., Якунин И. И. Русловой процесс. Л., Гидрометеиздат, 1959.

Лабейш В. Г. К вопросу о динамике прибрежных течений. «Вестн. Ленингр. ун-та», серия геол. и геогр., № 6, вып. 1, 1959.

Ладохин Н. П. Некоторые особенности динамики и распределения наносов в связи с рельефом дна в прибрежной полосе юго-восточного Байкала. «Тр. Океанографической комиссии АН СССР», 1957, т. II.

Лазаревская Н. М., Попенко Л. К. Озера бассейна реки Каменной. «Тр. Карельского филиала АН СССР», вып. 18, 1959.

Леонтьев О. К. Геоморфология морских берегов и дна. М., Изд. Моск. ун-та, 1955.

Леонтьев О. К. К вопросу о классификации и геоморфологическом картировании морских берегов. «Уч. зап. Моск. ун-та», вып. 182, 1956 а.

Леонтьев О. К. О терминологии в учении о морских берегах. Изучение берегов морей и водохранилищ. «Тр. Океанографической комиссии АН СССР», 1956 б, т. 1.

Леонтьев О. К. Некоторые особенности динамики и морфологии береговой зоны северо-западного побережья Каспия. Там же, 1957, т. 2.

Лепнева С. Г. Жизнь в озерах. Жизнь пресных вод СССР. Т. 3, М., Изд. АН СССР, 1950.

Липин А. Н. Пресные воды и их жизнь. Изд. 3-е, переработ., М., Учпедгиз, 1950.

Литинская (Машканцева) К. Д. Опыт построения плана течений в водоеме (в данном выпуске).

Литинская К. Д. Уровни карельских озер в естественном и зарегулированном состоянии. Тезисы доклада на VII науч. конф. по изучению водоемов Прибалтики. Петрозаводск, 1959.

Литинский Ю. Б. Некоторые вопросы морфологии и морфометрии озер Карелии. Тезисы доклада на науч. сессии, посвященной 10-летию Карельского филиала АН СССР и итогам науч.-исслед. работ за 1955 г., Петрозаводск, Госиздат КАССР, 1956.

Литинский Ю. Б. Некоторые вопросы геоморфологии озер Карелии. Доклад на конф. молодых специалистов Карельского филиала АН СССР. Рукоп. Архив Карельского филиала АН СССР, 1958 а.

Литинский Ю. Б. Некоторые вопросы гидрологии и геоморфологии озер Карелии. Рукоп., дипломная работа. Ленинградский гидрометеорологический ин-т, кафедра инженерной гидрологии, 1958 б.

Литинский Ю. Б. Геоморфология Сямозера. В кн.: Труды Сямозерской комплексной экспедиции, т. 1, 1959 а.

Литинский Ю. Б. Генетические типы озер Карельского региона. Тезисы доклада на VII науч. конф. по изучению внутренних водоемов Прибалтики. Петрозаводск, Госиздат КАССР, 1959 б.

Лонгинов В. В. О динамике прибрежной зоны и береговой зоны в целом. «Научные сообщения Ин-та геологии и географии АН Литовской ССР», т. 7. Геология, география. Вильнюс, 1958.

Лымарев В. И. Типы берегов Аральского моря. «Тр. Океанографической комиссии АН СССР», 1957, т. 2.

Малявкин А. Н. Подземное питание рек КФССР. Рукоп., ф. Петрозаводского ун-та, 1953.

Мамаев О. И. Меандрирование течений и океанический циклогенез. «Вестн. Моск. ун-та», № 1. Серия биол., почвовед., геол., геогр., 1959.

Машканцева (Литинская) К. Д. Озеро Энгозеро. Рукоп. Архив Карельского филиала АН СССР, ф. 2, оп. V, № 720.

Машканцева К. Д. Гидрографический очерк озер Шотозера и Вагатозера. В кн.: Труды Сямозерской комплексной экспедиции, т. 1, 1959.

Медведев В. С. Очерк динамики и морфологии западных берегов Белого моря. «Тр. Океанографической комиссии АН СССР», 1957, т. 2.

Медведев В. С. Остаточные формы размыва рыхлых отложений на берегах Белого моря. «Изв. АН СССР», серия геогр. № 3. 1959.

Молчанов И. В. Ладожское озеро, Л., Гидрометеиздат, 1945.

Молчанов И. В. Онежское озеро. Л., Гидрометеиздат, 1946.

Муравейский С. Д. Очерки по теории и методам морфометрии озер. «Вопросы географии». М., Географгиз, 1948, № 7.

Нагель А. А. Морфологическая характеристика некоторых озер Северо-Западной области. Труды II Гидрологического съезда, ч. 2, основные доклады. Л., ГГИ, 1929.

Николаев Н. И. Новейшая тектоника СССР. М.—Л., Изд. АН СССР, 1949.

Огиевский А. В. Гидрология суши. М., Сельхозиздат, 1951.

Офицеров А. С. Вторичные течения. М., Изд-во лит-ры по стр. арх. и стр. мат. 1959.

- Первухин М. А. О генетической классификации озерных ванн. «Земледелие», 1937, № 6.
- Перфильев Б. В. Изучение заиления водоемов и абсолютная геохронология. «Изв. Всесоюз. геогр. о-ва», т. 84, 1952, № 4.
- Пиотровский В. Ф., Дитмар Б. П. К лимнологии Петрозаводского уезда Олонецкой губернии. «Изв. русского геогр. о-ва», т. 48, вып. I, СПб. 1912.
- Половинкин А. А. Основы общего землеведения. М., Учпедгиз, 1958.
- Попенко Л. К. Озеро Тикшозеро. «Тр. Карельского филиала АН СССР». 1959, вып. 18.
- Попова Т. Н. К вопросу о закономерности размещения озер на территории Восточно-Европейской равнины и Кольско-Карельского массива. «Тр. Моск. ин-та инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии», 1958, вып. 32.
- Предтеченский Н. П. Морфологические типы озер Карелии. Рукоп. Архив ГГИ, Л., 1935.
- Пышкин Б. А. Вопросы динамики берегов водохранилищ. Киев, 1954.
- Раша Д. Н. Изучение и расчет перестроения берегов озерной части водохранилищ. Л., Ленгипроречтранс, 1958.
- Ренквист Х. Внутренние воды. Финляндия. Географический сборник (перевод с финского). М., Изд-во иностр. лит-ры, 1953.
- Рихтер Г. Д., Каманин Л. Г. Сравнительная морфологическая характеристика щитов на территории СССР. В сб.: Вопросы географии, М.—Л., Изд. АН СССР, 1956.
- Россолимо Л. Л. Основы гидрологии. М., Снабтехиздат, 1935.
- Россолимо Л. Л. Очерки по географии внутренних вод. М., Учпедгиз, 1953.
- Самойлов И. В. Устья рек. М., Географгиз, 1952.
- Самойлов И. В. Втеkanie речного потока в водоем. В сб.: Вопросы гидрологии. М., Изд. Моск. ун-та, 1957.
- Семенович Н. И. Комплексное изучение озер. Справочник путешественника и краеведа. Ч. 2. М., Географгиз, 1950.
- Семенович Н. И. Лимнологические условия накопления железистых осадков в озерах. «Тр. Лаборатории озероведения АН СССР», 1958, т. 6.
- Сборник определений основных гидрологических терминов и понятий (ГГИ). Л., Гидрометеониздат, 1957.
- Советов С. А. Онежское озеро (опыт физико-географической монографии). Пг., 1917.
- Советов С. А. Общая гидрология. М., Гл. ред. геол.-развед. и геодез. лит-ры, 1935.
- Страхов Н. М., Бродская Н. Г., Князева М. Н. и др. Образование осадков в современных водоемах. М., Изд. АН СССР, 1954.
- Страхов Н. М. О значении современных озерных и лагунных водоемов для познания процессов осадкообразования. «Изв. АН СССР», серия геол., № 1, 1945.
- Удинцев Г. Б. О дешифрировании эхограмм. «Тр. Ин-та океанологии АН СССР», 1956, т. 19.
- Форель Ф. А. Руководство по озероведению (общая лимнология). СПб, 1912.
- Фрейндлинг В. А. Гидрологическая характеристика озер Миккельского и Крошозера. «Тр. Карельского филиала АН СССР», 1956, вып. II.
- Фрейндлинг В. А. Гидрологические условия Сямозера. В кн.: Труды Сямозерской комплексной экспедиции, т. I, 1959.
- Фрейндлинг В. А. Гидрологическая характеристика некоторых малых озер южной Карелии (в данном выпуске).
- Харкевич Н. С. Материалы по малым лесным озерам (ламбам) Карелии (в данном выпуске).
- Хольтедаль У. Геология Норвегии (перевод с норвежского В. А. Ханкиса под ред. Т. М. Никулиной и Е. В. Шанцера). Т. 2, М., Изд-во иностр. лит-ры, 1958.
- Хортон Р. Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. Гидрофизический подход к количественной морфологии (перевод с англ.). М., Изд-во иностр. лит-ры, 1948.
- Шукин И. С. Опыт генетической классификации форм рельефа. В сб.: Вопросы географии, вып. I, М., Изд. Моск. ун-та, 1946.
- Halbfax W. Die Seen der Erde. Gotha, 1922.
- Melin R. Replis to the questionnaire to Point 2-th the programma of the V Hydrological Conference of the Baltic States. Repl. 29 (Sweden). Helsingfors, 1936.