

П-149

КАРЕЛЬСКИЙ ФИЛИАЛ АКАДЕМИИ НАУК СССР

**МАТЕРИАЛЫ
ПО ГИДРОЛОГИИ
(ЛИМНОЛОГИИ)
КАРЕЛИИ**

3

ОЗЕРА-ВОДОХРАНИЛИЩА

31

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
КАРЕЛЬСКОЙ АССР
ПЕТРОЗАВОДСК
1961

МАТЕРИАЛЫ
ПО ГИДРОЛОГИИ
(ЛИМНОЛОГИИ)
КАРЕЛИИ

3

ОЗЕРА-ВОДОХРАНИЛИЩА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
КАРЕЛЬСКОЙ АССР
ПЕТРОЗАВОДСК
1961

Научный редактор заслуженный деятель науки
Карельской АССР С. В. ГРИГОРЬЕВ

С. В. ГРИГОРЬЕВ

РЕДКИЙ ПРИМЕР МНОГОКРАТНОЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОЗЕР-ВОДОХРАНИЛИЩ

Хозяйственная деятельность советских людей оказывает большое влияние на переделку природы. Во многих случаях это относится к водоемам. Примеры перестройки природы водоемов можно найти среди карельских озер. Широкое развитие гидроэнергетического строительства в КАССР и Мурманской области связано с использованием крупных озер в качестве водохранилищ. Первенцем среди больших энергетических водохранилищ в Карелии и на Кольском п-ове является Сандальское. Оно образовано в 1928 г. из крупнейшего в бассейне р. Суны оз. Сандаля для регулирования первой значительной гидростанции в КАССР—Кондопожской ГЭС. Это водохранилище интересно тем, что за 30 лет в процессе эксплуатации оно претерпело несколько изменений, вызывавших каждый раз гидрологическую трансформацию его как водоема. Несколько позднее такую же роль стало играть другое большое озеро того же Сунского бассейна—Палье (или Пальезеро, часто по-старому называемое Пялозеро), тесно связанное гидрологически с оз. Сандаля (рис. 1). Палье также прошло несколько стадий трансформации. Этому редкому примеру многократной трансформации водоемов и посвящается настоящая статья.

I-а. Оз. Сандаля в его естественном состоянии до 1928 г. представляло глубокий водоем площадью $158,1 \text{ км}^2$ ($150,12 \text{ км}^2$ — площадь зеркала)¹. Озеро олиготрофного типа и замыкало собою водосбор р. Нивки-Тивдийки (из Пальезера) площадью 1017 км^2 . Оно давало начало р. Сандалке, вытекающей из юго-западной губы озера (Сопохской). Этой речкой сток бассейна оз. Сандаля поступал в р. Н. Суну (в 20 км от ее устья).

Оз. Сандаля продолговатой формы с лопастным расчленением в южной части. Западная лопасть этой части водоема носит название Сандальской губы. Озеро имеет наибольшую длину $41,7 \text{ км}$, ширину (в средней части) до $7,3 \text{ км}$, глубину, по исследованиям ОНЭ Государственного гидрологического института (ГГИ), в 51 м^* (при средней 10 м) и объем 1852 млн. м^3 .

¹ По данным Олонецкой научной экспедиции (ОНЭ) Российского гидрологического института 1920 г. (Ремезова, 1928); $167,9 \text{ км}^2$ по съемке партии Министерства путей сообщения по исследованию р. Суны в 1911—1912 гг. (Шымбаленко, 1918); $152,4 \text{ км}^2$ — площадь зеркала по „Каталогу озер Карелии“ (Григорьев, Грицевская, 1959).

* 54 м по данным 1954 г. аспирантки отдела гидрологии Карельского филиала АН СССР Г. Л. Грицевской и 58 м по исследованиям 1949, 1954 гг. Карельского отделения ВНИОРХа (Гуляева, 1959). В данной статье приняты цифры ОНЭ, чтобы не осложнять расчетов поправками, не влияющими на принципиальный характер выводов.

п40481
Центральная научная
библиотека
Академии наук Кировской ССР

При указанной площади зеркала и водосбора удельный водосбор Сандаля равен $6,7 \text{ км}^2$ (на 1 км^2 зеркала), т. е. Сандаля относится к группе водоемов малого удельного водосбора.

Среднегодовой модуль стока бассейна определен в $9,6 \text{ л/сек}$ и объем среднегодового притока в озеро в 308 млн. м^3 , т. е. слой годового притока составляет 1 м .

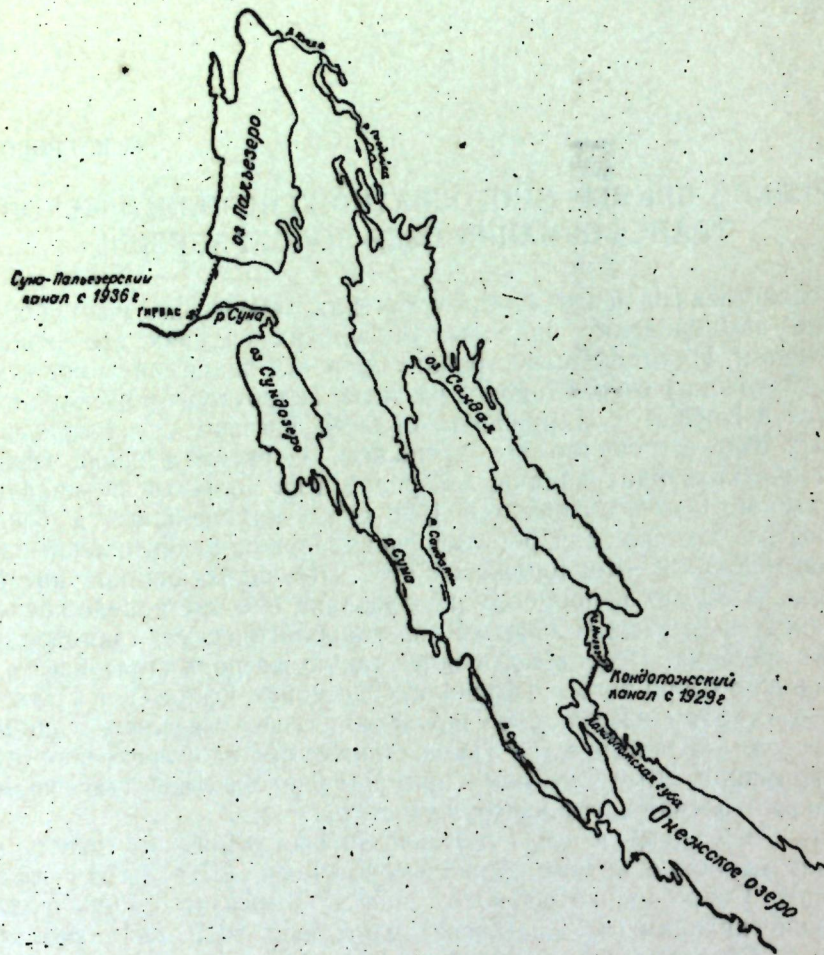


Рис. 1. Система р. Нижней Суны.

Соответственно малому удельному водосбору Сандаля и слою притока средняя годовая амплитуда колебания его уровня (за 13 полных лет наблюдений на водомерном посту в д. Сопохе) была 42 см при крайнем пределе в 105 см . Следовательно, высота этой среднегодовой амплитуды достигала 40% высоты слоя притока в озеро, а максимальная амплитуда оказалась равной ей.

Показатель условной сменности объема воды оз. Сандаля или отношения объема среднегодового стока из озера к его полному объему составлял $0,17 \left(\frac{308}{1852} \right)$. В этом естественном состоянии озера весь сток его бассейна направлялся сначала вдоль главной оси водоема — от устья р. Тивдийки, затем в Сопохский залив, к истоку р. Сандаля. Юго-восточная часть Сандаля являлась тупиком, не имевшим стока. Можно

считать, что объем воды этой части водоема почти не участвовал в общем водообмене. Этот участок озера к тому же лишен притоков (рис. 2, а).

Объем этой тупиковой части составляет примерно около трети всего объема Сандаля, поэтому можно уверенно считать, что действительный показатель условного водообмена для этой стадии озера

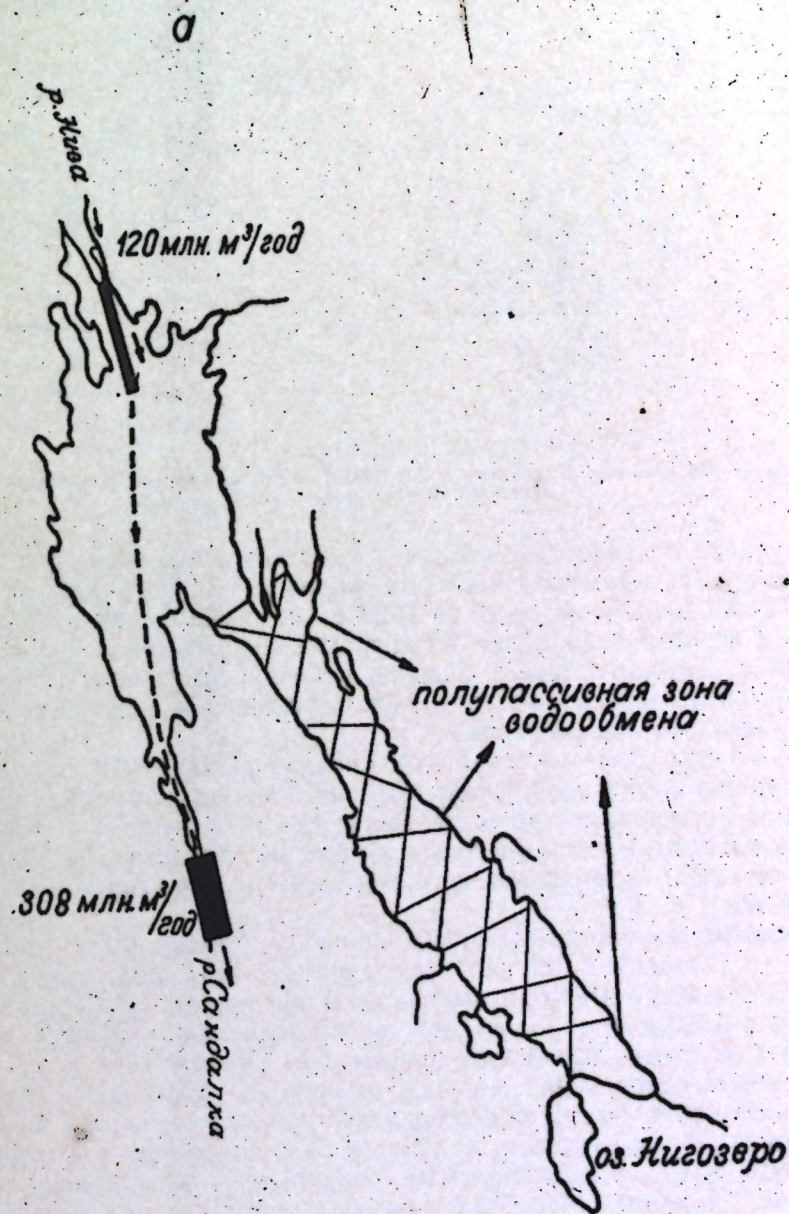


Рис. 2. Оз. Сандаля

а — естественное состояние водоема (до 1929 г.).

был в полтора раза больше выведенного, т. е. около $0,25$. Иначе говоря; понадобилось бы около четырех полных лет, чтобы сменить весь объем озера, в условном допущении, что он полностью принимает участие в таком обмене.

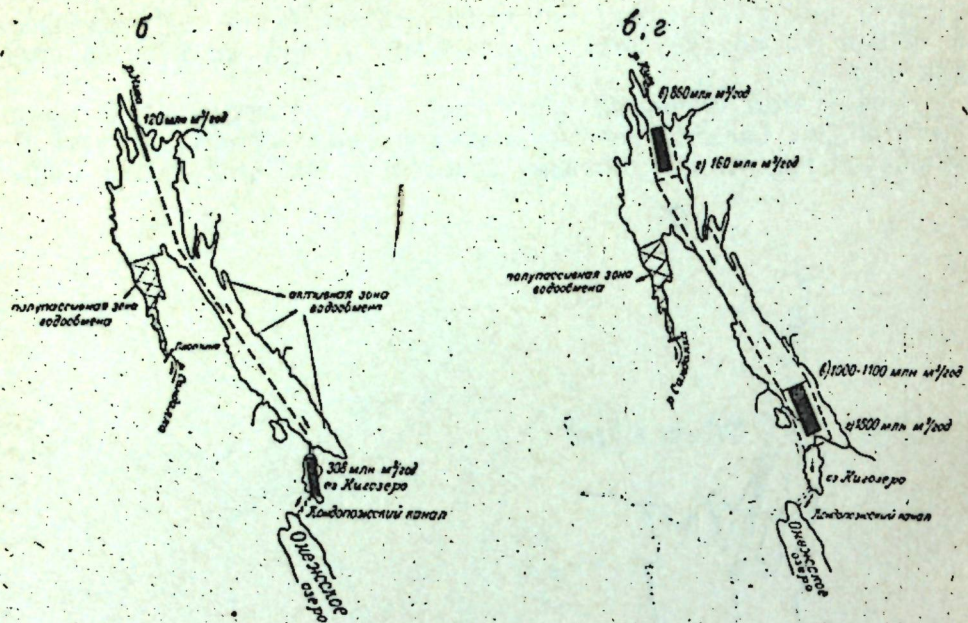


Рис. 2. Оз. Сандал

б — состояние в 1929—1936 гг.; б.г — состояние в 1937—1941 гг. (частичный переток суонских вод); г — состояние в 1947—1949 гг. (современное).

В южной части Сандал соединен коротким старинным Нигозерским каналом с небольшим оз. Нигозером [площадь 6,0 (5,99) км², по „Каталогу озер Карелии“], которое до 1929 г. не имело стока. Канал был построен во второй половине XVIII в. для подвоза водой белогорского мрамора с северного берега Сандала к Онежскому озеру (с перевалкой через Нигозерско-Кондопожский перешеек) и дальнейшей транспортировки его в Петербург.

Оз. Сандал было исследовано сначала (1911—1912 гг.) партией Министерства путей сообщений, которая произвела съемку р. Суны и озер ее бассейна, в том числе Пальезера и Сандала и р. Сандалки. Наиболее ценными остались гидрологические материалы наблюдений на постоянных водомерных постах (с 1911 г.) и гидрометрических станций на р. Суне.

Широкие комплексные исследования оз. Сандал были проведены в 1920 г. Олонецкой научной экспедицией ГГИ под руководством Г. Ю. Верещагина. Работам этой экспедиции мы обязаны знанием морфологии и биологии водоема. Эти же исследования показали невысокое качество топографической съемки оз. Сандал 1911 г. и внесли значительные исправления в план озера. По удельному водосбору и условному водообмену на стадии естественного состояния оз. Сандал относилось к немногочисленной группе озер Карелии; у которых эти показатели малы, т. е. к водоемам автохтонного типа режима с незначительным влиянием бассейна водоема на его режим и гидрологические черты.

По характеру проточности оз. Сандал относилось к водоемам с продольноосевой проточностью, но асимметричной (рис. 2, а). Применяя предложенную нами терминологию (Григорьев, 1958), можно считать северную часть Сандала (до створа входа в Сопохскую губу) и самую Сопохскую губу зоной „активного“, а юго-восточную — „пассивного“ водообмена.

По исследованиям ОНЭ, прозрачность воды оз. Сандал летом 1920 г. колебалась в пределах 6,9—9,3 м (по кругу Секки). Цвет воды был серо-сине-зеленый. Вода не содержала гуминовых веществ. Конечно, гидрохимические работы 1920 г. были еще слишком элементарны и не давали полной характеристики водоема. Судить о нем на стадии естественного состояния помогают косвенные данные — озера-аналоги Сандала. Ими могут служить небольшие водоемы на северном побережье Сандала: Рандозеро, Логиламба, Солваламба, в исторически недавнее время составлявшие с Сандалом одно целое (рис. 3). Такими же реликтами прежнего Сандала можно считать полуотчлененные заливы того же северного берега этого водоема (например, Викшаламба), лежащие в стороне от главного потока приточных вод, поступавших и поступающих в Сандал р. Тивдийкой. Это было проверено в 1954 г. аспиранткой Карельского филиала АН СССР гидрологом Г. Л. Грицевской (1958).

По исследованиям Г. Л. Грицевской, воды названных озер были бесцветны, не содержали гуминовых веществ, имели большую прозрачность (5—9 м). Величина минерализации залива Викшаламба определена ею в 62 мг/л. Соли железа в этом заливе не обнаружены. По гидрологическим исследованиям Л. И. Перцевой (Карельское отделение ВНИОРХа) в том же 1954 г., биомасса зоопланктона Викшаламбы оценена в 3,55 г/м³, а биомасса бентоса в 8,8 кг/га. Все эти показатели Викшаламбы как реликта Сандала можно, по мнению названных исследователей, относить почти полностью к Сандалу времени его жизни до 1928 г., за исключением, вероятно, минерализации, повышенной вследствие влияния близкого к этому водоему участка осадочных пород — мраморовидных известняков.

Ихтиофауна оз. Сандал, по анкетным данным 1913 г., собранным Олонецким земством¹, была представлена десятью породами рыб, в том числе лососем, форелью, хариусом, сигом, ряпушкой, корюшкой.

1-б. С оз. Сандал соединен другой крупный водоем — оз. Палье (рис. 1). Оно выпускает р. Нивку-Тивдийку, впадающую с севера в оз. Сандал. Подобно Сандалу, Пальезеро в естественном состоянии принадлежало к автохтонному типу олиготрофных водоемов. Его площадь 106,8 км²; площадь зеркала 100,2 км². Максимальная глубина Пальезера еще больше — 74 м, средняя — около 15 м. Полный объем озера приблизительно оценивается нами в 1600 млн. м³. Оно замыкает собою бассейн в 381 км². Отсюда удельный водосбор озера 3,8 км²/1 км² зеркала; т. е. в полтора с лишним раза меньше, чем у Сандала. Объем

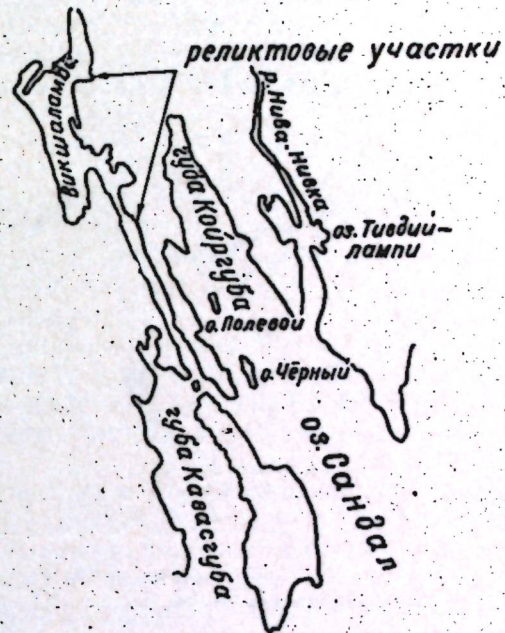


Рис. 3. Северная часть оз. Сандал.

¹ Естественные и экономические условия рыболовного промысла в Олонецкой губернии. Петрозаводск, изд. Олон. губ. земства, 1915.

годового притока — стока Пальезера с его водосбора — в „средний“ год определяется в 120 млн. м³. Показатель условного водообмена водоема 0,08. По этим двум очень низким показателям $\Delta F_{уд. вод.} \leq 5 км^2$ и $\Gamma_{вод.} < 0,10 оз.$ Палье относится к группе редких водоемов Карелии. Гидрохимические и гидрофизические черты Пальезера и оз. Сандаля были весьма сходны. Озеро принимает несколько небольших речек и ручьев, рассеянных довольно равномерно по берегам. Поэтому можно говорить о кольцевой приточности (или близкой к ней) и о неопределенно сложном типе проточности в этом водоеме. Такая приточность и проточность Пальезера отличает его от „старого“ Сандаля. В Пальезере трудно выделить зоны „активного водообмена“ и „пассивную“ (рис. 1 и 4 а). Сток идет р. Нивкой-Тивдийкой из юго-восточного конца озера.

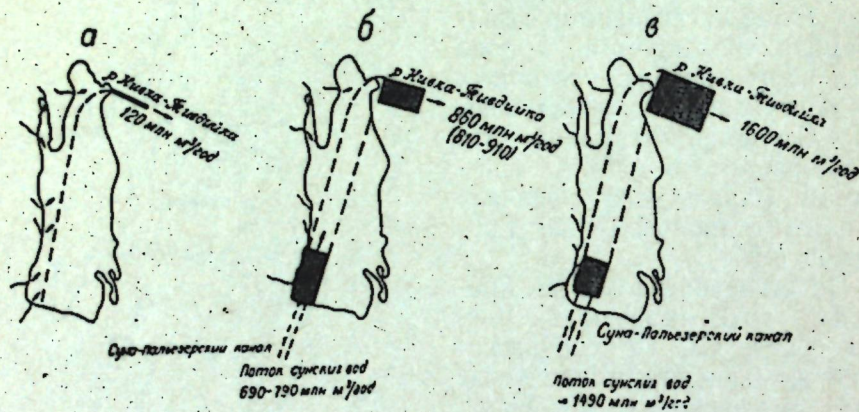


Рис. 4. Оз. Палье

а — естественное состояние водоема (до 1936—1937 гг.); б — состояние в 1937—1941 гг.; в — состояние в 1947—1949 гг. и современное.

Оз. Палье исследовано в 1920 г. отрядом ОНЭ под руководством П. Ф. Домрачева. Домрачев (1929) сделал указанное нами морфологическое описание и дал рыбохозяйственные характеристики озера. Он определяет оз. Палье как глубокий, холодноводный водоем с широким распространением в нем ценных лососевых, например, палы, давшей имя озеру. По анкетам Олонецкого губернского земства, было установлено бытование в Пальезере 12 пород рыб. Среди них в уловах были: ценные: палья, лосось, харнус, сиг, ряпушка, корюшка. Особенно славилось озеро своей пальей.

Естественное состояние Пальезера характеризуется малой годовой амплитудой колебания уровня [по наблюдениям постоянного водомерного поста в д. Карташи за 5 лет (1929—1934, с перерывом в 1933 г.)]. Средняя амплитуда изменения уровня составила 31 см, с колебаниями в отдельные годы от 21 до 40 см. 1935 г., стоящий по многоводности особняком, дал повышенную амплитуду еще „естественного“ Пальезера (65 см), подняв и среднюю годовую за 1929—1935 гг. до 37 см. По нашим давним анализам этой характеристики для ряда водоемов Карелии, такая средняя амплитуда типична для озер с удельным водосбором 5—8 км²/1 км² их зеркала.

II-а. После сооружения в 1926—1927 гг. в истоке р. Сандаля плотины у д. Сопохи, а затем Кондопожского канала с ГЭС к 1929 г. весь сток Сандальского бассейна направился уже к южному концу озера. Сопохский залив, закрытый плотиной, превратился в полузамкнутый

участок, „гидрологический тупик“, почти не участвующий в водообмене (рис. 2, б). По проекту предполагалось поднять горизонт озера на 2,5 м (до 64,05 м) и сбрасывать до 62,5 м. Получаемый в этом случае объем в 435 млн. м³, составляя 140% от объема среднегодового притока стока бассейна озера (308 млн. м³), мог обеспечить полное многолетнее регулирование.

Однако участок суши, огибающий оз. Ниго, соединенное каналом с оз. Сандаля, не позволял поднять полный подпор Ниго и Сандаля. Ограничились подпором до отметки 63,0. Объем регулирования при этом уменьшался до 300 млн. м³ (100% объема среднегодового стока). Это обеспечивало годовое и многолетнее регулирование.

Какие же изменения внесены в характер „нового“ Сандаля за этот этап — первый этап как озера-водохранилища?

1. Незначительные морфологические: подпор озера на 1,5 м мало увеличил его площадь (на несколько процентов) и контуры; наибольшая глубина изменилась с 51 до 52,5 м (на 3%), полный объем озера увеличился до 1,86+0,240=2,10 млрд. м³ (на 13%).

2. Удельный водосбор не изменился, показатель условного водообмена уменьшился незначительно — с 0,17 до 0,14 — за счет увеличения полного объема „нового“ Сандаля.

3. Сохранился тип проточности (продольно-осевой), но ось проточности несколько сместилась к востоку в южной половине водоема; при этом западная часть ее — Сопохская губа — превратилась из зоны активного водообмена в зону пассивную, а восточная часть из пассивной — в активную (рис. 2, б).

4. Новый режим регулирования озера как водохранилища внес коренное изменение в режим уровня: многолетнее регулирование потребовало широкой сработки озера-водохранилища, значительно увеличилась средняя годовая амплитуда колебания уровня.

II-б. Первый этап формирования и первых лет работы Сандальского водохранилища (с 1927 по 1936 г.) никак не сказался на Пальезере. Для него до конца 1936 г. сохранялся естественный гидрологический режим.

Как известно, первая очередь сооружения Кондопожской ГЭС завершилась установкой на ней двух турбогенераторов мощностью около 8 тыс. квт. Сток же бассейна оз. Сандаля обеспечивал менее половины этой мощности. Поэтому сразу после пуска ГЭС были начаты работы по увеличению ее мощности при тех же агрегатах путем перепуска части вод р. Суны. Для этого к 1936 г. была построена так называемая Гирвасская плотина на р. Суне и прорыт канал от Суны в оз. Палье. Канал был сооружен с расчетом на перепуск после расширения ГЭС и установки дополнительных турбин до 100 м³/сек воды. Эти работы второй очереди Кондопожской ГЭС были закончены в 1936 г. С осени этого года был начат пропуск сунских вод в систему оз. Палье — Сандаля в объеме около 22—25 м³/сек, или 690—790 млн. м³ в год.

III-а. С конца 1936 г. началась первая стадия трансформации Пальезера. Приток в него увеличивается до 4 + (22—25) = 26—29 м³/сек, или до 120 + (690—790) = 810—910 млн. м³ в „средний“ год, т.е. в 6,7—7,6, или в среднем в 7 раз (рис. 4 б.). Иначе говоря, водосбор Пальезера увеличился почти в 7 раз — с 380 до 2640 км². Следовательно, как бы увеличился и удельный водосбор этого водоема — с 3,8 до 26—27 км². Соответственно ему должна была измениться (уменьшиться) естественная аккумуляционная способность водоема. Ее выражением является величина среднегодовой амплитуды колебания уровня. Действительно, в первый же год наблюдали возрастание годовой амплитуды до 102 см,

а за 5 лет наблюдений (1936—1940 гг. на названном выше водомерном посту Карташи) средняя амплитуда увеличилась до 117 см, т. е. почти в четыре раза против прежнего в „естественном“ Пальезере. За отдельные годы годовая амплитуда изменялась в пределах 102—139 см. Стали изменяться и другие показатели „нового“ Пальезера. Его объем фактически остался прежним, но в 6,7—7,6 раз увеличился объем среднего годового притока в озеро. Соответственно возрос показатель условного водообмена озера — с 0,08 до 0,54—0,60. Водоем переходит к иному типу.

Изменяется и характер приточности и тип проточности оз. Палье. Приток вод его собственного водосбора в объеме 120 млн. м³ происходит по периферии озера, имеет по-прежнему кольцевой характер. Новый дополнительный приток собственно сунских вод, в 5,5 раза больший (690—790 млн. м³), поступает в юго-западный конец водоема, чтобы, слившись с кольцевым притоком собственных вод Пальезера, вытекать из северо-восточного конца водоема. Таким образом, на этом этапе намечился переход к продольно-осевой проточности (рис. 4, б).

Перепуск сунских вод в указанном объеме очень мало сказался на изменении морфометрических характеристик: средний уровень озера повысился незначительно, а с ним и площадь и глубины. Гораздо ощутимее должно было сказаться влияние мощного потока сунских вод на гидрохимические черты Пальезера. К сожалению, химизм вод этого водоема не исследовался как до 1936 г., так и за время первой стадии гидрологической трансформации. В суждении о последней нам может помочь некоторый анализ других данных.

На оз. Палье в его естественном состоянии можно перенести черты естественного Сандала или черты озер-реликтов его северного побережья: большую прозрачность (не менее 5—6 м), малую минерализацию, бедность биогенного состава.

Воды р. Суны выше Гирваса в последние десятилетия (если не столетия) практически не изменились. Здесь не произошло каких-либо процессов, повлиявших на изменение химизма вод верхнего и среднего течения р. Суны в виде спуска сточных вод промышленности, отвода стока крупных осушительных систем или очень резкого увеличения объема лесосплава. Поэтому можно воспользоваться результатами анализа вод р. Суны выше Гирваса, проведенного в 1954 г. (Грицевская, 1958) и отнести эти характеристики к водам Суны, поступившим в озеро Палье и Сандал с 1936—1937 гг. Это гуминовые воды светло- или слегка темно-коричневой окраски, малой прозрачности, повышенной цветности и прочими показателями, свойственными им (в питании верхней Суны большое участие принимают болота).

	Суна у входа в Пионер-канал (выше Гирваса)	р. Нивка в истоке оз. Палье	Сандал
Цветность	128°	68°	50°
Железо (Fe ⁺⁺ + Fe ⁺⁺⁺)	— 0,56 мг/л	0,21 мг/л	0,14 мг/л

Естественно, что поступление в оз. Палье сунских вод в объеме, в шесть раз большем по сравнению с объемом притока вод собственного бассейна этого водоема, должно было повлиять подавляюще на его гидрохимические показатели. Можно полагать, что этот процесс проходил не так быстро; собственно сунские воды проходили локализованным потоком ограниченной ширины, может быть, в сотни метров

с глубиной 10—15 м. В этом нас убеждают результаты исследований, проведенных отделом гидрологии Карельского филиала АН СССР на Петрозаводском заливе Онежского озера в 1952—1953 гг. (К. Д. Машканцева, П. Г. Лобза). Здесь мощный поток вод р. Шуи (в „средний“ год около 3 млрд. м³), впадающий в северо-западный конец этого залива, течет, как оказалось, на первых нескольких километрах струей шириной 700—800 м (не более 1 км весной) и глубиной до 10—15 м, подобно подлинной реке в жидких берегах. Поток шуйских вод увеличивает или уменьшает свое живое сечение то расширяясь и несколько углубляясь, то суживаясь и сохраняя немного меньшую глубину. Это зависит от колебания расхода воды р. Шуи в течение года. Ниже „дна“ шуйского потока и за пределами его полосы уже наблюдаются воды самого Онежского озера, которые по своим химическим характеристикам (содержание железа, цветность и т. д.) отличаются от вод р. Шуи. Это обнаружено проделанными гидрохимическими разрезами. И лишь через 8—10 км этот поток, быстро расширяясь, сливается с водами Онежского озера и теряет свои заметные отличия. К тем же выводам привели гидродинамические расчеты движения шуйского потока, произведенные по методу Н. М. Бернадского (К. Д. Машканцева при консультации проф. Б. В. Проскурякова). Описываемый поток прижимается к западному берегу залива. Следует указать, что притоки самого Петрозаводского залива по своей относительной незначительности (менее 1%) по сравнению с объемом поступающих шуйских вод не оказывают влияния на изложенную принципиальную схему стоковых течений в заливе.

По аналогии с примером схемы проточных вод р. Шуи в Петрозаводской губе Онежского озера можно принять, что поток сунских вод направляется по Пальезеру от юго-западного конца озера к истоку р. Нивки из него на восточном берегу, как это показано на рис. 4, б. При этом он по закону Корнолиса должен несколько отжиматься к западному берегу. Дрейфовые течения ветрового происхождения должны расширять эту полосу сунских вод и, может быть, углублять ее. Кроме того, довольно равномерно распределенные небольшие притоки с объемом вод, составляющим не менее 10—15% объема сунских вод, должны содействовать медленному расширению зоны воздействия последних. Можно допустить, что к концу 1941 г. (начало новой стадии в жизни обоих водоемов) процесс трансформации Пальезера еще не успел захватить всего водоема.

III-б. Третья стадия в жизни Сандала как озера и вторая как водохранилища (с 1936 г.) внесли значительно большие изменения. Морфологические элементы — площадь, максимальная глубина и, следовательно, объем — практически не претерпели изменений при сохранении того же подпорного уровня, что и в 1928—1935 гг. Изменяется объем среднегодового притока с 310 млн. м³ до 310 + (690 — 790) = 1000 — 1100 млн. м³, а отсюда и показатель условного водообмена — с 0,17 до $\frac{1000-1100}{1860+300} = 0,46 - 0,51$, т. е. возрос в 3 раза. Тип проточности (продольно-осевой) сохранился; сохранилось и пассивное по водообмену состояние Сопохской губы. Гораздо энергичнее обозначился водообмен (точнее, сменность объема за счет притока) южной проточной части оз. Сандал. Можно утверждать, что для этой части водоема его местный или частный показатель водообмена стал не менее 0,7—0,8. Иным должен был стать режим колебания уровня Сандала, что связано с изменением характера регулирования. Полезный объем регулирования Сандальского водохранилища остался прежним — около 250—300 млн. м³.

Объем среднего годового притока увеличился до 1000—1100 млн. м³. Следовательно, коэффициент регулирования (показатель водохранилища) уменьшился со 100% (или 1,0) до $\frac{300}{1000-1100} \approx 0,3 - 0,27$. Такой коэффициент обозначает, что в данном водохранилище в новых условиях возможно лишь годовое или частично неполное многолетнее регулирование. Иначе говоря, полезный возможный (проектный) объем водохранилища должен был ежегодно сбрасываться и вновь наполняться. Поэтому и полная сработка водохранилища с повторным восстановлением предельного уровня в заданных проектом пределах происходила ежегодно.

Внесение в олиготрофное оз. Сандау указанного выше большого объема сунских вод, также как в Пальезеро вод иного химического типа, начало новую трансформацию этого водоема, не только гидрологическую, но и гидрохимическую. К Сандау можно отнести все сказанное выше о трансформации Пальезера на эту стадию. Как и в Пальезере, в Сандау возникает новый для озера поток сунских вод. Но направление этого потока делается более определенным, совпадая с направлением большей оси Сандау. Как и на предшествующей стадии жизни этого озера-водохранилища, его западный залив — Сопохский остается полузамкнутым тупиком, участком, пассивным по водообмену. По-видимому, в оз. Сандау процесс подавления олиготрофности сунскими водами происходил быстрее, чем в Пальезере. Особенно это относится к южной, суженной части оз. Сандау (рис. 2, в).

IV. Годы Великой Отечественной войны в Карелии (1941—1944) определили для Пальезера и оз. Сандау новую стадию их гидрологического бытия. Для Пальезера она была третьей, а для оз. Сандау четвертой.

В связи с приближением фронта военных действий Кондопожская ГЭС была демонтирована. Район рассматриваемых озер был временно оккупирован врагом. Гирвасская плотина, построенная к 1936 г. как плотина временного типа, была открыта оккупантами, а верхний бьеф спущен. Отступая, оккупанты разрушили верхнюю часть плотины. В результате была взломана и маленькая плотина, запиравшая исток р. Сандау из оз. Сандау. Прекратилось поступление сунского стока в Суна-Пальезерский канал. В период 1942—1944 гг. (немного дольше, до восстановления Гирвасской плотины) озера Палье и Сандау стали возвращаться к естественному состоянию. При отсутствии гидрохимических исследований для этого короткого периода (около трех-пяти лет) затруднительно установить, как далеко зашел процесс гидрологической реконструкции этих водоемов. Можно лишь предполагать, что полное восстановление естественного состояния Сандау (до 1927—1928 гг.) и Пальезера (до 1936 г.) не завершилось полностью, а только приблизилось к нему.

V. Этот четвертый период в действительности закончился лишь к осени 1947 г., когда завершилось восстановление Кондопожской ГЭС и ее сооружений. К этому времени мощность ГЭС была доведена до 20 тыс. квт, а несколько позднее (в конце 1948 г.) до полной проектной мощности. В таком виде гидростанция стала потреблять до 115 м³/сек воды (в часы суточного пика нагрузки).

Перестроенная Гирвасская плотина на р. Суне несколько подняла подпорный уровень ее и направила в Суно-Пальезерский канал и в оз. Палье до 100—120 м³/сек воды. Это было необходимо во время весеннего паводка на р. Суне, чтобы ускоренно проводить наполнение Пальезера и Сандаульского водохранилища. По существующей схеме

сооружений теоретически возможно почти весь годовой сток р. Суны ее бассейна, площадью 5700 км², что выше Гирвасской плотины, направлять через оз. Палье в Сандаульское озеро-водохранилище для Кондопожской ГЭС. В этом случае объем стока в оз. Палье за „средний“ год мог бы достигнуть 1780 + 120 = 1900 млн. м³, а годовой приток в оз. Сандау увеличивался до 2200 млн. м³.

Фактически сток несколько меньше этих предельных значений по следующим причинам:

1) Весной паводковые расходы воды р. Суны у Гирвасской плотины достигают 300—500 м³/сек, а Суно-Пальезерский канал может принять не более 120 м³/сек. Этим определяется избыточный сток р. Суны порядка 200—400 м³/сек (в дни максимума паводка), который пропускается через Гирвасскую плотину и уходит к Онежскому озеру, минуя новый водный тракт для сунских вод: оз. Палье — оз. Сандау — Кондопожская ГЭС. Плотина остается открытой до снижения расхода воды р. Суны до 100 м³/сек или даже несколько ниже (в зависимости от состояния наполненности Пальезера и оз. Сандау).

2) После прохода паводка для обеспечения пропуска лесосплава через Гирвасскую плотину по сплавному лотку и далее по р. Суне в летние месяцы приходится ежедневно сбрасывать 5 м³/сек воды и более, т. е. 0,4—0,5 млн. м³ в сутки. В отдельные годы по требованию сплавных организаций сброс воды через Гирвасскую плотину достигает 100 млн. м³ и более.

В результате за год через Суна-Пальезерский канал проходит в среднем около 1500—1600 млн. м³ воды. Точный подсчет действительного стока сунских вод в оз. Палье и затем в оз. Сандау довольно сложен. Для наших целей вполне удовлетворительный результат дает расчет годового притока к Кондопожской ГЭС по среднегодовой выработке электроэнергии (120 млн. квт/ч) и по среднему удельному расходу воды на выработку этой ГЭС 1 квт/ч. Этот расход в среднем может быть принят в 15 м³ на 1 квт/ч соответственно параметрам ГЭС (при напоре 27,5 м). Отсюда объем воды, расходуемой за год Кондопожской ГЭС и пропускаемой через оз. Сандау, 15 м³ · 120 = 1800 млн. м³. Вычитая среднегодовой сток собственно бассейна оз. Сандау, включая оз. Палье (вместе 310 млн. м³), можно оценить объем сунских вод, поступающих в оз. Палье, в 1800 млн. м³ — 310 млн. м³ = 1490 ≈ 1500 млн. м³. Объем стока вод, получаемых Пальезером, определяем в 1490 + 120 = 1610 ≈ 1600 млн. м³.

Как же изменяются гидрологические показатели Пальезера и оз. Сандау в новых условиях (с 1949 г.)?

Объем воды самого Пальезера остается практически неизменным — 1600 млн. м³. Следовательно, показатель условного водообмена „нового Палье“ увеличивается до $\frac{1600}{1600} - 1$, т. е. возрос в 13 раз по сравнению со „старым Палье“.

Еще резче, чем на первой стадии, выражена продольно-осевая проточность: вход в озеро основного потока — сунских вод с юго-западного конца, выход — из северо-восточного (рис. 4, в). На этом этапе особенно сильно обозначился переход Пальезера от автохтонного типа к аллохтонному с изменением удельного водосбора озера. Новый объем среднегодового притока Пальезера — 1600 млн. м³ соответствует при модуле стока 9,6 л/сек (сунского бассейна) водосбору $\frac{1600 \cdot 10^6 \cdot 10^3}{31,54 \cdot 10^6 \cdot 9,6} = 5250$ км² и удельный водосбор 50—52 км², т. е., как и показатель условного водообмена, увеличился в 13 раз.

Поток сунских вод в этой стадии по среднему годовому объему превышает объем приточных вод собственного водосбора Пальезера уже почти в 14 раз ($\frac{1500}{120}$) и, следовательно, определяет и химические черты и режим его вод. Этот поток в два раза мощнее по сравнению с объемом тех же сунских вод первой стадии. Можно полагать, что увеличенной мощности потока сунских вод (рис. 4, в), химически более однородного, на этой стадии соответствует и большая ширина и глубина или зона активного водообмена. Можно полагать также, что и на зону пассивного водообмена Пальезера, которая должна занимать северо-западную часть озера (рис. 4, в), в результате дрейфовых течений распространялся процесс смешения пальезерских вод с гуминовыми водами сунского потока. Этот процесс связан с переходом Пальезера из олиготрофного в эвтрофированный тип водоема и проходил, вероятно, с повышенной скоростью.

Этой гидрологической и химической трансформацией водоема на рассматриваемой стадии не ограничилась перестройка его природы. Переход Пальезера ко второй стадии своего состояния (поступление большого объема сунских вод в 1947 г.) несколько позднее (в 1952—1953 гг.) сопровождался еще одним явлением — выносом в озеро тонких песков. Причиной выноса песков послужило сооружение Пальезерской ГЭС в конце Суно-Пальезерского канала. Для сооружения отводящего канала для Пальезерской ГЭС в тонких аллювиальных песках перешейка строители использовали размывающую энергию воды (проект инженера Ленгидэпа Министерства электростанций СССР Г. В. Клишевича).

Вода, пущенная из Суна-Пальезерского канала по прорытому в этих песках маленькому каналу, в течение немногих месяцев размывом превратила его в огромный канал, вымыв до 7 млн. m^3 песка и вынес его в оз. Палье. Образовавшийся у выхода канала в озеро конус выноса распространился почти на 2 км. Поскольку в истоке р. Нивки-Тивдийки из Пальезера плотины как регулирующего сооружения нет, то оно по-прежнему остается нерегулируемым водоемом полусвободного режима, хотя его не совсем точно называют водохранилищем.

С увеличением нового фактического удельного водосбора Пальезера до 50 $км^2$ повысилась и годовая амплитуда колебания его уровня. За 7 лет (1950—1956) она увеличилась со 117 до 129 см, при колебании за отдельные годы в пределах 90—191 см (за 1936—1940 гг. см. выше).

В послевоенные годы (1950) гидрохимическое исследование Пальезера проводилось Карельским отделением ВНИОРХа (И. В. Баранов), затем дополнительно (в 1954 г.) Карельским филиалом АН СССР (Г. Л. Грицевская). Установлены такие изменения: к 1950 г. прозрачность уменьшилась до 1,2—2 м, цвет воды стал коричневым. Цветность оказалась очень высокой (167° в губе Шеталамбе); железа ($Fe^{++}+Fe^{+++}$) содержалось 0,92 мг/л. По А. Ф. Смирнову, в период с 1936 по 1949 г. значительно изменилась также ихтиофауна Пальезера. Исчезла палья, резко уменьшился вылов корюшки, ряпушки, сига. Исчезновение палья А. Ф. Смирнов связывает с выносом песчаного грунта при размыве Пальезерского отводящего канала и изменением условий нерестилищ этой рыбы в южной части Пальезера¹.

Как же изменились гидрологические показатели оз. Сандаля? Объем среднего годового притока в оз. Сандаля в 1800 млн. m^3 соответствует

фактическому водосбору в 5590 $км^2$ *. Отсюда удельный водосбор „нового Сандаля“ на этом, пятом, этапе увеличивается до 30 $км^2$, (на 1 $км^2$ его нового зеркала).

Полный объем озера-водохранилища составил $1860+300=2160$ млн. m^3 . Показатель его условного водообмена $\frac{1800}{2160}=0,83$ — почти такой же, как у „нового Палье“. На этом этапе у оз. Сандаля, как и у Пальезера, сохранилась продольно-осевая проточность; лучше видно различие между пассивной по водообмену Сопохской губой и активной восточной ветвью южной части озера. Можно утверждать, что для этой части, где проходит весь годовой сток из озера, местный показатель условного водообмена выше 2, так как объем воды здесь составляет менее половины общего объема Сандаля. Можно также считать, что и активная зона водообмена здесь захватывает большую часть этой ветви (залива) озера.

Характер годового колебания уровня этого водохранилища определяется типом его регулирования. Полезный объем регулирования остался почти прежним — около 300 млн. m^3 , поэтому показатель регулирования при объеме среднего годового притока—стока в 1800 млн. m^3 равен $\frac{300}{1800} \cong 0,17$, т. е. уменьшился по сравнению с третьей стадией жизни оз. Сандаля более чем в полтора раза. Он показывает, что Сандаляское водохранилище может вести лишь годовое регулирование. Другими словами, оно ежегодно опорожняется и наполняется в проектных пределах уровня, т. е. ежегодная амплитуда колебания уровня равна величине его ежегодной сброски (не более 2 м). Действительно, десятилетние наблюдения (1947—1956 гг.) водомерного поста в д. Сопоха показали, что средняя годовая амплитуда равнялась 154 см, при изменении ее в отдельные годы в пределах 68—206 см.

Этот послевоенный период жизни Сандаля как озера привлек внимание многих исследователей. Его изучением занимались сотрудники Карельского отделения ВНИОРХа И. В. Баранов (1950 г., гидрохимия), А. Ф. Смирнов, А. М. Гуляева (1954 г., ихтиофауна) и Карельского филиала АН СССР Г. Л. Грицевская (1954 г., гидрология и гидрохимия).

Анализ воды оз. Сандаля в пятой фазе дает следующую картину (характеристики после 1950 г.).

Цвет воды	темно-желтый
Прозрачность	2,2—2,9 м (к 1954 г.); уменьшилась по сравнению с 1949 г. на 1—1,5 м, а по сравнению с 1920—на 4—4,5 м.
Цветность	50° (губа Викшаламба).

По мнению исследователей Карельского отделения ВНИОРХа пропуск сунских вод в Сандаляское водохранилище и изменение его гидрологического режима ухудшили условия существования донной фауны зообентоса: сократилось донное население и уменьшилась кормовая база бентосоядных рыб. По А. М. Гуляевой (1957—1958; см. также ее ст. в кн. „Озера Карелии“, 1959), в Сандале изменились уловы

¹ Озера Карелии. Справочник. Петрозаводск, Госиздат КАСР, 1959.

* Прирост водосбора Пальезера $4950-380=4570$ $км^2$, собственный водосбор оз. Сандаля с оз. Палье 1017 $км^2$. $4570+1017=5587$, или с округлением 5590 $км^2$.

К. Д. ЛИТИНСКАЯ

УРОВНИ ВОДЫ ОЗЕР-ВОДОХРАНИЛИЩ КАРЕЛИИ

Карелия является одним из районов Советского Союза, где созданы и создаются озерные энергетические водохранилища в отличие от водохранилищ речных, долинных. Становление озерных водохранилищ сопровождается целым рядом специфических изменений гидрологического режима, в частности их уровней.

Развитие гидротехнического строительства и начало эксплуатации водохранилищ в Карелии относится к началу 30-х годов. Несмотря на немалый срок действия озерных водохранилищ в условиях Карелии, изучение происходящих изменений в связи с зарегулированием озер не проводилось. Было лишь рыбохозяйственное обследование Выгозера Карельским отделением ВНИОРХа в 1939—1940 гг., на основании которого отмечались только качественные изменения физико-географических условий этого озера.

Предполагая начать комплексное гидрологическое изучение ряда водохранилищ озерного типа, отдел гидрологии Карельского филиала АН СССР произвел в 1957—1958 гг. сравнительный анализ естественного и зарегулированного режимов уровней восьми крупных озер-водохранилищ (Литинская, 1959).

Изучение уровня режима было начальной стадией исследования озер, так как он представляет собой отличительную особенность водохранилищ по сравнению с озерами в естественном состоянии, на базе которых создаются эти водохранилища. Эта особенность заключается в изменении среднего горизонта озера, изменении величин годовых и многолетних амплитуд уровней, равно как и годового и многолетнего их хода. Все это влечет за собой изменение площади зеркала озера и очертания его в плане. Увеличивается глубина озера, объем водных масс, меняется соотношение объемов озера и притока, вследствие чего изменяются биогидрохимические и гидрофизические свойства озерных вод. Повышение уровня сопровождается затоплением и подтоплением новых территорий. Меняется морфология побережья. Изменение уровня за длительные периоды приводит к сдвигу вертикальной слоистости озерных отложений и т. д. Каждое из перечисленных явлений сопровождается другими процессами, что может привести и приводит к переформированию всей природы водоема. С наибольшей скоростью такие изменения происходят при становлении водохранилищ, когда ряд факторов, обусловивших природу озера, изменяется быстро во времени и резко по величине.

Изучение уровня режима озер помогает решить не только многие теоретические задачи озероведения и палеолимнологии, но и ответить на ряд практических вопросов, связанных с народнохо-

зяйственным использованием озер. Сведения о многовековых изменениях уровня способствуют пониманию эволюции морфологических особенностей озерного побережья и закономерностей процессов седиментации. Вековые и многолетние колебания уровней отражают изменение увлажненности бассейнов озер. Сравнительно-типологическое изучение уровней позволяет прогнозировать уровень режим для озер, не имеющих таких наблюдений.

Для практического использования озер большее значение приобретают годовые изменения уровней, т. е. колебания за сравнительно небольшие периоды. Для некоторых водопользователей особенно важны отдельные фазы уровня режима: подъем, спад, межень и т. д.

Народнохозяйственное использование озер, главным образом в целях гидроэнергетики и водного транспорта, требует создания искусственного режима водоема, что изменяет бытовой ход уровней. При комплексном использовании озер требования водопользователей к уровенному режиму озер неодинаковы и могут быть противоречивыми. Такие противоречия чаще всего бывают между энергетикой и судоходством или энергетикой и рыбным хозяйством. Энергетики заинтересованы в том, чтобы в периоды летней и зимней межени сработать полезные объемы, следовательно, понизить уровни, что усиливает неравномерность их бытового хода. Водному транспорту и рыбному хозяйству благоприятнее стабильность уровней. При этом для судоходства нужны устойчивые горизонты (гарантированные глубины) в навигационный период. А рыбохозяйственники считают, что годам с устойчивым уровнем соответствуют и годы наибольших уловов рыбы (Молчанов, 1946; Зыков, 1948; Себенцов, 1950; Иоганзен 1956 и др.).

Уровенный режим озер-водохранилищ с годовым регулированием в значительной степени отличается от уровенных изменений многолетнего регулирования. Это отличие заключается как в величинах годовых и многолетних амплитуд, так и во внутригодовом распределении уровней воды.

При выполнении настоящей работы автор имел цель показать основные закономерности годового распределения уровней озер и водохранилищ и определить те причины, которые обуславливают различие в типовом ходе годовых уровней как для естественного, так и зарегулированного периода.

В работе принимала участие лаборант В. И. Бондаренко, оказавшая большую помощь в сборе и обработке материалов уровенных наблюдений. Большую благодарность автор выражает заведующему отделом гидрологии заслуженному деятелю науки Карельской АССР доктору географических наук С. В. Григорьеву, критически просмотревшему работу и сделавшему ряд ценных замечаний. Автор благодарит также А. Н. Малявкина, любезно предоставившего материалы по гидрогеологии некоторых озер Карелии, которые еще не были опубликованы.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследований уровня режима были рассмотрены озера: Топозеро, Пяозеро, Ковдозеро, Выгозеро, Серозеро, оз. Сандал, Пальезеро и оз. Гимольское (рис. 1). Эти озера входят в число крупнейших водоемов Карелии. Они имеют свою форму,

величину акватории, глубину и принадлежат к различным генетическим, морфологическим и гидрологическим типам (табл. 1). Кроме того, эти озера относятся к разным озерно-речным бассейнам, и расположены на территории северной и средней Карелии. Единственный объединяющий их признак заключается в том, что они уже используются или будут использованы в качестве озерных, преимущественно энергетических, водохранилищ.

Сроки эксплуатации их также различны. Так, в 1929 г. стало водохранилищем оз. Сандал, с 1932 г. — Выгозеро, а с 1936 г. утратило естественный режим Пальезеро. Особенно интенсивно стали создаваться и проектироваться озерные водохранилища в последние годы. В 1955 г. вступило в строй Ковдозерское водохранилище, а с 1956 г. начато заполнение Сегозерского. В недалекой перспективе на базе крупнейших озер северной Карелии — Топозера и Пяозера — будет создано объединенное Топо-Пяозерское водохранилище, Гимольская группа озер бассейна Верхней Суны войдет в зону будущего Валазминского водохранилища.

К ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ УРОВНЕЙ ОЗЕР

Естественный режим уровней воды озер Карелии до последнего времени не был предметом специальных исследований. Чаще всего уровни озер с той или иной полнотой рассматриваются авторами, посвящающими свои работы гидрографическому обследованию и описанию водоемов. Но, как правило, уровенному режиму в таких работах уделяется небольшое место. В настоящее время это объясняется короткими периодами наблюдений за уровнями воды большинства озер. Не проводилось также всестороннего изучения озер, где бы рассматривался весь комплекс взаимосвязанных и взаимообусловленных явлений и процессов жизни озера, одним из важнейших элементов которого является уровенный режим.

Опубликованной литературы по уровенному режиму рассматриваемых озер-водохранилищ, кроме оз. Гимольского, не имеется¹. Изучение уровней восьми рассматриваемых озер до настоящего времени ограничивается в основном наблюдениями за уровнями воды на водомерной сети Гидрометеослужбы.

Начало развития водомерной сети на изучаемых озерах относится к 1911 г. Но значительно раньше, в 80-х годах прошлого века, в течение недолгого времени водомерные наблюдения были организованы на Выгозере и Сегозере Навигационно-описной комиссией б. Министерства путей сообщения (МПС). Данные этих наблюдений не сохранились.

С 1911 г. МПС (Управление внутренних водных путей) начинает работы по исследованию рек и озер края как источников энергии, а также для проектов водных путей. Это Управление в 1911 г. открыло ряд водомерных постов в бассейне озерно-речной системы Суны, в том числе на озерах Гимольском, Палье и Сандале. В 1912 г. „Партия по исследованию р. Суны“ того же Управления организовала водомерные посты в бассейне системы Нижнего Выга и на озерах Выгозере и Сегозере.

¹ Об уровнях оз. Гимольского кратко пишет П. В. Зыков (1948). Он же указывает на рыбохозяйственную значимость уровенного режима озер.

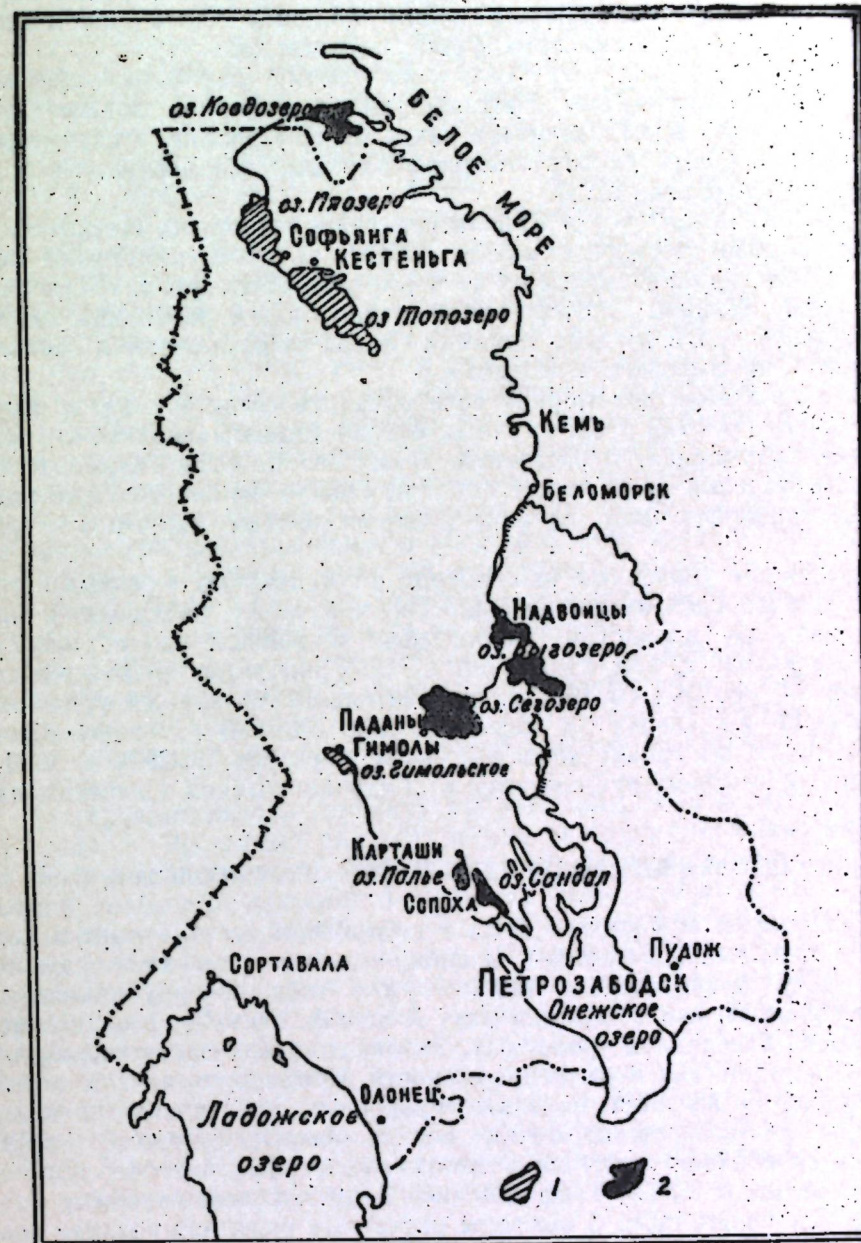


Рис. 1. Схематическая карта Карельской АССР и распределение исследуемых озер-водохранилищ по ее территории.
1 — запроектированные; 2 — эксплуатируемые.

В 1917 г. «Партией по исследованию водных сил Севера России» указанного выше. Управления были созданы водомерные посты на ряде водных систем северной Карелии и Мурманского края. В их число попадает и Нижняя Ковда с Ковдозером. Но в связи с военными действиями во время гражданской войны большая часть водомерных постов на севере Карелии прекратила наблюдения.

В 1925 г. работу по гидрологическому изучению крайнего Северо-Запада возглавляет Государственное северное водное бюро ВСНХ. Это бюро восстанавливает ранее существовавшую сеть и развивает ее на новых озерах северной Карелии: Ковдозере, Пяозере, Топозере (Григорьев, 1928).

С 1930 г. организуется Карельское гидрометеорологическое бюро Гидрометеорологического комитета СССР, которое постепенно объединяет всю гидрометрическую сеть Карелии (Григорьев, 1934).

В годы Великой Отечественной войны водомерные наблюдения прекратились почти на всех крупных озерах за исключением нескольких постов на Выгозере и Ковдозере.

Восстановление водомерной сети началось сразу же после окончания войны. С 1945 г. на крупных озерах Карелии ведутся систематические наблюдения. В настоящее время вся опорная гидрометрическая сеть Карелии находится в ведении Северо-Западного Управления гидрометеорологической службы (Петрозаводская гидрометобсерватория).

Материалы уровенных наблюдений опубликованы в разных источниках. Первой систематизированной сводкой таких наблюдений были «Материалы по гидрологии, гидрографии и водным силам», опубликованные в 1928 г. под редакцией С. В. Григорьева и содержащие сведения об уровнях по 1927 г. включительно. Материалы уровенных наблюдений на озерах за период с 1930 по 1935 г. опубликованы в «Сведениях об уровне воды на реках и озерах СССР». С 1936 г. сведения об уровнях публикуются в «Гидрологических ежегодниках».

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

При выполнении работы были использованы все имеющиеся материалы уровенных наблюдений. В синхронологическом виде сведения об уровнях приводятся в табл. 1, а в табл. 2 — опубликованные и неопубликованные источники этих сведений. Из табл. 1 видна неоднородность материалов уровенных наблюдений как в отношении длительности рядов, так и их непрерывности. Кроме того, внутри отдельных периодов имеются неувязки уровенных наблюдений по высоте (отметки „0“ графиков водомерных постов меняются). Поэтому в табл. 3 приводятся периоды действия озерных водомерных постов с постоянными отметками их „0“ графиков (все 3 табл. в приложении).

На основании табл. 3 выбраны расчетные ряды для анализа уровня отдельных озер и их сравнительной характеристики. В эти ряды вошли годы полных лет наблюдений, увязанные между собой в высотном отношении. В табл. 1 они заключены в рамку. В конце таблицы показана продолжительность расчетных рядов. Она неодинакова для отдельных озер и изменяется от 23 лет для Ковдозера до 9 — у Сег-озера. В двойную рамку заключены расчетные ряды, характеризующие зарегулированный режим озер-водохранилищ.

Известно, что уровень озера относится к многофакторным гидрологическим явлениям, так как он зависит от целого ряда причин,

различное сочетание которых может быть чисто случайным. Изменения уровней озер в отдельные годы, определяемые таким сочетанием, представляют чрезвычайно пеструю картину. Но все это многообразие отдельных лет лежит в определенных (для каждого отдельного озера) пределах отклонений уровней от его средней многолетней величины. Такие отклонения от средней многолетней величины внутри каждого года определяются соотношением климатических факторов этих лет и, главным образом, составляющими водного баланса. Однако у озер, расположенных в сравнительно одинаковых климатических условиях, уровенный режим находится также под влиянием целого ряда других факторов, определяющих ту разницу в типовых графиках уровней, которая и наблюдается у озер различной величины, формы и расчлененности их котловин и с различными гидрографическими условиями озерных бассейнов. Таким образом, при сравнительно-типологическом изучении уровней озер одного климатического региона в качестве основных причин, определяющих различие в типовом ходе уровней, выступают уже не климатические факторы, а другие физико-географические явления. Их при выполнении работы и предстояло оценить пока качественно, так как никаких специальных наблюдений над изучением причин, обуславливающих уровенный режим озер, не производилось. Поэтому некоторые положения, сформулированные в работе в результате анализа типовых графиков уровней, но не подтвержденные натурными наблюдениями, в известной мере гипотетичны. Изучение уровенного режима озер на следующем этапе должно иметь своим результатом не только определение причин изменения режима, но и получение количественного их выражения.

При анализе режима уровней каждого отдельного озера в качестве наиболее устойчивых и надежных характеристик были использованы средние годовые и средние многолетние значения уровней озер и изменения их амплитуд, вычисленные из расчетных рядов наблюдений.

Для сравнительного изучения уровней озер были построены типовые графики. Расчетный ряд обрабатывался статистическим методом для получения среднего фиктивного года и характерных значений уровней. Месячные значения фиктивного года и послужили ординатами типового графика уровней. Для определения причин, обуславливающих различие типовых графиков отдельных озер, использовались сведения по морфологии и морфометрии озер и гидрографии их водосборов. При изучении уровней озер выдержан гидрографический принцип: озера рассматриваются от верховьев к устью озерно-речных систем. Вначале приводятся сведения о режиме уровней озер Беломорского бассейна — водных систем Ковды и Выга, затем Балтийского бассейна — системы Суны. После частного рассмотрения режима уровней озер приводится их сравнительная характеристика. Вторая часть работы посвящена зарегулированному режиму уровней.

УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ ОЗЕР В ЕСТЕСТВЕННОМ СОСТОЯНИИ

Общие сведения об озерах в естественном состоянии приводятся в табл. 1, из которой хорошо видна упомянутая разнотипность озер. Так, площадь зеркала озер изменяется от 90 км² у оз. Гимольского до 1049 км² у Топозера. Наименьший водосбор в 380 км² имеет Пальезеро, а у Ковдозера он достигает 26 тыс. км². Удельные водосборы охватывают почти весь диапазон этой величины для озер

Гидрографические, морфометрические и уровенные

Таблица 1

характеристики озер в естественном состоянии

Характеристики	Определения
Площадь озера, км ² Площадь зеркала озера, км ² Средняя абсолютная отметка уреза воды, м Площадь водосбора, замыкаемая озером, км ² Удельный водосбор Озерность водосбора озера, % Приведенная озерность, % (то же, исключая рассматриваемое озеро)	Отношение площади водосбора озера к площади его зеркала Отношение площади зеркала озер водосбора к площади водосбора, % $\frac{F_n \text{ зерк. озер}}{F_1 \text{ бассейна}}$ $\frac{F_n - f}{F_1 - f}$
Островистость, % Длина береговой линии озера, км Общая расчлененность озера Наибольшая глубина, м Средняя глубина, м Показатель емкости озера Показатель относительной глубины, "а" Характеристика озера по глубине—показателю "а" Удельные затопления, км ² То же, в % от F _{зерк.} (ср.) Объем водной массы озера, км ³ Объем притока вод в озеро, км ³ Показатель условного водообмена Слой притока, м/км ²	Отношение площади круга с длиной окружности, равной длине береговой линии озера, к площади озера $\frac{N_{\text{ср.}}}{N_{\text{наиб.}}}$ $\frac{N_{\text{ср.}}}{3}$ $\sqrt{F_{\text{зерк.}}}$ Изменение площади зеркала при изменении уровня озера в 1 м Отношение среднего годового притока в озеро к объему озера
Амплитуды уровней, см Абсолютная Средняя многолетняя Наибольшая годовая Наименьшая годовая Средняя месячная Наибольшая месячная Наименьшая месячная Средняя продолжительность весеннего подъема, дни Среднее повышение уровня за период подъема, см Средняя дата начала подъема Самая ранняя Самая поздняя Среднее падение уровня за период зимней межени, см	

Бассейн Белого моря					Бассейн Балтийского моря		
бассейн р. Ковды			бассейн р. Выга		бассейн р. Суны		
Топозеро	Пяозеро	Ковд-озеро	Выгозеро	Сегозеро	оз. Гномольское	оз. Палье	оз. Санда
1048,9	754,8	364,0	634,0	781,7	90,2	105,8	161,2
986,2	658,7	294,2	547,0	752,5	80,5	100,2	152,4
109,5	100,5	30,0	83,0	113,7	164,0	69,8	59,8
3749	12957	25915	18049	7576	2665	381	1017
3,6	20	87	34	10	33	3,8	6,7
31,5	18,9	15,2	12,6	18,1	17,0	27,9	27,4
7,0	14,6	14,1	9,9	9,1	14,0	2,2	14,7
6	13	19	10	4	11	5	5
544,6	256,0	381,4	534,5	278,4	132,8	77,6	169
22,4	7,1	32,4	41,4	8,1	14,8	4,5	6,4
56	49	—	12	97	30	74	51
15,8	15,1	—	6,2	23,4	3,3	~15—16	12,0
0,28	0,31	—	0,52	0,25	0,12	~0,20	0,24
1,53	1,77	—	0,75	1,19	0,74	4,30	2,25
мелкое	мелкое	—	мелкое	нормальной глубины	мелкое	глубокое	нормальной глубины
30	25	—	85	15	21	—	7
3,1	3,8	—	15,5	2,0	26,0	—	4,6
15,6	9,9	—	3,4	17,6	0,27	—	1,83
1,05	4,5	—	5,5	2,2	0,87	0,12	0,31
0,07	0,46	—	1,5	0,12	3,2	—	0,17
0,9	6,1	28,8	10,0	3,0	10,7	1,2	2,0
94	149	311	(159)	127	213	83	105
41	82	210	(124)	61	104	38	42
64	109	269	(159)	92	155	68	77
23	63	127	—	39	53	19	24
7	15	38	(27)	10	22	7	8
39	91	251	(117)	58	161	40	33
0	1	2	0	0	0	1	1
61	38	42	(32)	64	32	38	—
31	67	200	—	54	86	28	31
3/V	5/V	2/V	—	29/IV	30/IV	25/IV	22/IV
12/IV	28/IV	20/IV	—	17/IV	15/IV	15/IV	10/III
23/V	17/V	15/V	—	14/V	17/V	5/V	8/V
16	22	78	—	26	50	13	—

Карелии. В широких пределах меняется общая расчлененность озер. В рассматриваемую группу входит чуть ли не самое расчлененное в Карелии оз. Выгозеро и мало расчлененное оз. Палье. Разнообразны и глубины озер, но только Пальезеро относится к группе глубоких (по классификации П. В. Иванова, 1948). При разном характере озерных котловин удельные затопления озер меняются от 2% у Сегозера до 26% у оз. Гимольского.

Все это морфологическое разнообразие и различное соотношение озер с питающими их водосборами дает разнообразие уровней изменений озер (внутригодовое и многолетнее). В табл. 1, помимо общих сведений об озерах, приводятся показатели, которыми оцениваются факторы, влияющие на уровеньный режим.

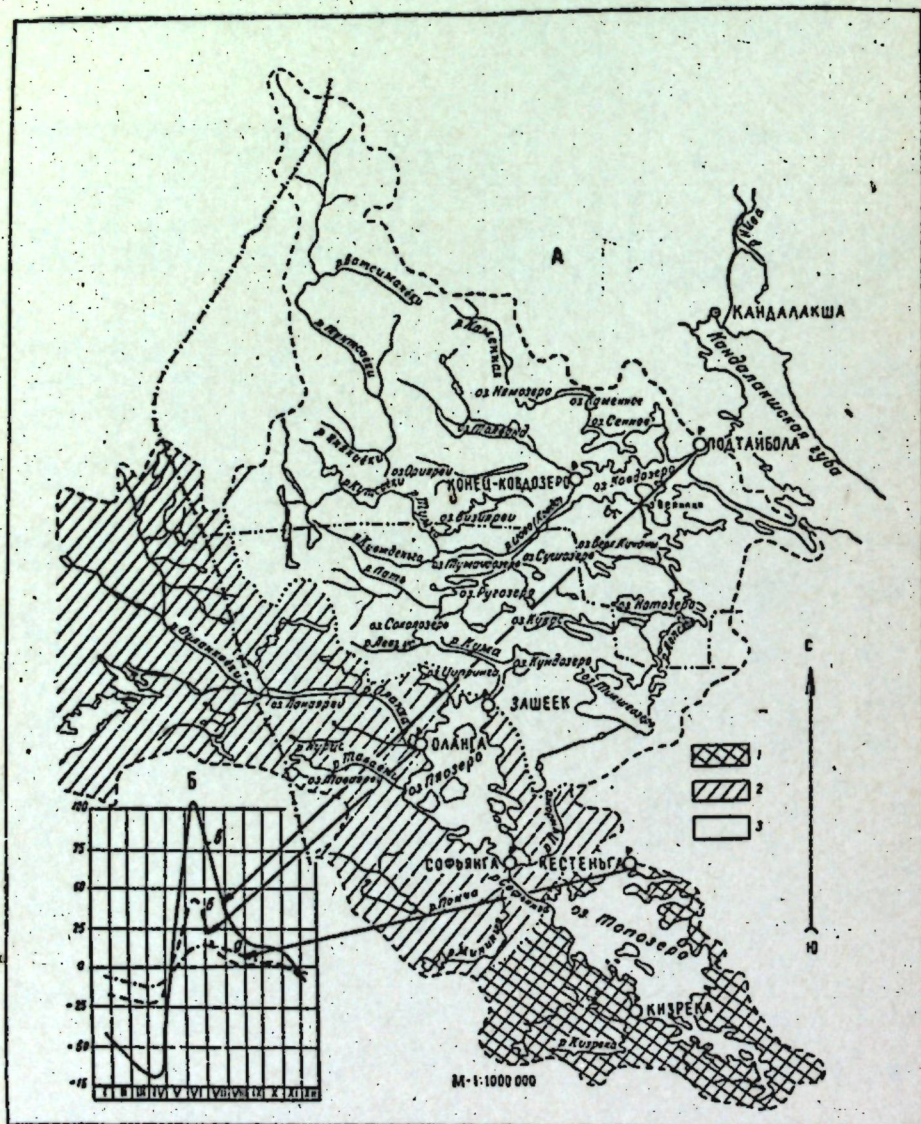


Рис. 2. А — бассейн озерно-речной системы Ковды. Б — типовые графики распределения годовых уровней Топозера (а), Пюозера (б) и Ковдозера (г).

Водосборы: 1 — Топозера; 2 — Пюозера; 3 — Ковдозера.

УРОВНИ ВОДЫ ТОПОЗЕРА

Топозеро — четвертое по величине озеро в Карелии (после Ладожского и Онежского озер и Выгозерского водохранилища) — расположено в северной ее части, в верховьях озерно-речной системы Ковды на 221—296 км от устья реки (рис. 2 А). Общие характеристики Топозера приведены в табл. 1.

Режим уровней Топозера характеризуется очень малыми значениями годовых амплитуд (приложение, табл. 4); одним максимумом весеннего половодья и почти постоянным отсутствием летней межени.

Внутригодовые колебания уровней за расчетный период не превышают 64 см. Наибольшие месячные амплитуды наблюдаются в мае, в период весеннего подъема, наименьшие — в феврале, в устойчивый период зимней межени. Средние месячные амплитуды Топозера в отклонениях от среднего многолетнего (типовой график) показаны на рис. 2 Б, из которого видно, что периоды аккумуляции приточных вод в озеро и их сброска в среднем продолжаются до полугодия. Весеннее половодье, или процесс заполнения Топозера, начинается в начале мая, и период подъема уровней длится около двух, а в отдельные годы и трех месяцев (табл. 2). Интенсивность повышения горизонта за сутки не превышает 4—6 см, в среднем 0,5 см. Наибольшие уровни в озере удерживаются около месяца. Наивысший уровень в 109 см над „0“ графика наблюдался 18/VI 1955 г. (приложение, табл. 4).

Таблица 2

Характерные величины весеннего подъема уровня Топозера

	Начало	Конец	Продолжительность, дни	Повышение уровня за период подъема, см
Средняя дата	3/V	7/VII	средняя 61	среднее 31
Самая ранняя	12/IV	19/V	наибольшая 85	наибольшее 50
Самая поздняя	23/V	2/VIII	наименьшая 34	наименьшее 9

Спад уровней начинается в июле и продолжается до конца зимней межени. В отдельные годы спад прерывается выпадающими в бассейне обильными дождями, которые вызывают осенние паводки иногда с уровнями, превышающими весеннее половодье (1932, 1948, 1949 гг.). В большинстве случаев благодаря аккумулярованному озером притоку и летним осадкам уровни высоки в течение всего летне-осеннего периода (1927, 1929, 1934, 1935, 1945, 1946, 1954 гг.). В середине ноября озеро замерзает, поверхностный приток в озеро сменяется подземным, сток из озера превышает приток в него, и уровни постепенно начинают падать, снижаясь до наименьших величин в апреле — мае. Наинизший уровень за период наблюдений был равен 15 см (1/V 1926 г.). В отдельные годы устанавливается равновесие между притоком и стоком, и тогда в течение почти всей зимы горизонт в озере удерживается постоянным (1926, 1931, 1946, 1948, 1951 гг.).

Многолетние колебания уровня характеризуются сравнительно согласным ходом крайних и средних значений уровня за отдельные годы. Это согласие определяется устойчивостью годовых амплитуд, которая за период наблюдений колеблется от 23 до 64 см, т. е. в пределах всего 41 см (приложение, табл. 4).

Колебания уровней отдельных лет относительно среднего многолетнего уровня невелики (приложение, табл. 4, графа 6). Абсолютная амплитуда колебания уровня за 20 лет — 94 см.

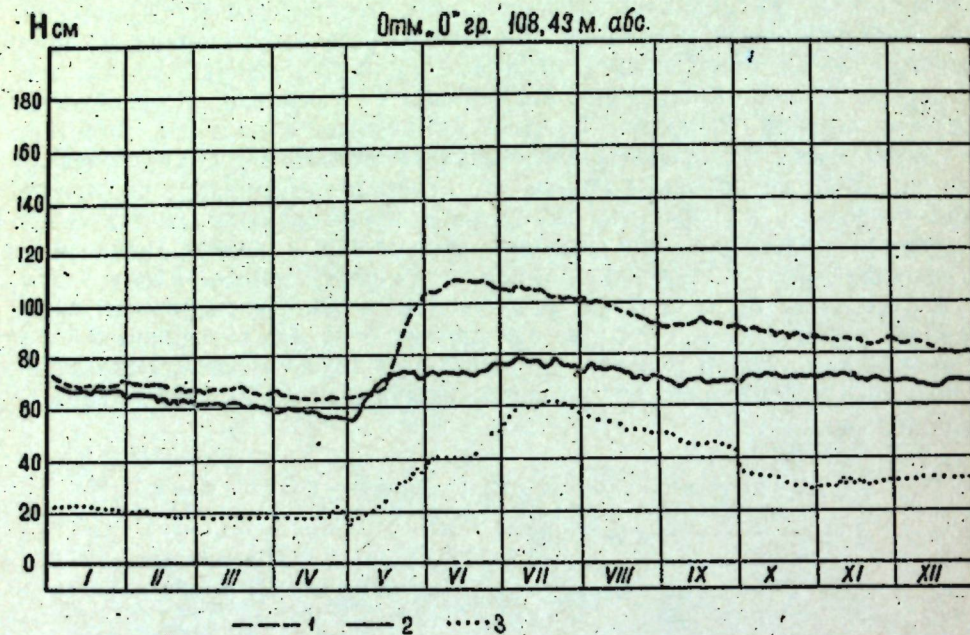


Рис. 3. Графики колебания уровней Топозера у с. Кестеньга за характерные годы. 1 — наибольший — 1955 г.; 2 — близкий к среднему — 1952 г.; 3 — наименьший — 1946 г.

Графа 6 табл. 4 позволяет судить об определенной цикличности в режиме уровней Топозера. Так, период с 1926 по 1930 г. на Топозере характеризуется маловодьем, когда не только средние годовые, но почти все средние месячные уровни были ниже среднего многолетнего. Его сменили два многоводных года, а затем снова наблюдался ряд лет по водности ниже средних. С 1949 г. начался устойчивый многоводный период. Наиболее многоводным из всех лет наблюдений был 1955 г., самым низким — 1926 г. Графики колебания уровней за характерные годы приводятся на рис. 3.

Изменения акватории озера, обусловленные небольшими годовыми и многолетними амплитудами, невелики. Согласно кривой распределения площадей Топозера, величины этих изменений приводятся в табл. 1.

УРОВНИ ВОДЫ ПЯОЗЕРА

Пяозеро — второе по величине озеро в бассейне озерно-речной системы Ковды и пятое в Карелии. Оно расположено между 149,6—208,6 км от устья системы, в 12 км ниже Топозера, соединяется с последним р. Софьянгой (рис. 2 А). Характеристики Пяозера приведены в табл. 1.

Годовой режим уровней Пяозера характеризуется одним максимумом весеннего половодья и одной, сравнительно устойчивой, зимней меженью. Летняя межень не выражена.

В период растянутого спада наблюдается повышение уровней от выпадающих дождей, но уровни паводков редко превышают уровни половодья. Средняя многолетняя амплитуда изменения уровней на Пяозере достигает 109 см. Наибольшие месячные амплитуды (до 90 см) бывают в мае, наименьшие (1 см) — в феврале.

Таблица 3
Характерные величины весеннего подъема уровня Пяозера

	Начало	Конец	Продолжительность, дни	Повышение уровня воды за период подъема, см
Средняя дата	5/V	6/VI	средняя 33	среднее 67
Самая ранняя	28/IV	26/V	наибольшая 49	наибольшее 107
Самая поздняя	17/V	17/VI	наименьшая 13	наименьшее 38

Продолжительность весеннего подъема на Пяозере в сравнении с Топозером уменьшается (табл. 3), а интенсивность подъема растет до 7—8 см в сутки, средняя — 2 см. В отдельные годы интенсивность подъема достигает 20 см в сутки. Наибольшие горизонты в озере приходятся на первую декаду июня и удерживаются несколько дней. Спад в озере происходит интенсивно. Зимние уровни в отдельные годы почти стабильны. Типовое распределение годовых уровней Пяозера показано на рис. 2 Б.

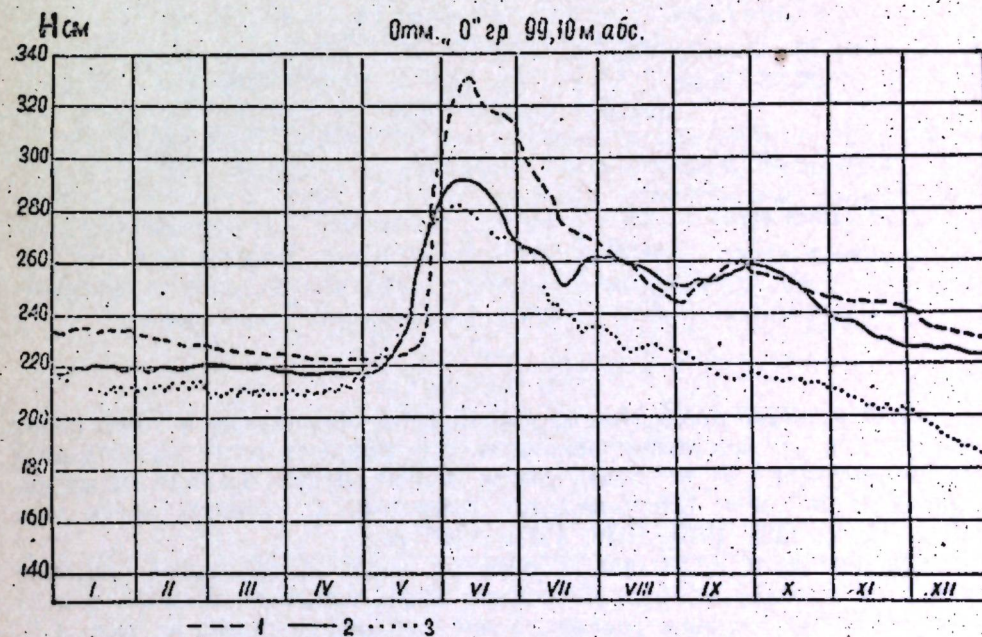


Рис. 4. Графики колебания уровней Пяозера у с. Софьянга за характерные годы. 1 — наибольший — 1955 г.; 2 — близкий к среднему — 1952 г.; 3 — наименьший — 1946 г.

Многолетние колебания уровня Пяозера за расчетный 10-летний период характеризуются небольшими отклонениями средних годовых уровней от среднего многолетнего (приложение, табл. 4, графа 6). Годовые амплитуды уровней определяются главным образом положительными отклонениями максимальных уровней в году от средних многолетних величин, значительно превышающих отклонения отрицательные (приложение, табл. 4). Абсолютная амплитуда изменения уровней за расчетный период — 149 см. Но поскольку расчетный период характеризуется многоводьем, то в действительности абсолютная амплитуда значительно выше. Графики колебания уровней приведены на рис. 4. Изменения площади зеркала озера даны в табл. 1.

УРОВНИ ВОДЫ КОВДОЗЕРА

Ковдозеро — третье по величине озеро в бассейне озерно-речной системы р. Ковды. Оно расположено между 33,0—65,9 км от устья системы, в 84 км ниже Пяозера по течению Ковды (рис. 2 А). Общие характеристики Ковдозера приведены в табл. 1.

Характерной особенностью уровня режима Ковдозера являются высокие амплитуды колебания его уровней, наибольшие среди крупных озер Карелии, и самое высокое из всех 8 озер стояние горизонтов летней межени. Средние годовые амплитуды изменения уровней Ковдозера колеблются от 127 до 269 см (приложение, табл. 4). Наибольшие месячные амплитуды (до 250 см) наблюдаются в мае, наименьшие (2 см) — в январе.

Период аккумуляции притока на Ковдозере длится семь месяцев, продолжаясь с мая по ноябрь. Весенний подъем уровней идет очень интенсивно (до 38 см/сутки), в среднем 5 см/сутки и продолжается до двух и более месяцев (табл. 4).

Таблица 4

Характерные величины весеннего подъема уровней Ковдозера

	Начало	Конец	Продолжительность, дни	Повышение уровня за период подъема, см
Средняя дата	2/V	14/VI	средняя 42	среднее 200
Самая ранняя	20/IV	28/V	наибольшая 65	наибольшее 265
Самая поздняя	15/V	13/VII	наименьшая 28	наименьшее 152

Спад уровней продолжается около трех месяцев, но и тогда падение уровня не достигает величины его подъема и не наблюдается летней межени. В те годы, когда имеют место осенние паводки, горизонты в озере удерживаются высокими в течение всего лета (1932, 1934, 1936, 1943, 1949, 1952—1954 гг.).

Средняя дата ледостава и переход озера на грунтовое питание относится к концу ноября. В течение зимы горизонт в озере падает на 30—130 см. Типовое распределение уровней показано на рис. 2 Б.

Отклонение средних годовых уровней от среднего многолетнего характеризует цикличность водности озера. Так, с 1926 по 1932 г.

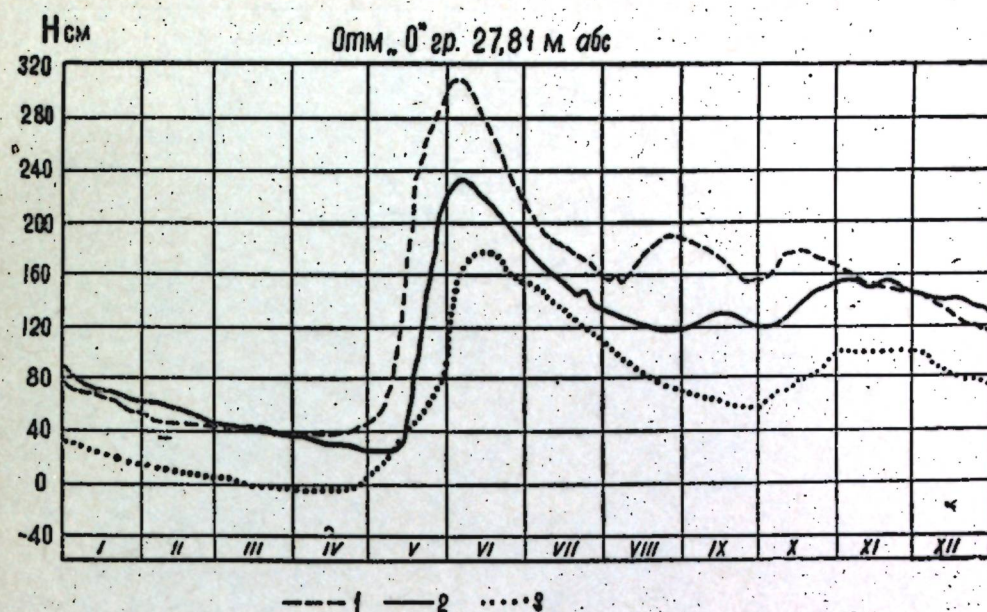


Рис. 5. Графики колебания уровней Ковдозера у д. Подтайбола за характерные годы. 1 — наибольший — 1943 г.; 2 — близкий к среднему — 1929 г.; 3 — наименьший — 1942 г.

шло увеличение водности. 1932 год был самым многоводным, после чего горизонты в озере начали падать. 50-е годы на Ковдозере, как и на других озерах, характеризуются повышенной водностью. Графики колебания уровней за характерные годы приводятся на рис. 5.

УРОВНИ ВОДЫ ВЫГОЗЕРА

Выгозеро расположено в бассейне озерно-речной системы Выга в 94,5—170,6 км от устья р. Выг (рис. 6 А). Общие сведения об озере в естественном состоянии приведены в табл. 1.

Естественный режим озера сохранялся до 1933 г. В 1933 г. Выгозеро превращено в судоходный бьеф системы Беломорско-Балтийского водного пути. С этого времени естественный режим Выгозера нарушен.

Годовой режим уровней старого Выгозера имел сравнительно большие годовые амплитуды и глубокую зимнюю сработку. Весенний

Таблица 5

Характерные уровни Выгозера у с. Надвоицы за 1914, 1916, 1917 гг.

Год	Наибольший		Наименьший		Средний годовой, см над 0° графика	Амплитуда годовая, см
	уровень, см	дата	уровень, см	дата		
1914	161	26/V	53	21—28/II	91	108
1916	182	20/V	23	17—24/IV	100	159
1917	160	2—6/VI	40	7—19/III	94	120

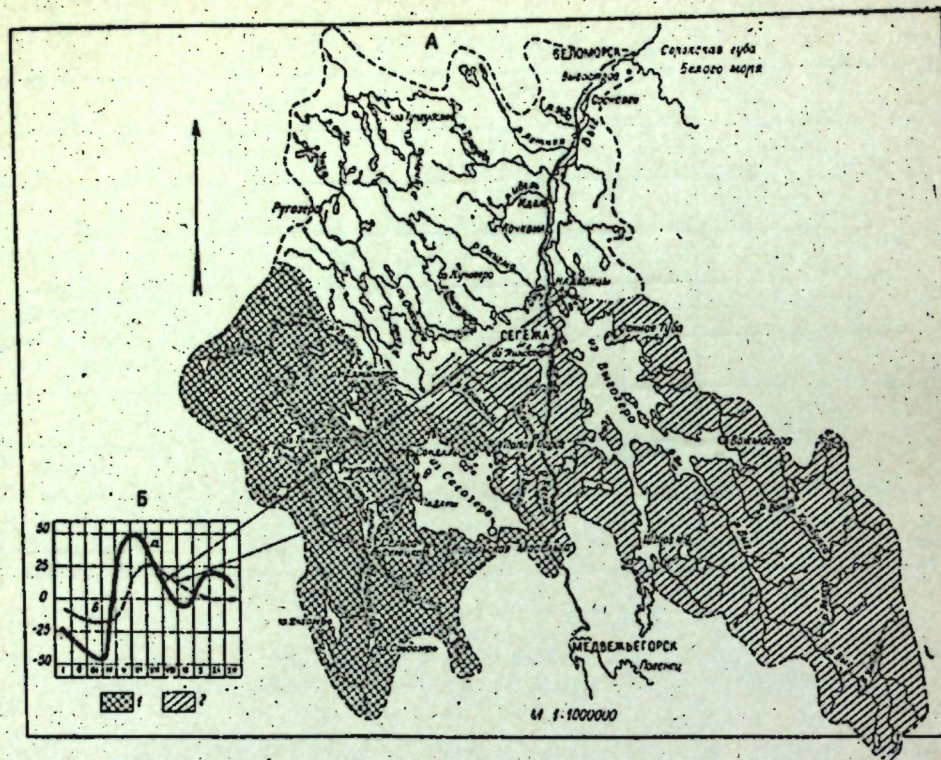


Рис. 6. А — бассейн озерно-речной системы Выга. Б — типовые графики распределения годовых уровней Выгозера (а) и Сегозера (б).
Водосборы: 1 — Сегозера; 2 — Выгозера.

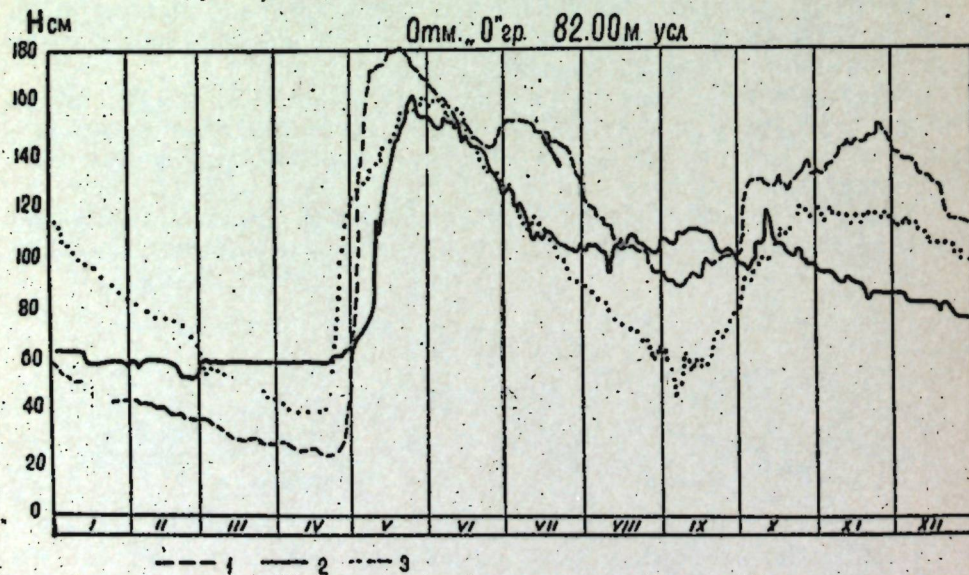


Рис. 7. Графики колебания уровней Выгозера у д. Надвоицы за 1916 (1), 1942 (2) и 1917 (3) гг.

подъем уровней начинался в середине апреля и продолжался месяц — полтора. Спад медленный, растянутый. В отдельные месяцы летняя межень хорошо выражена, но выше зимней. Осенние паводки ежегодны. Изменение уровней Выгозера внутри года и характерные уровни за имеющиеся годы наблюдений приводятся в табл. 5 и на рис. 7.

УРОВНИ ВОДЫ СЕГОЗЕРА

Сегозеро расположено в средней Карелии, в бассейне озерно-речной системы р. Сегежи — притока Выгозера (рис. 6 А). Характеристики Сегозера приведены в табл. 1.

Уровненный режим Сегозера устойчив: с малыми месячными и годовыми амплитудами, с одним максимумом весеннего половодья, одной сравнительно низкой (для Сегозера) зимней меженью (табл. 7 Б). Наибольшие месячные амплитуды (до 58 см) наблюдаются в мае, наименьшие — в январе. Средняя многолетняя амплитуда изменения уровней Сегозера — 61 см.

Начало весеннего подъема уровней в озере приходится на конец апреля (табл. 6). Наибольшие уровни в озере наблюдаются в конце июня — начале июля. Продолжительность стояния высоких уровней — несколько дней, в отдельные годы до 20 дней (1950).

Сработка и спад уровней в Сегозере происходят очень медленно и продолжаются до начала весеннего подъема. В течение всего лета удерживаются высокие горизонты, и летняя межень отсутствует. В отдельные годы бывают небольшие повышения уровней от осенних осадков (1948, 1954, 1955 гг.).

Таблица 6

Характерные величины весеннего подъема уровней Сегозера

	Начало	Конец	Продолжительность, дни	Повышение уровня за период подъема, см
Средняя дата	29/IV	1/VII	средняя 64	среднее 54
Самая ранняя	17/IV	19/VI	наибольшая 122	наибольшее 82
Самая поздняя	14/V	24/VIII	наименьшая 36	наименьшее 29

Замерзание озера в среднем происходит 26 ноября. Наинизшие горизонты зимней межени наблюдаются в конце апреля. За зимний период уровни в озере падают в среднем на 26 см.

Отклонения средних годовых уровней от среднего многолетнего, характеризующие водность отдельных лет, невелики и изменяются в пределах от +10 до -21 (приложение, табл. 4). Общая тенденция этих отклонений совпадает с отклонениями на других озерах.

Из всех восьми рассматриваемых озер Сегозеро имеет наименьшие амплитуды изменения площади зеркала. Это обусловлено не только малыми амплитудами уровней, но и формой озерной котловины с ее крутыми склонами. Величины изменения площади зеркала за расчетный период приведены в табл. 1. Графики колебания уровней за характерные годы даны на рис. 8.

Отм. 0"гр. 112,45 м. абс

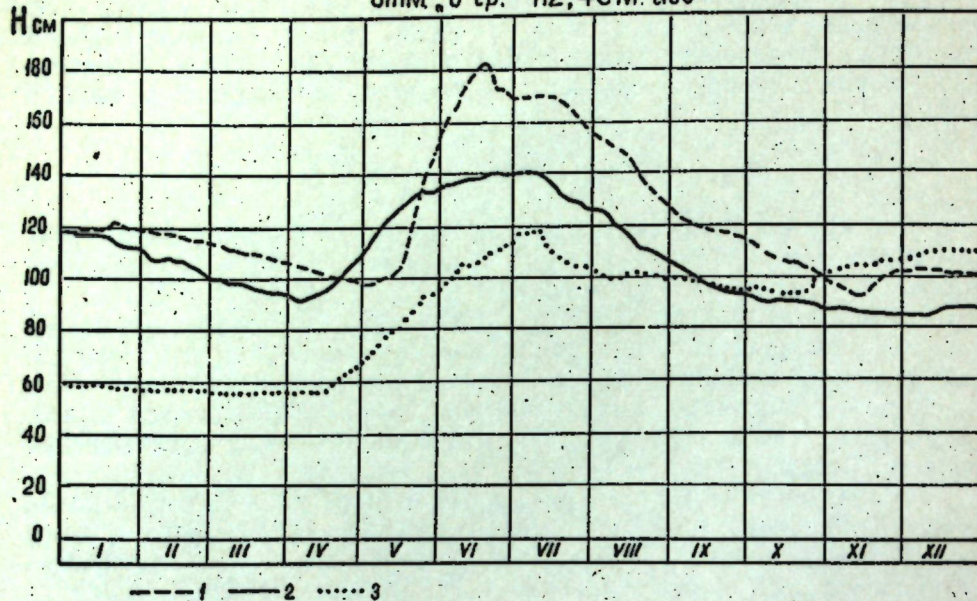


Рис. 8. Графики колебания уровней Сегозера у с. Паданы за характерные годы.
1 — наибольший — 1955 г.; 2 — близкий к среднему — 1950 г.; 3 — наименьший — 1948 г.

УРОВНИ ВОДЫ ПАЛЬЕЗЕРА

Оз. Палье в естественных условиях до переключения в него стока р. Суны в 1936 г. входило в озерно-речную систему р. Сандалки (рис. 9 А). Общие сведения об озере приведены в табл. 1.

Уровеньный режим Пальезера характеризуется наибольшей из всех озер устойчивостью уровней, одним максимумом весеннего половодья и почти стабильной зимней меженью. В отличие от Топозера, имеющего близкие амплитуды, в Пальезере наблюдается летняя межень (рис. 9 Б).

Подъем уровней в озере начинается в конце апреля и продолжается до начала июня (табл. 7). Средняя интенсивность подъема 0,7, наибольшая — 6 см/сутки. Высокие горизонты в озере удерживаются 3—4 дня. Спад в озере интенсивный, продолжается до августа, после чего в отдельные годы наступает летняя межень, иногда с уровнями

Таблица 7

Характерные величины весеннего подъема уровней Пальезера

	Начало	Конец	Продолжительность, дни	Повышение уровня за период подъема, см
Средняя дата	25/IV	1/VI	средняя 38	среднее 28
Самая ранняя	16/IV	11/V	наибольшая 63	наибольшее 42
Самая поздняя	5/V	25/VI	наименьшая 18	наименьшее 14

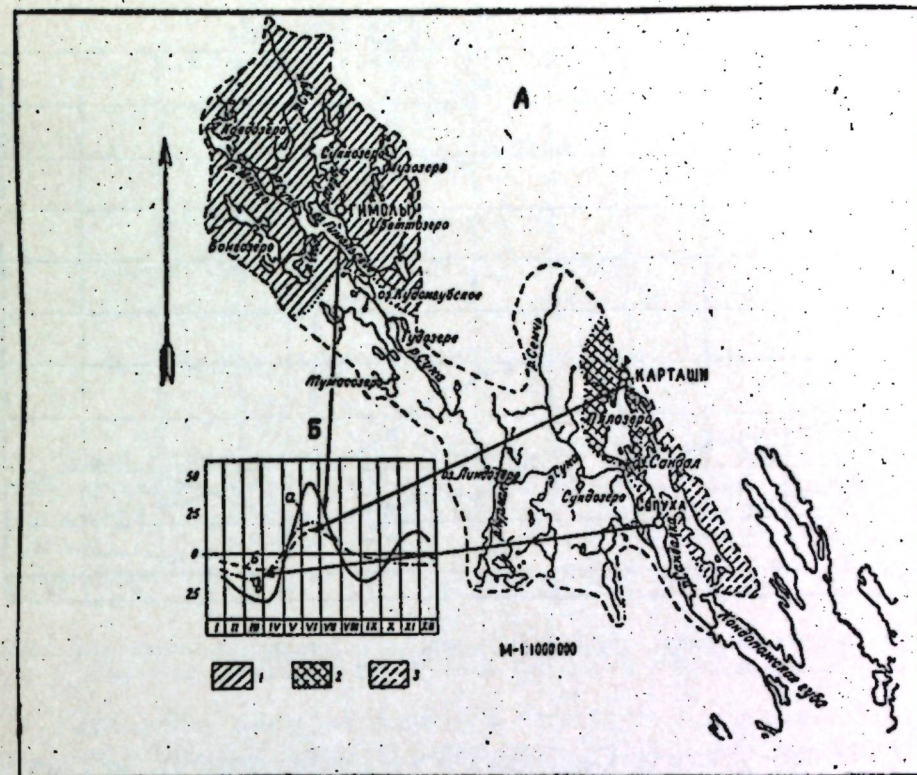


Рис. 9. А — бассейн озерно-речной системы Суны. Б — типовые графики распределения годовых уровней озер Гимельского (а), Пальезера (б), Сандала (в).
Водосборы: 1 — оз. Гимельского; 2 — Пальезера (Пялозера); 3 — оз. Сандала

ниже зимних. Понижение уровней за зиму не превышает 28 см. В отдельные годы наблюдается даже повышение горизонтов к середине зимы (1916, 1919 гг.).

Многолетние изменения уровня Пальезера характеризуются отклонениями средних годовых уровней от среднего многолетнего в пределах 35 см. Устойчивость годовых амплитуд видна из табл. 4 приложения. Абсолютная амплитуда изменения уровня — 81 см — наименьшая из всех рассматриваемых озер. Продолжительные периоды положительных и отрицательных отклонений годовых значений уровня от средней многолетней величины отражают инерционную способность озера и цикличность в изменении водности его бассейна. Графики колебания уровня Пальезера за характерные годы приводятся на рис. 10.

УРОВНИ ВОДЫ ОЗ. САНДАЛ

Оз. Сандал в естественных условиях входило в озерно-речную систему р. Сандалки (рис. 9 А). В 1928 г. естественный сток из озера прекращен путем возведения глухой плотины в истоке Сандалки, а озеро превращено в водохранилище для регулирования работы Кондопожской ГЭС. Общие сведения об оз. Сандал приведены в табл. 1.

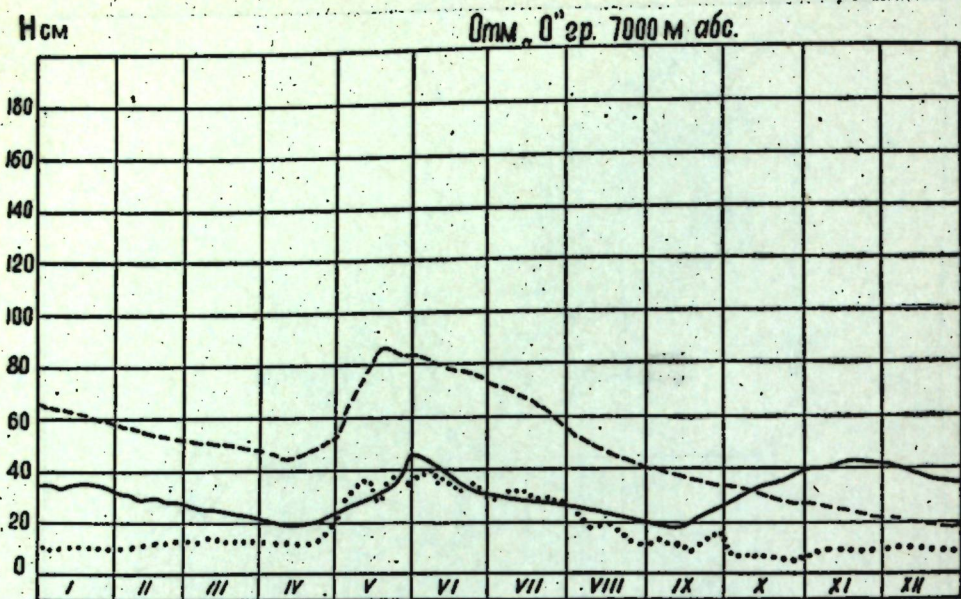


Рис. 10. Графики колебания уровней Пальезера у д. Карташи за характерные годы.
1 — наибольший — 1924 г.; 2 — близкий к среднему — 1917 г.; 3 — наименьший — 1934 г.

Уровеньный режим оз. Сандаал аналогичен пальезерскому, но с некоторым увеличением амплитуд и более низкими уровнями зимней межени. На Сандаале продолжительнее и весеннее половодье (табл. 8) и более резко выражена летне-осенняя межень, наблюдающаяся в сентябре — октябре (рис. 9 Б). Наибольшее понижение уровня за зиму около 20 см.

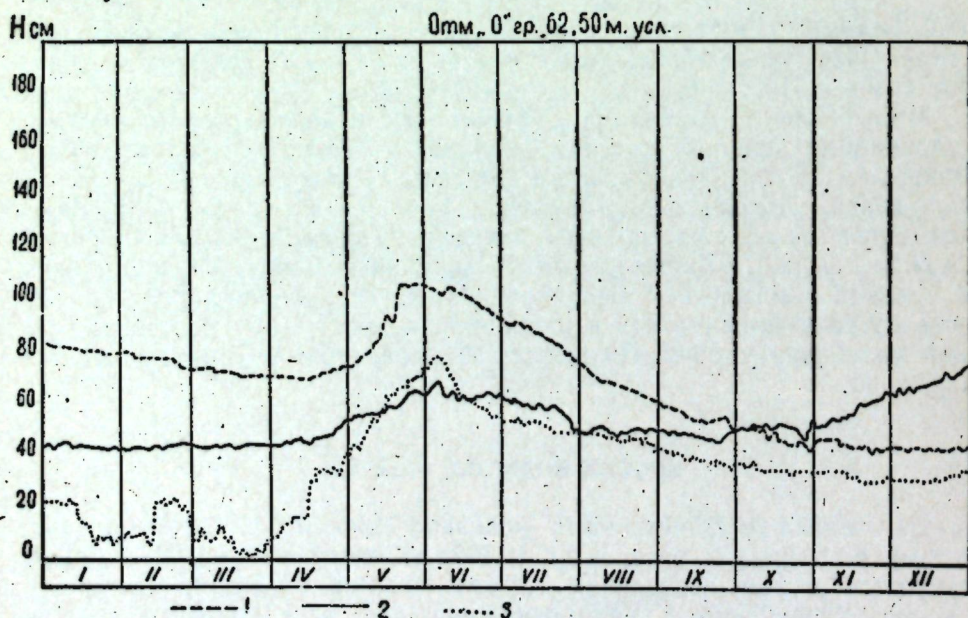


Рис. 11. Графики колебания уровней оз. Сандаал у д. Сопоха за характерные годы.
1 — наибольший — 1924 г.; 2 — близкий к среднему — 1917 г.; 3 — наименьший — 1934 г.

Таблица 8
Характерные величины весеннего подъема оз. Сандаал

	Начало	Конец	Продолжительность, дни	Повышение уровня за период подъема, см
Средняя дата	22/IV	16/VI	средняя 48	среднее 10
Самая ранняя	10/III	12/V	наибольшая 74	наибольшее 31
Самая поздняя	8/V	3/VII	наименьшая 5	наименьшее 1

Многолетние колебания уровня оз. Сандаал характеризуются отклонениями средних годовых уровней от среднего многолетнего в пределах 53 см (приложение, табл. 4). Абсолютная амплитуда уровней 105 см. Графики изменения уровня за характерные годы приводятся на рис. 11, изменения площади зеркала даны в табл. 1.

УРОВНИ ВОДЫ ГИМОЛЬСКОГО ОЗЕРА

Гимольское озеро находится в бассейне озерно-речной системы р. Суны в 182—203 км от ее устья (рис. 9 А). Общие характеристики озера приведены в табл. 1. Оз. Гимольское относится к группе верхнесунских озер, в которую, кроме Гимольского, входят озера: Ройкнаволоцкое, Кудамгубское, Чудозеро и Поросозеро. В будущем все они войдут в зону Валазминского водохранилища.

Характерной особенностью уровня озера является наличие двух максимумов — весеннего половодья и осенних паводков и двух минимумов — в летнюю и зимнюю межени, причем зимняя межень ниже летней. Наибольшие месячные амплитуды наблюдаются в мае и достигают 160 см, в январе-феврале уровни почти стабильны. Средние годовые амплитуды изменяются от 53 до 155 см (приложение, табл. 4).

Подъем уровней весной начинается в среднем в конце апреля и продолжается около месяца (табл. 9). Средняя интенсивность подъема за сутки 3 см, наибольшая — 15 см. Высокие горизонты удерживаются до 9 дней, в среднем — не более 3 дней.

Таблица 9
Характеристики весеннего подъема уровней оз. Гимольского

	Начало	Конец	Продолжительность, дни	Повышение уровня за период подъема, см
Средняя дата	30/IV	2/VI	средняя 32	среднее 86
Самая ранняя	15/IV	16/V	наибольшая 42	наибольшее 137
Самая поздняя	17/V	14/VI	наименьшая 21	наименьшее 42

Спад уровней продолжается до сентября, когда и наблюдаются наименьшие горизонты летней межени. Летняя межень недолгая. В отдельные годы низкие уровни удерживаются всего несколько дней затем начинается подъем уровней от осенних дождей.

В некоторые годы наибольшие уровни паводков превышают наибольшие уровни половодья (1935 г.). С середины ноября начинается спад уровней, продолжающийся до конца апреля. Зимняя межень неустойчивая. Понижение уровня за зиму достигает 102 см. Графики колебания уровней за характерные годы даны на рис. 12.

Многолетние изменения уровня (приложение, табл. 4) отличаются неустойчивостью: периоды положительных и отрицательных отклоне-

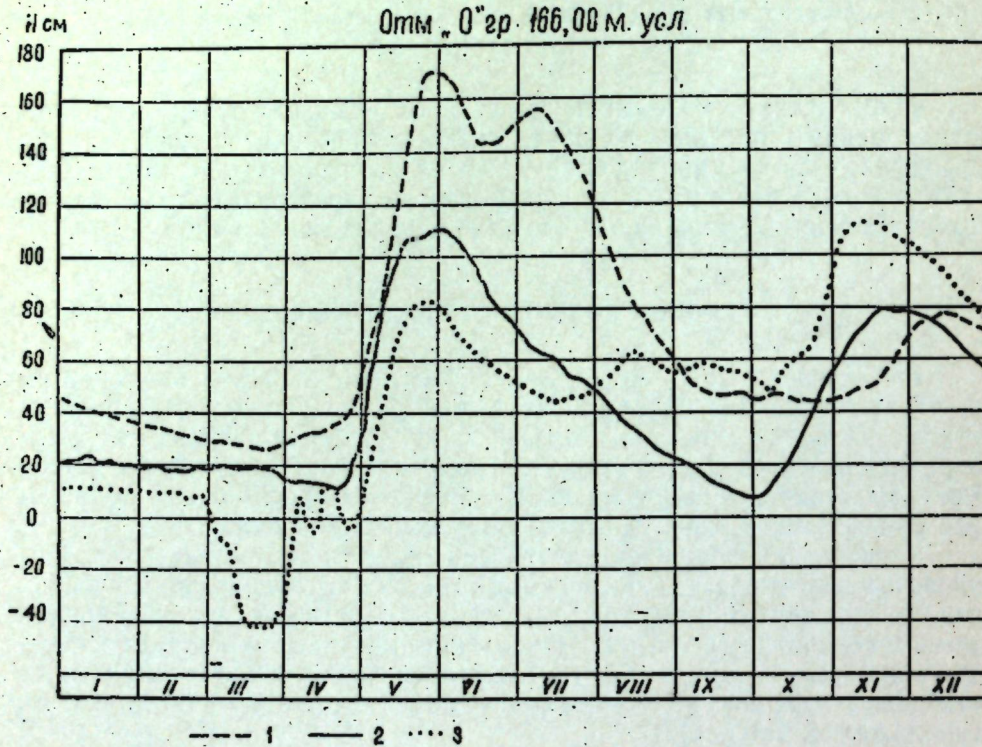


Рис. 12. Графики колебания уровней оз. Гимольского у д. Гимолы за характерные годы.

1 — наибольший — 1938 г.; 2 — близкий к среднему — 1934 г.; 3 — наименьший — 1928 г.

ний годовых уровней от среднего многолетнего короткие, что объясняется меньшей инерционной способностью Гимольского озера, чем озер Ковды и Выга. Общая тенденция изменения водности в многолетнем режиме совпадает с другими озерами. Абсолютные и относительные изменения площади зеркала озера показаны в табл. 1.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УРОВЕННОГО РЕЖИМА ОЗЕР В ЕСТЕСТВЕННОМ СОСТОЯНИИ

Сведения о годовых изменениях уровня режима восьми озер Карелии и совмещенные для них типовые графики уровней (рис. 13) приводят к выводу о том, что каждому из озер свойственно свое внутригодовое распределение уровней. Однако из рис. 13 и табл. 1

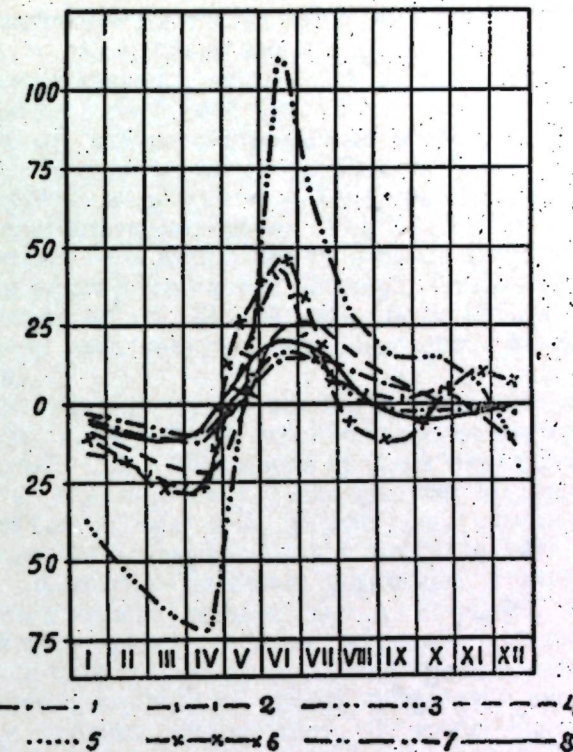


Рис. 13. Совмещенные типовые графики уровней озер.

1 — Топозеро; 2 — Пяозеро; 3 — Ковдозеро; 4 — Сегозеро; 5 — Выгозеро; 6 — оз. Гимольское; 7 — Пальезеро; 8 — оз. Сандал.

Таблица 10

Средние многолетние амплитуды уровней озер Карелии, наблюдаемые и вычисленные по формуле В. С. Сумарокова (1947)

№ п/п.	Озеро	Удельный водосбор	Число лет наблюдений	Амплитуда уровней средняя многолетняя А, см	
				наблюденная	вычисленная по формуле Сумарокова
1	Топозеро	3,6	20	41	56
2	Пальезеро	3,8	12	33	57
3	Святозеро	5,6	18	57	64
4	Сегозеро	10	13	61	82
5	Энгозеро	11,4	11	47	87
6	Ондозеро	13,6	10	71	96
7	Пяозеро	20	11	82	122
8	Гимольское	33	19	104	174
9	Верхнее Куйто	38,6	14	127	196
10	Среднее Куйто	39,0	12	109	200
11	Ковдозеро	87	23	210	390

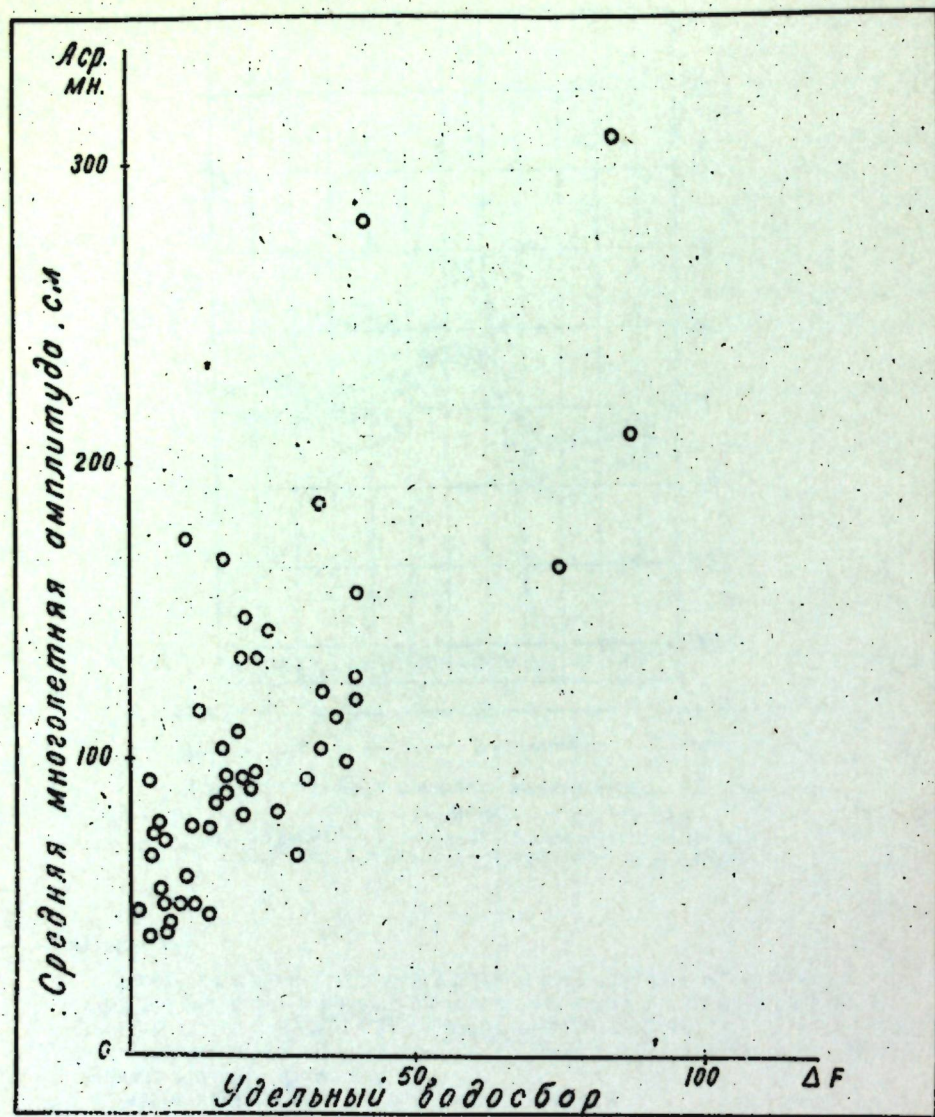


Рис. 14. Кривая зависимости A (средней многолетней амплитуды, см) от ΔF (удельного водосбора) для некоторых озер Карелии.

можно видеть, что озера с равными или близкими отношениями площади водосбора озера к площади его зеркала имеют и близкие по значениям средние многолетние амплитуды колебания уровней. На зависимость амплитуды уровня от этой безразмерной величины впервые указал Ф. А. Форель (1912). В отечественной гидрологической литературе приведенное отношение известно как коэффициент питания (а), по В. С. Сумарокову (1947), или как удельный водосбор (ΔF), по С. В. Григорьеву (1959). В 1947 г. Сумароковым была предложена графическая зависимость средней многолетней амплитуды уровня озер от их коэффициента питания и ее аналитическое выражение $A = 4a + 42$. Подсчитанные нами средние многолетние амплитуды уровней (A) для ряда озер Карелии по формуле Сумарокова и сравнение полученных величин с вычисленными по фактическим наблюдениям (табл. 10)

показали, что наблюдаемые амплитуды ниже вычисленных. Однако общая зависимость уменьшения амплитуды с уменьшением удельного водосбора хорошо выражена, что и было использовано нами при сравнительном анализе уровней озер (рис. 14).

По величине ΔF все рассматриваемые озера разделены на 3 группы: 1) с $\Delta F \leq 10$; 2) с ΔF от 10 до 50; 3) с $\Delta F \geq 50$.

К первой группе озер отнесены Топозеро, Палье, Санда и Сегозеро. ΔF их соответственно равны 3,6; 3,8; 6,7 и 10,0; а средние многолетние амплитуды — A : 41, 38, 42 и 61 см (рис. 15а).

Вторую группу озер составили Пяозеро, Гимольское и Выгозеро с ΔF соответственно 20, 33, 34 и A — 82, 104 и 124 см¹ (рис. 5 б).

Третью группу озер представляет Ковдозеро с ΔF 87 и A равной 210 см (рис. 15в).

Приведенные сведения об уровненом режиме озер характеризуют уровни Пальезера, как наиболее устойчивые из рассмотренных восьми озер. При ΔF равной 3,8 у Пальезера средняя многолетняя амплитуда равна 38 см, т. е. меньше, чем у Топозера, где ΔF равна 3,6. Более существенное различие, чем в A , у этих двух озер, с почти равными ΔF , наблюдается во внутригодовом распределении уровней. Так, зимние уровни Пальезера наиболее устойчивы и менее отклонены от среднего многолетнего уровня, чем у Топозера. Период аккумуляции в Пяозере равен четырем месяцам, в Топозере — шести (табл. 11). У Топозера совсем не выражены летняя межень и осенние паводки. У Пальезера средние уровни сентября и октября остаются несколько ниже средних многолетних. В ноябре уровень держится около среднего многолетнего, а с декабря начинается зимняя межень (рис. 15а). Что же определяет различие уровненого режима озер при равных или близких ΔF ? Для объяснения этого различия обратимся к морфолого-гидрографическим характеристикам озер (табл. 1). Как видно из табл. 1, акватория Топозера в 10 раз больше, чем у Пальезера; Топозеро в 5 раз больше расчленено, и слой притока, поступающий на единицу его акватории, в 1,5 раза меньше, т. е. морфо-

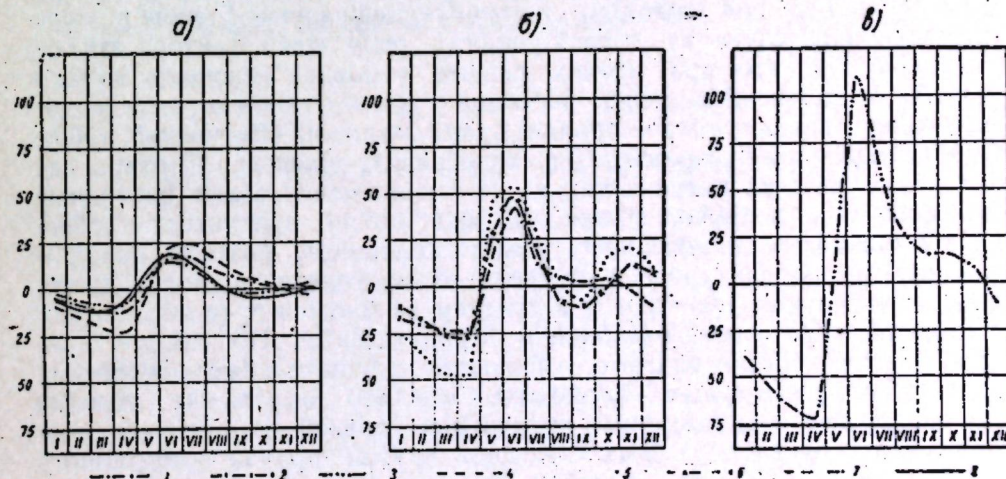


Рис. 15. Группы типовых графиков уровней озер по удельному водосбору: а) с ΔF до 10; б) с $\Delta F > 10$, но < 50 ; в) с удельным водосбором $\Delta F > 50$.

1 — Топозеро; 2 — Пяозеро; 3 — Ковдозеро; 4 — Сегозеро; 5 — Выгозеро; 6 — оз. Гимольское; 7 — Пальезеро; 8 — оз. Санда.

¹ Для Выгозера по трехлетнему ряду.

метрические данные Топозера характеризуют его большую регулируемую способность. О регулирующей роли площади зеркала и влияния ее на уровни за счет снеговых осадков, выпадающих на ледяной покров, пишут В. Г. Андриянов и С. И. Руденко (1939). Сущность явления состоит в том, что уровни в озере устанавливаются такими же, как если бы масса воды, заключенная в ледяном покрове, образовавшаяся за счет запасов воды водоема и в снеговых осадках, выпадающих на ледяной покров, была в жидком состоянии. Чем больше площадь озера, тем больше роль снеговых осадков, тем устойчивее должны быть уровни зимней межени. Авторы отмечают также, что недоучет влияния снеговых осадков в период ледостава может повлечь за собой преувеличение роли грунтового питания в водном балансе водоема.

В периоды, свободные ото льда, в качестве дополнительного к акватории регулятора притока, поступающего в озеро, выступает форма озерной чаши, характеризующаяся как кривыми объемов и площадей, так и общей расчлененностью озера. Этими показателями оценивается аккумулярующая емкость озера, под которой понимается величина объема вод половодья и паводков, идущих на инфильтрацию в грунты и на заполнение неровностей рельефа в затопляемой части озерной котловины. По механизму своего действия этот процесс аналогичен береговому регулированию на реках, рассмотренному подробно Б. И. Куделиным (1950). На озерах его можно назвать „котловинным регулированием“. При прочих равных условиях аккумулярующая емкость будет больше у озер с высокой общей расчлененностью и с кривыми объемов и площадей озер выпуклой формы, где удельные затопления (площади, затопляемые при подъеме горизонта воды в озере на 1 м, выраженные в процентах к $F_{\text{ср.}}$ зеркала) больше. Возвращаясь к сравнению роли факторов, регулирующих уровни у Топозера и Пальезера, в весенне-летний период видим, что они выше у Топозера (табл. 1).

Во все периоды года одним из важнейших регуляторов уровней в озере является характер истокового участка вытекающей из озера реки (форма кривой расходов), лимитирующей падение уровня в озере или величину слива из него. Сущность роли этого фактора заключается в том, что при прочих равных условиях (площадь живого сечения и др.) коэффициенты расходов у разных типов истоков (водопад, порог, канал, сала — пролив) будут различны (Литинский, 1960). Это находит свое отражение в колебаниях уровней. У озер, где истоковые участки вытекающих из них рек имеют малые расходные коэффициенты, в период половодья река может пропустить („сбросить“) только небольшую часть объема половодья, поэтому положительные отклонения уровней от среднего многолетнего могут достигать значительной величины и в среднем за много лет (в абсолютном выражении) превышать отклонения отрицательные. По той же причине уровни нерезко падают; у Топозера отрицательные отклонения больше положительных. Возможно, что это выражение условий сброса. Малые отрицательные отклонения уровней от среднего многолетнего у озер могут быть и за счет других причин — подземного питания или снеговых осадков. Поэтому при анализе, особенно межени горизонтов, важно установить, какими причинами вызвано их высокое или низкое состояние.

Из озер Топозера и Пальезера наиболее устойчивая межень отмечена у последнего. Отметим, что Пальезеро глубоководнее Топозера как по абсолютной, так и средней глубине (табл. 1).

По генезису котловины Пальезеро — глубокая тектоническая впадина (Бискэ, 1959), представляющая собой небольшую криптодепрессию. А. Н. Малявкин (1953) утверждает, что глубокие тектонические озера Карелии имеют постоянное и обильное подземное питание, отчего минимальные модули стока рек, вытекающих из таких озер, могут достигать 30—35% от среднего многолетнего модуля стока. Малявкин разделяет реки Карелии на группы, определяемые озерностью водосборов; с увеличением озерности увеличивается и доля подземного стока. Разницы в глубинах озер Малявкин не учитывает. Сравнительная стабильность уровней зимней межени в Пальезере, чего не наблюдается в Топозере, где меньше ΔF и выше озерность, приводит нас к логическому выводу о том, что при учете роли подземного питания в общем стоке в озере наряду с общей озерностью водосборов нужно учитывать и глубины озер, расположенных в бассейнах, так как максимальная и средняя глубина озер отражает врезанность озерной чаши в толщу бассейна, а от степени врезанности зависит дренирование озерной чаши грунтовых вод и разгрузка в озеро напорных вод из тектонических трещин кристаллических пород. Это значит, что при прочих равных условиях, чем больше глубина озера, тем вероятнее обнажение водоносных горизонтов. В 1959 г. Д. Л. Соколовский писал, что зарегулированность стока глубоких водоемов обуславливается всем объемом регулирующего его озера. К сожалению, дальнейшего разъяснения этого тезиса у Соколовского не приводится.

Уровненный режим следующего озера — Сандаля, входящего в первую группу с ΔF равным 6,7 по значению А несколько аномально в отношении общей зависимости $A = f(\Delta F)$. При ΔF Сандаля, почти вдвое большей, чем у Топозера, А Сандаля практически равна топорской, а ход летне-осенних уровней аналогичен пальезерским. Основной причиной, умеряющей уровни Сандаля, является гидрографическая структура бассейна с высокой общей и приведенной озерностью, которую определяет расположенное выше Пальезеро (рис. 10 А), отчего сток в Сандаля поступает уже достаточно выравненным. Однако котловинное регулирование Сандаля недостаточно высокое, поэтому летняя межень в Сандаля выражена хорошо (табл. 11).

Таблица 11

Средние месячные уровни озер первой группы в отклонениях от среднего многолетнего

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Топозеро	-5	-8	-11	-12	+1	+14	+14	+9	+6	+1	-1	-3
Пальезеро	-3	-6	-8	-9	+7	+16	+11	+1	-1	-2	0	-2
Сандаля	-6	-9	-11	-7	+11	+17	+11	+2	-3	-5	-3	-1
Сегозеро	-9	-13	-19	-22	-3	+23	+25	+15	+7	+1	0	0

Уровни Сегозера, входящего в первую группу с ΔF равной 10, характерны малыми месячными и годовыми амплитудами, медленным весенним подъемом и еще более плавным и растянутым спадом. Летней межени в Сегозере не наблюдается. Действие всех морфолого-

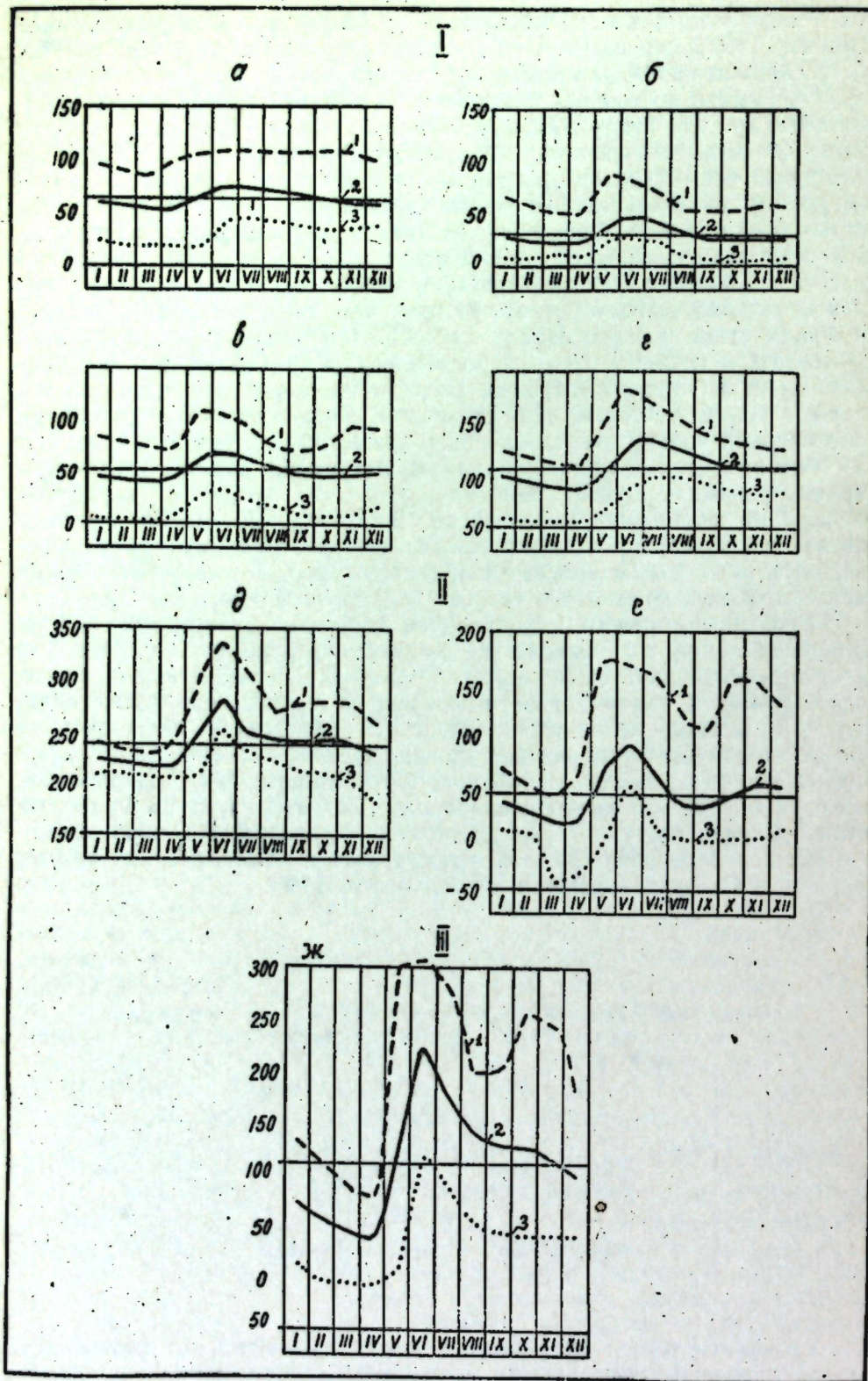


Рис. 16. Графики характерных уровней озер в отклонениях от среднего многолетнего. а) Топозеро; б) Пальезеро; в) оз. Санда; г) Сегозеро; д) Пляозеро; е) оз. Гимольское; ж) Ковдозеро.

1 — наибольший; 2 — средний; 3 — наименьший.

морфометрических факторов озер и гидрографии их водосборов, показанных на примере уровней Топозера, Пальезера и Санда, подтверждается и уровнями Сегозера. Так, все показатели, приведенные для Сегозера в табл. 1, т. е. высокая общая и взвешенная озерность водосбора, большая акватория, немалая его расчлененность и наибольшая глубина, могут быть только умеряющими, что и наблюдается в действительности. Сколько-нибудь заметного преобладающего влияния группы морфолого-морфометрических и гидрографических факторов на формирование уровней Сегозера не наблюдается. Особенности уровня режима озер первой группы сводятся к следующему.

Годовой ход уровней отличается наибольшей устойчивостью. Средняя многолетняя амплитуда уровней озер 40—60 см, абсолютная 80—120—130 см. Продолжительность весеннего подъема достигает двух месяцев. Средняя интенсивность подъема менее 1 см в сутки. По характеру спада в озерах первой группы выделяются Топозеро и Сегозеро — озера с большими акваториями. За счет большой аккумуляющей способности этих озер спад у них медленный, растянутый, летней межени не наблюдается: уровни постепенно снижаются до начала половодья следующего года (рис. 17а). У Пальезера и Санда — озер с меньшими площадями зеркала (менее 200 км²) — с сентября по ноябрь уровни в озере остаются ниже средних многолетних, т. е. хорошо видна летняя межень. Выраженного осеннего паводка на озерах первой группы не наблюдается, но некоторое превышение средних многолетних уровней у Пальезера и Санда хорошо заметно. Так, в характере распределения уровней летно-осеннего периода проявляется влияние морфолого-морфометрических характеристик озер — в основном величины площади зеркала и рельефа затопляемой части озерной котловины (рис. 17).

В ходе уровней периода зимней межени отражается совокупное действие подземного питания озер, а также типа истока вытекающей

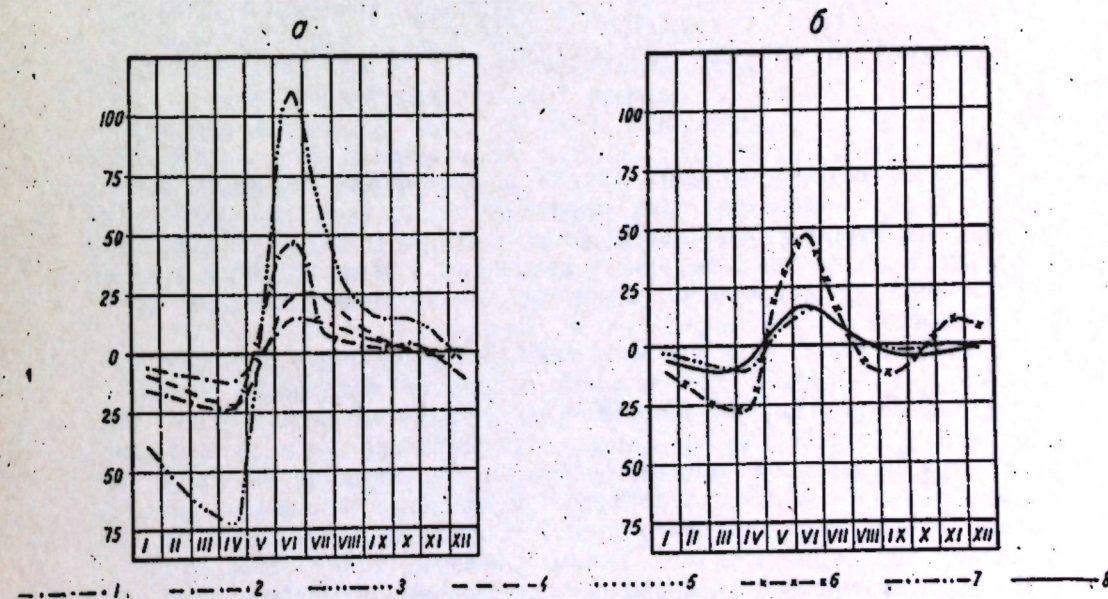


Рис. 17. Группы типовых графиков уровней озер с различным характером летне-осенней межени. а) озера, у которых летне-осенняя межень не выражена (с F зерк. > 250 км²); б) озера с летне-осенней меженью (с F зерк. < 250 км²). 1 — Топозеро; 2 — Пляозеро; 3 — Ковдозеро; 4 — Сегозеро; 5 — Выгозеро; 6 — оз. Гимольское; 7 — Пальезеро; 8 — оз. Санда.

из него реки. На влияние последнего фактора косвенно указывают графики положительных и отрицательных отклонений месячных уровней от их средней многолетней величины, показанные на рис. 16. У Пальезера положительные отклонения значительно превышают отрицательные. Но есть ли это результат затрудненного слива из озера, а отсюда и устойчивость уровней воды зимой? К сожалению, влияние истоковых участков рек на уровенный режим озер, как и многих других морфологических и гидрографических факторов, остается неизученным не только в количественном, но и качественном отношении, а поэтому заслуживает большого внимания.

Устойчивостью зимних уровней из озер первой группы выделяются Пальезеро и Топозеро. Наибольшего падения за зиму достигают уровни Сегозера. Среднее понижение уровней за зиму для первой группы озер 15—25 см.

Озера второй группы — Гимольское и Пяозеро¹ — различны по удельному водосбору, чем затрудняется сравнительный анализ их уровней. Однако обращает внимание морфологическое различие озер и его отражение во внутригодовом ходе уровней (табл. 12). Акватория Пяозера, в 7 раз превосходящая акваторию Гимольского озера, обеспечивает высокую аккумуляцию вод половодья, достаточную для поддержания летне-осенних уровней, выше средних многолетних, тогда как уже в озерах первой группы летняя межень была выражена (рис. 17).

Таблица 12

Средние месячные уровни озер второй группы в отклонениях от среднего многолетнего

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Пяозеро . .	-16	-18	-22	-23	+12	+42	+12	+4	+2	+4	-1	-12
Гимольское	-11	-18	-27	-27	+25	+47	+17	-9	-12	-2	+11	+8

Особенностью морфологических характеристик оз. Гимольского является расплывчатость его котловины; удельные затопления по имеющимся данным наибольшие из пяти озер² (табл. 1). Однако при небольших абсолютных значениях акватории и затопляемых площадей котловинное регулирование озера не обеспечивает высоких уровней лета.

Отметим также, что с почти равными значениями для озер второй группы общей и приведенной озерности водосборов (табл. 1) последние по-разному воздействуют на уровенный режим озер. Так, основной приток Пяозера р. Оланга сравнительно мало зарегулирована; при невысокой общей озерности ее бассейна озера в нем расположены в основном в верховье, в пределах Финляндии (рис. 3). Равномерность внутригодового стока р. Софьянги уменьшается ее безозерным притоком Пончей. Таким образом, более 50% притока в Пяозеро поступает с выраженным сезонным распределением, что уменьшает трансформирующую роль Пяозера.

¹ Выгозеро с трехлетним рядом наблюдений не рассматривается.

² По Ковдозеру и Пальезеру топографических материалов нет.

Гидрографическая структура Гимольского водосбора в отличие от Пяозерского характерна высокой озерностью частных водосборов (притоков) и равномерным распределением озер в их составе, что уменьшает неравномерность годового хода уровней. Таким образом, у озер второй группы — Пяозера и Гимольского — с удельными водосборами от 20 до 33 мы видим не только увеличение средних многолетних и абсолютных амплитуд соответственно до 80—100 и 150—200 см, но и значительное изменение внутригодового хода уровней (рис. 17а, б). Период весеннего подъема на этих озерах сокращается до 1,0—1,5 месяцев, скорость подъема возрастает до 3 см в сутки.

В отличие от озер первой группы у оз. Гимольского наблюдаются не только два минимума уровней (в первой группе Пальезеро и Санда), но и два максимума: весенний и осенний. Хорошо выраженную летнюю межень и осенний паводок, вероятно, нужно рассматривать как результат недостаточного эффекта берегового регулирования, т. е. влияния морфолого-морфометрических характеристик озера. Падение уровней за зиму у озер этой группы до 35 см.

Пяозеро, обладая не только меньшим удельным водосбором, но и в 8 раз большей, чем у оз. Гимольского, площадью зеркала, не имеет ни летней межени, ни осеннего паводка (табл. 13).

У Ковдозера, отнесенного нами к третьей группе (рис. 15в), удельный водосбор достигает 78. Типовой график уровней Ковдозера имеет большой размах колебаний, глубокую зимнюю сработку; у него нет летней межени. Многолетняя амплитуда уровней Ковдозера 200 см, абсолютная — 300 см. Средняя высота подъема за половодье достигает 2 м, а интенсивность подъема до 5 см в сутки. Существенной особенностью Ковдозера является отсутствие летне-осенней межени. Такой способностью не обладают даже озера, имеющие удельный водосбор менее 10 (Пальезеро; Санда). Эту особенность уровенного режима можно объяснить только характером озерной котловины, имеющей множество мелких озер и понижений рельефа с отметками, мало превышающими средний многолетний горизонт Ковдозера. Поэтому во время весеннего половодья все эти озера и понижения заполняются тальми водами, а затем в течение лета постепенно понижают свои уровни, увеличивая тем самым сток в Ковдозеро и поддерживая его высокие горизонты. Здесь наибольшее выражение получает процесс берегового котловинного регулирования озер, обусловленный морфологией и геологией озерной котловины. Во внутригодовом ходе уровней Ковдозера заметно глубокое

Таблица 13

Среднемесячные уровни Ковдозера в отклонениях от среднего многолетнего

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	-38	-54	-66	-72	+6	+110	+62	+27	+15	+15	+8	-12

понижение горизонтов в зимнюю межень (табл. 13, рис. 15б), что может быть обусловлено не только иссякающими к концу зимы запасами грунтовых вод в бассейне, но и условиями слива из озера.

При высоком удельном водосборе усиливается роль структуры бассейна в уровенном режиме озера. В гидрографическом отношении

водосбор Ковдозера представляет собой почти целиком бассейн системы р. Ковды (рис. 3 А). Нарастание водосбора в сравнении с Пяозером осуществляется главным образом за счет водосбора р. Тумчи (притока Ковды), впадающей выше Ковдозера и за счет притоков самого озера. Около 93% всего притока в озеро приходится на реки Ковду (Иову) и Лопскую. Формирование их стока сложное, обе реки имеют высокую общую озерность. Однако имеющиеся в их бассейнах крупные озера расположены в верховьях, и их регулирующее действие на сток, поступающий в Ковдозеро, ослаблено. Так, Ковда (Иова) при впадении в Ковдозеро имеет озерность 15,8, а Лопская 20,1%. Взвешенная же их озерность, по А. А. Соколову (1955), снижается соответственно до 10,2 и 8,2%, т. е. в 1,5—2,5 раза, а площадь водосбора растет: Ковды в 1,5, Лопской в 2,5 раза. Исследованием Соколова (1955) доказано, что если основные регулирующие объемы находятся в верховьях рек, впадающих в исследуемое озеро и площадь водосбора реки возрастает в 3—4 раза, то регулирующее действие таких объемов (верховых озер) почти не сказывается. Наибольший эффект регулирования имеют озера, расположенные равномерно вдоль основных водотоков и находящиеся вблизи рассматриваемого озера. Таким образом, сложная гидрографическая структура водосбора озера с верховым расположением озер как в составе самой Ковды, так и ее притоков и притоков Ковдозера увеличивает амплитуды колебания уровней последнего и усиливает неравномерность внутригодового распределения при кажущейся высокой общей озерности бассейна.

Многолетние изменения уровней озер объективно могут быть охарактеризованы только на основании непрерывных наблюдений, которые на рассматриваемых озерах не превышают 12 лет (Ковдозеро).

Имеющиеся немногочисленные материалы по многолетнему изменению уровней озер показывают, что общая зависимость водности озер от выпадающих в их бассейнах осадков усиливается их инерционной, естественной многолетней регулирующей способностью. Сущность этого заключается в том, что чем больше озеро, тем про-

Таблица 14

Характерные амплитуды изменения площадей по отдельным озерам (приблизительно)

		Топозеро	Пяозеро	Ковдозеро	Выгозеро	Сегозеро	Гимольское	Пальезеро	Сандак
Абсолютная амплитуда	км ²	30	46	—	—	10	55	—	7
	% от средней площади зеркала	3,1	7,0	—	—	1,4	68	—	4,6
Средняя многолетняя	км ²	11	25	—	—	5	25	—	2
	% от средней площади зеркала	1,1	3,8	—	—	0,7	31	—	1,3
Наибольшая месячная	км ²	10	27	—	—	6	36	—	2
	% от средней площади зеркала	1,0	4,1	—	—	0,8	45	—	1,3

должительнее периоды положительного или отрицательного отклонения среднего годового уровня от среднего многолетнего.

В многолетнем изменении уровней озер наблюдается сравнительно согласный ход средних и крайних горизонтов, свидетельствующих об устойчивости годовых амплитуд.

Годовые амплитуды уровней воды зависят главным образом от величины положительных отклонений, устойчивость которых значительно меньше, чем отклонений отрицательных от среднего многолетнего уровня. Характерно, что у всех озер, кроме Топозера, положительные отклонения по годам превышают отрицательные. Эта закономерность, как и в годовом ходе, отражает влияние на режим уровней не только подземного питания, но, вероятно, и типа истоков вытекающих из озер рек.

Изменения амплитуды площадей зеркала озер (в соответствии с колебаниями уровней), определенные по кривым их зависимости, приведены в табл. 14.

Наименьшие изменения площади зеркала в течение отдельных лет и за многолетие имеет Сегозеро, наибольшие — оз. Гимольское.

ВЫВОДЫ К ПЕРВОЙ ЧАСТИ

1. Начало систематических водомерных наблюдений на крупных озерах Карелии — Топозере, Пяозере, Ковдозере — относится в основном к 1925 г., на Пальезере, Сандаке и Гимольском — к 1911 г. Периоды водомерных наблюдений на озерах различны по длительности, непрерывности и увязке „0“ графиков водомерных постов по высоте. Ряды, состоящие из полных лет наблюдений, не превышают 30.

2. Значительная стабильность уровня режима озер, обусловленная естественной зарегулированностью стока, дает возможность даже по имеющимся непродолжительным рядам наблюдений установить некоторые закономерности в годовом и частично в многолетнем распределении уровней озер.

3. Сравнительная характеристика уровня режима восьми наиболее крупных озер Карелии, разнотипных в генетическом, морфологическом, гидрологическом отношении и анализ типовых графиков групп озер, объединенных величиной их удельного водосбора, приводит к выводу о том, что у озер, расположенных в сравнительно одинаковых климатических условиях, внутригодовое распределение уровней воды различно и при прочих равных условиях зависит от ряда других физико-географических (не климатических) факторов, влияние которых увеличивается с ростом ΔF . Все эти факторы можно объединить в две группы.

Первая группа факторов отражает гидрографическую структуру бассейнов. Она может быть выражена через показатели общей и приведенной озерности с обязательным учетом расположения озер в бассейнах озерно-речных систем. Гидрографические факторы воздействуют на зарегулированность поступающего в озеро притока.

Вторая группа характеризует морфолого-морфометрические особенности озерной котловины, от которых зависит трансформирующая роль озера. К ней относятся: а) величина площади зеркала озера; б) расчлененность озерной чаши в ее верхней части; в) максимальная и средняя глубины озер; г) тип истокового участка реки.

Размер акватории в сочетании с рельефом затопляемой части озерной котловины определяют береговое (котловинное) регулирование на озерах.

Максимальная и средняя глубины озер отражают врезанность озерной чаши в толщу бассейна. От степени врезанности зависит обнажение водоносных горизонтов, т. е. доля участия в притоке грунтовых и подземных вод, определяющих уровни зимней межени.

Тип истокового участка вытекающей из озера реки при прочих равных условиях также может влиять на сток, лимитируя величину призмы регулирования и продолжительность слива из озера.

4. Влияние величины акватории и морфологии озерной котловины на внутригодовое распределение уровней хорошо проявляется в летне-осенних уровнях. Так, у больших озер с акваторией более 250 км^2 уровни летне-осеннего периода остаются выше среднего многолетнего, т. е. летней межени у таких озер не наблюдается; не происходит также и заметного повышения уровней от осенних дождей. К таким озерам относятся: из первой группы Топозеро и Сегозеро, из второй Пяозеро и из третьей — Ковдозеро.

Озера с площадью зеркала менее 250 км^2 имеют хорошо выраженную летнюю межень и повышение уровней от осенних дождей. К таким относятся из первой группы Пальезеро и Сандал, из второй группы оз. Гимольское.

5. Преобладающее влияние той или иной группы факторов на режим уровней озер приводит к смещению (разбросу точек) от прямолинейной зависимости $A = f(\Delta F)$, а в отдельных случаях даже аномальному положению.

6. Очевидно, что для практического применения существующая формула Сумарокова для подсчета средней многолетней амплитуды уровней озер нуждается в редуцирующем коэффициенте, учитывающем специфику гидрографической структуры водосборов и морфолого-морфометрические особенности озер. Значение редуцирующего коэффициента должно быть различным для озер с разной морфологией и гидрографическими условиями водосбора даже при равных или близких ΔF .

7. По величине удельного водосбора и значению средней многолетней амплитуды все рассмотренные озера можно разделить на три группы: 1) озера с ΔF до 10; 2) с ΔF 10—50; 3) озера с $\Delta F > 50$.

8. Озера первой группы (Топозеро, Пальезеро, Сандал и Сегозеро) отличаются наименьшими из восьми озер амплитудами и наибольшей устойчивостью уровней в течение года. Средняя многолетняя амплитуда их 40—60 см, абсолютная 80—130 см. В этой группе выделяются озера с большей площадью (Топозеро и Сегозеро), не имеющие летне-осенней межени, и озера меньшей акватории с летней меженью и повышением уровней от осенних дождей.

9. Озера второй группы (Пяозеро, Гимольское, Выгозеро) имеют средние многолетние амплитуды 80—100 см, абсолютные 150—200 см. В этой группе выделяется оз. Гимольское, имеющее меньшую акваторию, в годовом ходе уровней которого хорошо выражены два максимума — весенний и осенний и два минимума — зимний и летний.

10. Ковдозеро относится к третьей группе — с высоким удельным водосбором. Характерная особенность уровней Ковдозера — отсутствие летне-осенней межени — обусловлена сложным рельефом затопляемой части его котловины. Средняя многолетняя амплитуда уровней озера 200 см, абсолютная 300 см.

11. В Карелии около 44 тыс. озер. Из них 155 озер с площадью зеркала более 10 км^2 . Водомерными наблюдениями в прошлом и настоящем охвачено лишь около 60 озер, т. е. уровенный режим большинства озер остается неизученным. Вместе с тем многосторон-

нее использование карельских озер в целях гидроэнергетики, рыбного хозяйства, водного транспорта, водоснабжения и т. д. повышает актуальность исследований режимов уровней. Поэтому разработка генетического метода и его применение при изучении уровенного режима озер могут быть плодотворными в прогнозировании величины средней многолетней амплитуды и характера внутригодового хода уровней для еще не изученных озер.

УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ ОЗЕР В ЗАРЕГУЛИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ

По характеру образования водохранилища Карелии являются озерными. Их полезные объемы, которые используются для энергетического (и другого) регулирования стока, создаются путем подпора естественного горизонта озера, повышения отметки его уровня.

По типу регулирования существующие и проектируемые водохранилища относятся к водоемам с годовым и многолетним регулированием. Годовое регулирование имеют Ковдозерское, Выгозерское и Сандальское водохранилища. Цикл колебаний уровня этих водохранилищ составляет один год. Многолетнее регулирование сопровождается колебаниями уровня, отличными от тех, которые происходят при годовом регулировании: полный цикл предельного колебания уровней водохранилищ при этом происходит в течение нескольких лет. Многолетнее регулирование будет осуществлено Сегозерским и Валазминским водохранилищами.

Длительность действия водохранилищ Карелии различна. Некоторые из них прошли несколько ступеней регулирования в связи с поэтапным использованием озерно-речных систем. Зарегулированный режим уровней, по возможности, рассматривался отдельно для каждого этапа.

Для характеристики уровенного режима водохранилищ, насчитывающих несколько лет эксплуатации, были использованы натурные материалы уровенных наблюдений на водомерных постах системы гидрометеослужбы. Для строящихся и проектируемых водохранилищ использовались расчетные данные по уровням, заимствованные из проектов Ленгидэпа.

ЗАРЕГУЛИРОВАННЫЕ УРОВНИ КОВДОЗЕРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Ковдозерское водохранилище создано в нижнем течении озерно-речной системы р. Ковды путем подпора Ковдозера и смежных озер — Нотозера и Сенного — до отметки 38,0¹. При этом предельная высота подпора озер, образующих водохранилище, соответственно составит 8,0, 4,3, 4,0 (табл. 15).

Ковдозерское водохранилище производит годовое регулирование стока Ковды, обеспечивающего работу Княжегубской ГЭС.

С созданием Ковдозерского водохранилища произошли большие изменения не только в морфологии озер, образующих его (увеличение площади озер и глубины, изменение формы и пр.), но существенно изменилась и гидрография бассейна Нижней Ковды. Прекратил самостоятельное существование ряд мелких озер, таких как Беличе, Пажма, Ларионово, Лопское, Пертозеро, Пудас, расположенных

¹ По данным Ленгидэпа.

на разных отметках. Все они вошли в водохранилище, площадь которого при отметке НПП составила 608 км², т. е. увеличение площади зеркала произошло почти в 1,5 раза (табл. 15).

Таблица 15

Гидрографические показатели озера
и параметры водохранилища

Характеристики	Естественный режим (до 1954 г.)	Зарегулированный режим
Абсолютная высота зеркала озер (средний уровень), м	30,0	37,4
НПП (нормальный подпорный горизонт), м	—	38,0
ГМО (горизонт мертвого объема), м	—	34,5
Площадь зеркала, км ²	395,9*	608
Площадь водосбора, км ²	25915	25915
Удельный водосбор	87	43
Объем озера, км ³	нет сведений	—
В т. ч. полезный объем, км ³	—	1,9

Заполнение Ковдозера начато с 1955 г., т. е. к настоящему времени зарегулированный уровень режим насчитывает всего лишь четырехлетний ряд наблюдений. Поэтому для характеристики уровенных изменений использован

24-летний расчетный ряд (с 1926 по 1949 г.), заимствованный из проектировок Ленгидэпа.

Ковдозеро — водохранилище годового регулирования; уровни озера характеризуются годовым циклом уровенных изменений от отметки НПП до горизонта сработки. Последний определяется водностью года. По имеющемуся расчетному ряду горизонт сработки в большинстве случаев ограничивается отметкой 36,0 и 36,5 м, поэтому средняя многолетняя амплитуда зарегулированных уровней составляет 180 см и оказывается несколько ниже амплитуды естественного состояния. До запроектированного горизонта (34,5 м) водохранилище срабатывалось бы только в 1948 г. Предел изменения годовых амплитуд водохранилища, как и в естественном состоянии, равен 240 см. По

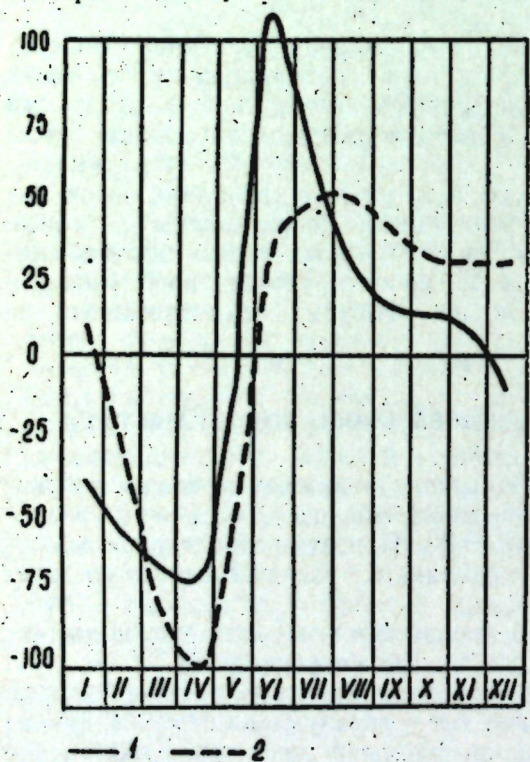


Рис. 18. Типовые графики естественных и зарегулированных уровней Ковдозера.

1 — естественные уровни; 2 — зарегулированные уровни.

* Вместе с Нотозером и Сенным.

годовым изменениям естественный и зарегулированный режим близки.

Отличие их заключается в характере внутригодового хода уровней (табл. 16). Если естественные амплитуды определялись главным образом величиной положительных отклонений, то при зарегулированном режиме увеличиваются отрицательные отклонения за счет глубокой зимней сработки водохранилища и уменьшаются уровни весеннего половодья, ограниченные отметкой НПП (рис. 18). Продолжительность весеннего половодья увеличилась до трех месяцев. В многоводные годы горизонты в озере удерживаются на отметке НПП продолжительное время, иногда в течение всего осенне-зимнего периода. Срабатывается водохранилище в последний предпаводковый месяц.

Таблица 16

Типовое распределение уровней Ковдозера
в естественном и зарегулированном состоянии

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Естественный режим	-38	-54	-66	-72	+6	+110	+62	+27	+15	+15	+8	-12
Зарегулированный режим	+10	-30	-80	-100	-40	+40	+50	+50	+40	+30	+30	+30

Многолетнее изменение уровней характеризуется абсолютной амплитудой, равной 350 см, или величине призмы сработки водохранилища (табл. 17).

Таблица 17

Характерные уровни Ковдозера и амплитуды их изменения в естественном и зарегулированном состоянии

	Естественный режим		Зарегулированный режим (по среднемесячным данным)
	по ежедневным данным	по среднемесячным данным	
Амплитуды, см			
Абсолютная	311	281	350
Средняя годовая	210	184	180
Наибольшая	269	227	350
Наименьшая	127	121	110
Средняя месячная	38	—	—
Наибольшая	251	—	—
Наименьшая	2	—	—
Уровни в отклонениях от среднего многолетнего, см			
Наивысший	+195	+167	+63
Наинизший	-116	-114	-230
Высший из средних годовых	+43	+43	+30
Низший	-53	-53	-60

Зарегулированные площади Ковдозерского водохранилища в соответствии с типом регулирования имеют также годовой цикл изменений. Средняя многолетняя амплитуда изменения зарегулированной площади составляет 51 км^2 , или 8% от средней площади зеркала. Схематическая карта площади затоплений Ковд-

Таблица 18

Амплитуды изменения площади зеркала
Ковдозера

Амплитуды, см	Естественный режим		Зарегулированный режим	
	км ²	% от F ^з зерк.	км ²	% от F ^з зерк.
Абсолютная	нет	сведений	140	24
Средняя многолетняя	"	"	51	8
Наибольшая годовая	"	"	140	24
Наименьшая	"	"	30	5

озерского водохранилища приводится в статье В. А. Фрейндлинга, помещенной в настоящем сборнике (стр. 95).

Многолетние изменения площади зеркала следуют изменению зарегулированных уровней отдельных лет и характеризуются годовыми амплитудами от 30 до 140 км^2 (табл. 18).

ЗАРЕГУЛИРОВАННЫЕ УРОВНИ ВЫГОЗЕРСКО-ОНДСКОГО И СЕГОЗЕРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ

Использование водной системы р. Выга и крупнейшего озера ее бассейна — Выгозера впервые начато в связи со строительством Беломорско-Балтийского водного пути, соединяющего Онежское озеро с Белым морем. Наполнение Выгозера и превращение его в водохранилище началось с апреля 1932 г. Горизонт воды Выгозера при этом был поднят на 6 м — с отметки 83,0 до отметки 89,0 м. Режим стока Выгозера стал регулироваться Надвойцкой плотиной, находящейся в ведении службы эксплуатации указанного водного пути.

Кроме того, подпором уровней озер Верхнего и Нижнего Вол-озера был создан водораздельный бьеф. Этот бьеф разделил трассу канала на две части: северную и южную.

Судоходная трасса южной части канала, или Повенчанская лестница, проходит деривацией по долине р. Повенчанки, впадающей в Повенецкую губу Онежского озера.

Водораздельный бьеф имеет два водоспуска (№ 132 и № 133) для сброса воды в южном и северном направлениях. В сторону Онежского озера вода расходовалась в размерах, необходимых для шлюзования; весь избыток воды сбрасывался в северном направлении по руслу р. Нижний Выг.

В таком виде р. Нижний Выг и Выгозеро использовались до 1954 г., когда началось энергетическое использование системы Выга, для чего

было создано Сегозерское водохранилище с многолетним компенсированным регулированием стока с бассейна р. Выга и объединенное Выгозерско-Ондское водохранилище с годичным регулированием стока (табл. 19).

Таблица 19

Периоды существования Сегозера
и Выгозера в естественном и зарегули-
рованном состоянии

Озеро (водохранилище)	Естественный режим	Зарегулированный режим	
		I этап	II этап
Выгозеро	до 1932 г.	1932—1953 гг.	с 1954 г.
Сегозеро	до 1956 г.	с 1956 г.	—

В существующем виде схема энергетического использования озерно-речной системы Выга следующая. На р. Онде (притоке Нижнего Выга) в 9,5 км от ее устья сооружена плотина, которая поднимает горизонт воды до отметки 89,4 м и создает в долине Онды и ее притоков небольшой бьеф-водохранилище ($F = 21,0 \text{ км}^2$ и $V = 86 \times 10^6 \text{ м}^3$). Этот бьеф посредством саморегулирующегося канала приключается к существующему Выгозерскому водохранилищу. Благодаря последнему весь сток с Выгозерского бассейна, трансформируясь в водохранилище, будет поступать к створу ГЭС, а затем вместе со стоком р. Онды и на каскад выгских ГЭС.

Таким образом, с 1954 г. выгозерский бьеф Беломорско-Балтийского водного пути используется в качестве энергетического водохранилища, которое также удовлетворяет и требования судоходства. Полезная емкость Выгозерского водохранилища, заключенная в пределах отметок 88,45—89,40 м абс., используемая для энергетического регулирования, составляет $1,14 \text{ км}^3$. Емкость объединенного Выгозерско-Ондского водохранилища ($1,22 \text{ км}^3$) используется только для внутригодового перераспределения стока. Многолетняя емкость создается в Сегозерском водохранилище, заполнение которого начато в 1956 г.

Сегозерское водохранилище образуется на базе Сегозера путем повышения его горизонта на 6,3 м (от 113,7 до 120,0 м абс.) плотиной в истоке р. Сегежи.

Выгозеро на первом этапе регулирования 22-года эксплуатировалось в целях судоходства. Материалы наблюдений за уровнем не охватывают всего периода, а на втором этапе имеется всего четырехлетний ряд наблюдений (табл. 20). Поэтому для характеристики зарегулированных уровней Выгозера на первом этапе использован более продолжительный 15-летний ряд наблюдений у д. Надвойцы и на втором этапе 39-летний расчетный ряд по проектным материалам Ленгидэпа.

Превращение Выгозера в водохранилище вызвало большие изменения как в гидрографии его бассейна, так и в морфологии самого озера. Так, р. Телекинка — бывший приток озера — перестала существовать и превратилась в его залив. Был затоплен ряд ранее самостоятельных озер, таких как оз. Боброво и др. Площадь озера

Таблица 20

Сведения о наличии имеющихся материалов уровенных наблюдений в зарегулированные периоды

Водпост	Годы наблюдений	Отметка „О“ графика, м усл.	Число лет наблюдений		
			полных	неполных	всего
I этап (1932—1953 гг.) — использование для судоходства					
Село Надвоицы	1933—1953	6,00	15	1	16
Дер. Вожмогора	1940—1953	5,50	14	—	14
Зал. Телекинский	1945—1953	93,90	8	1	9
		Всего	37	2	39
II этап (1954—1957 гг.) — комплексное использование					
Село Надвоицы	1954—1957	6,00	4	—	4
Дер. Вожмогора	1954—1957	5,50	4	—	4
Зал. Телекинский	1954—1957	93,90	4	—	4
		Всего	12	—	12
Расчетный ряд	1915—1953		39	—	39

возросла в 2,5 раза, удельный водосбор сократился вдвое, увеличилась максимальная глубина (табл. 21).

На втором этапе регулирования (после 1954 г.) морфологические изменения озера практически ничтожны, ибо повышение горизонта озера произошло в пределах средней годовой амплитуды его уровней.

Таблица 21

Гидрографические показатели Выгозера в естественном и зарегулированном состоянии

Характеристики	Естественный режим до 1932 г.	Зарегулированный режим	
		I этап 1932—1954 гг.	II этап (запроектированный)
Абсолютная высота зеркала озера (средний уровень), м абс.	83,0	89,0	89,2
НПГ, м абс.	—	нет сведений	89,40
ГМО, м абс.	—		88,45
Площадь зеркала, км ²	547	1190	1210
Площадь водосбора, км ²	18049	18049	18049
Удельный водосбор	33,0	15,1	15,0
Объем озера, км ³	3,38	≈7,10	≈7,20
В т. ч. полезный объем водохранилища, км ³	—	1,79	1,14

Зарегулированные уровни Выгозерского водохранилища на первом этапе определялись режимом регулирования (Надвоицкой плотинной), который сводился к поддержанию судоходных гарантированных глубин на озере в навигационный период. Средняя продолжительность навигации по данным Управления БВВП¹ составляет 177 дней (с 5 мая по 18 ноября). После закрытия навигации водохранилище опорожнялось.

Направленное изменение уровня режима выразилось в изменении внутригодового хода и снижении его амплитуд.

Если на типовом графике естественных уровней Выгозера были хорошо выражены высокие весеннее половодье и летняя и зимняя межени, то типовой график зарегулированных уровней характеризует снижение весеннего половодья и увеличение его продолжительности, а летняя межень исчезает за счет искусственного поддержания в озере высоких навигационных горизонтов (рис. 19, табл. 22).

Заполнение водохранилища начинается также в апреле, но продолжительность половодья на первом этапе возрастает до двух месяцев, ибо объем озера и его аккумуляционная способность увеличились, (отсюда и снижение уровней половодья), а приточные расходы оста-

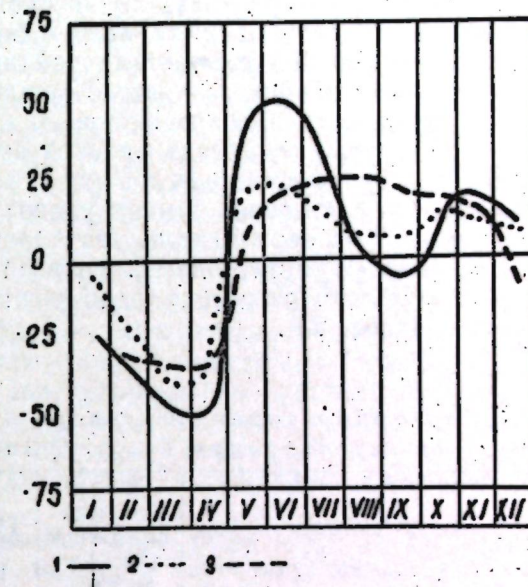


Рис. 19. Типовые графики естественных и зарегулированных уровней Выгозера.
1 — естественные уровни; 2 — зарегулированные уровни (I этап); 3 — зарегулированные уровни (II этап).

Средние месячные уровни воды Выгозера в отклонениях от среднего многолетнего

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Естественное состояние до 1932 г.	-25	-37	-48	-48	+45	+52	+25	0	-8	+15	+20	+9
Зарегулированный режим I этап (1932—1953 гг.)	-26	-32	-33	-35	+9	+22	+23	+25	+19	+18	+15	-8
Зарегулированный режим II этап (1914—1953 гг.)	-19	-18	-34	-43	-10	+15	+13	+6	+2	+5	+6	+6

¹ Беломорско-Балтийский водный путь.

лись те же. Достигнув уровня судоходных глубин (в мае-июне), горизонты в озере удерживаются высокими в течение всего навигационного периода. Но поскольку режим притока в озеро колеблется в значительных пределах, то и средний навигационный горизонт изменяется в пределах 42 см, при среднем 89,19 м абс. (1939—1953 гг.). Ход зимних уровней отличается устойчивостью в сравнении с естественным режимом и обуславливается медленной сработкой в это время полезной емкости водохранилища.

В результате снижения уровней весеннего половодья (что происходит в силу естественных причин и не связано с зарегулированным режимом) и повышения зимних уровней годовые амплитуды изменения уровней на первом этапе регулирования значительно снижаются.

Изменение внутригодовых уровней повлекло за собой изменение и в многолетнем режиме в сторону снижения неравномерности режима уровней (табл. 23).

Таблица 23

Характерные уровни Выгозера и амплитуды их изменения в естественном и зарегулированном состоянии

	Естественный режим (по ежедневным данным)	Зарегулированный режим (1932—1955 гг.)		Запроектированный режим (по расчетному периоду 1915—1953 гг.)
		по ежедневным данным	по средним месячным данным	
Амплитуды, см				
Абсолютная	(159)	130	112	139
Средняя годовая	(124)	97	78	73
Наибольшая годовая	(159)	116	98	134
Наименьшая	(108)	72	56	45
Средняя месячная	(27)	22	—	—
Наибольшая месячная	(84)	80	—	—
Наименьшая	0	1	—	—
Уровни в отклонениях от среднего многолетнего, см				
Наивысший	(+87)	+67	+58	+69
Наинизший	(-72)	-63	-54	-70
Высший из средних годовых	(+5)	+25	+25	+39
Низший из средних годовых	(-4)	-18	-18	-20

В навигационный период по имеющемуся ряду наблюдений абсолютная амплитуда составила 126 см, а предел ее изменения за навигацию в отдельные годы — 76 см. Сравнительно неустойчивые уровни периода навигации объясняются большими колебаниями притока в Выгозеро.

На втором этапе Выгозерское водохранилище используется в качестве энергетического с годичным регулированием стока с его бассейна. В соответствии с режимом регулирования уровни Выгозера изменяются от наивысшего горизонта, обусловленного величиной паводкового притока и ограниченного отметкой НПГ—89,4 м, до наинизшего горизонта сработки, установленного диспетчерскими условиями регулиро-

вания. Проектами предусмотрено при достаточности запасов воды в Сегозерском водохранилище сработку Выгозерского водохранилища производить до отметки 88,70 м. Если же запасы воды в Сегозере снижаются до 1 км³, сработка осуществляется до отметки 88,45 м. При обеспечении гарантированной отдачи ГЭС регулированием обеспечиваются требования судоходства и лесосплава.

По имеющемуся расчетному ряду в отдельные годы из-за недостаточности паводочного притока наивысшие горизонты водохранилища не достигли отметки НПГ и находились на уровне 89,1—89,3 м (1933, 1936, 1937, 1940, 1947, 1948), а в годы с высоким половодьем (1938, 1941, 1943, 1945, 1949) они превысили НПГ, достигнув в 1945 г. отметки 89,84 м. Таким образом, абсолютная амплитуда зарегулированных уровней составила 139 см, т. е. на несколько сантиметров превысила амплитуду на первом этапе регулирования за счет переполнения водохранилища в отдельные годы. Средняя многолетняя амплитуда оказалась равной 73 см — на 5 см ниже, чем в предыдущий период.

В годовом распределении зарегулированных уровней Выгозера на втором этапе сказывается специфика годового регулирования: водохранилище срабатывается и понижает свои уровни в периоды летней и зимней межени, когда приток с бассейна уменьшается (рис. 19).

В естественном состоянии на Выгозере были хорошо выраженными летняя межень и осенние паводки. Зарегулированные уровни на первом этапе поддерживались значительно выше среднего многолетнего, удовлетворяя требованиям судоходства в течение всего летне-осеннего навигационного периода. На втором этапе регулирования водохранилища, удовлетворяя требованиям главным образом энергетики, вынуждено срабатывать часть годичной емкости, но в то же время и не понижать уровни ниже тех, которые обеспечивают гарантированные глубины. Поэтому уровни в течение всего открытого периода на втором этапе регулирования остаются выше средних многолетних.

Уровни зимней межени определяются сработкой водохранилища, понижаясь до горизонта мертвого объема в последний предпаводковый месяц.

Карта Выгозера в естественном и зарегулированном состоянии приводится в настоящем сборнике, на стр. 98.

Режим площадей в соответствии с режимом регулирования на первом и втором этапах и кривой изменения площадей характеризуется данными табл. 24.

Таблица 24

Амплитуды изменения площадей Выгозерского водохранилища

За период наблюдений (за расчетный период)	Естественный режим	Зарегулированный режим			
		I этап		II этап	
		км ²	% от средней	км ²	% от средней
Абсолютная	нет сведений	115	9,7	145	12,0
Средняя многолетняя	•	79	6,6	77	6,4
Наибольшая годовая	•	100	8,4	140	11,5
Наименьшая	•	55	4,5	45	3,7

Обусловленные сравнительно малыми амплитудами сработки, колебания зарегулированных площадей в относительном выражении, как на первом так и втором этапах регулирования, сравнительно невелики и в относительном выражении близки к изменению площадей Сандаля.

В абсолютном выражении средняя многолетняя амплитуда изменения площади зеркала Выгозерского водохранилища является наибольшей из всех рассматриваемых водохранилищ.

Зарегулированные уровни Сегозера приводятся на основании 39-летнего расчетного ряда, заимствованного из проектировок Ленгидэпа.

Полезный объем водохранилища создается повышением горизонта воды в озере на 6 м. Однако морфологические изменения озера, определяемые характером его котловины, невелики и характеризуются данными табл. 25.

Таблица 25

Гидрографические показатели Сегозера и параметры Сегозерского водохранилища

Характеристики	Естественный режим (до 1956 г.)	Зарегулированный режим (по расчетным данным)
Абсолютная высота зеркала (ср. уровень), м абс.	114,00	118,12
НПГ, м	—	120,00
ГМО, м	—	114,95
Площадь зеркала, км ²	752,5	805,0
Площадь водосбора, км ²	7576	7576
Удельный водосбор	10	9,4
Объем озера, км ³	17,6	21,6
В т. ч. полезный объем водохранилища, км ³	—	4,0

Зарегулированные горизонты Сегозерского водохранилища, как и рассмотренного далее Валазминского, определяются в соответствии с типом регулирования, многолетним циклом изменения уровня от отметки НПГ до горизонта сработки — ГМО. Продолжительность цикла зависит от соотношения полезного объема водохранилища и объема притока, так называемого коэффициента наполнения. Чем больше этот коэффициент, тем продолжительнее периоды наполнения и сработки водохранилища. В начале расчетного периода Сегозерское водохранилище заполнялось бы в течение 4—5 лет, но поскольку период наполнения зависит также от сочетания лет различной водности, то в дальнейшем в течение ряда лет, характеризующихся многоводьем, водохранилище ежегодно заполнялось до отметки НПГ. Затем наступил маловодный 17-летний период, в который водохранилище дважды сбрасывалось до отметки ГМО и ни разу не достигло наивысшего подпорного горизонта. Таким образом, многолетние зарегулированные горизонты Сегозера характеризуются в среднем пятилетним циклом изменения уровня в пределах призмы сработки.

В зависимости от водности периода его горизонты в отдельные годы оказываются на весьма различающихся уровнях.

В большинстве случаев наивысшие горизонты находятся на отметках 117—119 м; в девяти годах они достигают нормального подпорного горизонта, установленного на отметке 120 м, а в трех годах уровни не превышают 115,6—115,75 м. Средний зарегулированный горизонт Сегозера за расчетный период 118,12 м (табл. 26).

Таблица 26

Характерные уровни Сегозера и амплитуды их изменения в естественном и зарегулированном состоянии

	Естественный режим		Зарегулированный режим по средним месячным данным
	по ежедневным данным	по средним месячным данным	
I. Амплитуды, см			
Абсолютная	127	115	505
Средняя годовая	61	53	129
Наибольшая годовая	92	76	250
Наименьшая	39	40	40
Средняя месячная	10	—	—
Наибольшая месячная	58	—	—
Наименьшая	0	—	—
II. Уровни в отклонениях от среднего многолетнего, см			
Наибольший	+76	+64	+188
Наименьший	-51	-51	-317
Высший из средних годовых	+15	+15	+170
Низший	-21	-21	-277

Абсолютная амплитуда уровней возросла в 4, средняя многолетняя — в 2,5 раза. Предел изменения годовых амплитуд увеличился с 36 до 210 см, т. е. зарегулированный режим уровней в отличие от естественного стал менее устойчив. Неустойчивость в многолетнем ходе отразилась и на внутригодовом распределении, в котором обычные, естественные фазы уровней в отдельные годы стали менее выраженными (табл. 27). Однако в среднем за многолетие типовой

Таблица 27

Типовое распределение уровней Сегозера для естественного и зарегулированного периодов

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Естественный	-9	-13	-19	-22	-3	+23	+25	+15	+7	+1	0	0
Зарегулированный	-22	-32	-44	-30	+0,6	+31	+35	+29	+18	+10	+3	-8

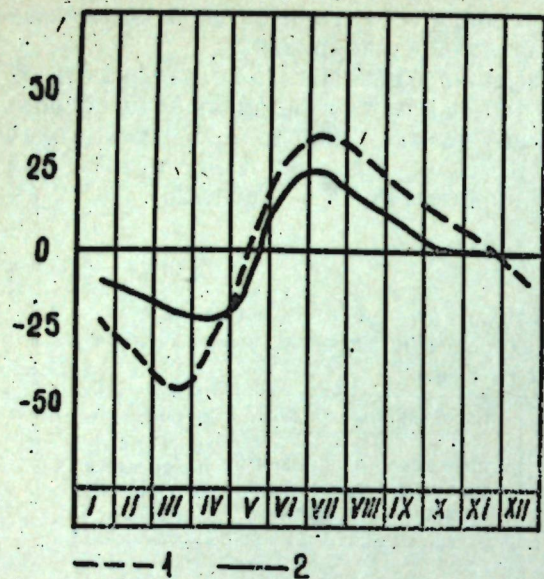


Рис. 20. Типовые графики естественных и зарегулированных уровней Сегозера.

1 — естественные уровни; 2 — зарегулированные уровни.

график зарегулированных уровней остается близким к естественному и отличается от последнего более глубокой зимней сработкой, почти вдвое большей продолжительностью весеннего половодья и большим размахом колебаний уровней (рис. 20).

Зарегулированные площади Сегозера отличаются наименьшей изменчивостью годовых амплитуд по отношению к средней площади зеркала (табл. 28). Эта особенность зарегулированного режима обусловлена характером склонов озерной котловины Сегозера в ее верхней части, имеющей большие уклоны побережья.

Морфологическим выражением этой особенности озерной котловины являются незначительные плановые изменения Сегозера в зарегулированном состоянии, приведенные в настоящем сборнике, в статье В. А. Фрейндлинга.

Таблица 28

Амплитуды изменения акватории Сегозера

	Естественный режим		Зарегулированный режим	
	км ²	% от средней	км ²	% от средней
Абсолютная	12	1,6	50	6,2
Средняя многолетняя	6	0,8	13	1,6
Наибольшая годовая	8	1,1	25	3,1
Наименьшая годовая	3	0,4	0	0

ЗАРЕГУЛИРОВАННЫЕ УРОВНИ ПАЛЬЕЗЕРСКОГО, САНДАЛЬСКОГО И ВАЛАЗМИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ

Начало энергетического использования Суны и крупных озер ее бассейна относится к 1929 г., когда в истоке р. Сандалки (притока Суны), вытекающей из оз. Санда, была построена плотина, а сток с Палье-Сандальского бассейна по Нигозерскому каналу был направлен на Кондопожскую ГЭС. Это был первый этап превращения оз. Санда в водохранилище, при котором горизонт воды в озере был повышен на 0,5 м. Ощутимых изменений при этом не произошло, поскольку повышение горизонта лишь на несколько сантиметров превысило многолетнюю амплитуду оз. Санда.

В 1936 г. для увеличения мощности Кондопожской ГЭС р. Суна в начале порога Гирвас была перекрыта плотиной, а сток Суны по вновь сооруженному Суна-Пальезерскому каналу был направлен в оз. Палье и далее через естественную водную систему: р. Нивка — оз. Кривозеро — р. Заводская — оз. Хижозеро — р. Тивдийка в оз. Санда (рис. 10 А). С переключением стока р. Суны естественный режим Пальезера был нарушен. Его горизонт был поднят в среднем на 1 м. Таким образом, озеро было превращено в водохранилище для регулирования стока р. Суны — это был первый этап измененного режима оз. Палье. На оз. Санда с 1936 г. начался второй этап регулирования, при котором в результате переключения стока р. Суны горизонт уровня Санда в среднем повысился на 2 м. Повышение уровня повлекло за собой изменение в гидрографии бассейна Санда. Габозеро, прилегающее к Сандалу с юго-запада, превратилось в залив озера; то же произошло и с Викшаламбой.

В 1941 г. плотина на Суне у Гирваса была разрушена; поступление ее вод в озера Палье и Санда прекратилось и произошло частичное восстановление их естественного режима. В 1947 г. плотина восстановлена.

В целях дальнейшего повышения энергетического эффекта Кондопожской и Пальесандальской ГЭС в бассейне Суны запроектировано создание Валазминского водохранилища на базе озер Верхней Суны — Гимольского, Ройкнаволоцкого и других. Валазминское водохранилище будет вести компенсированное многолетнее регулирование на наибольшее выравнивание стока р. Суны у Гирваса. С вводом в эксплуатацию Валазминского водохранилища на Пальезере начнется второй этап регулирования, а на оз. Санда — третий (табл. 29). При этом регулирующая роль водохранилищ Палье и Санда снизится и амплитуды колебания уровней воды в них уменьшатся. Кроме того, на третьем этапе регулирования предполагается небольшое повышение уровня в Сандале для увеличения мощности Кондопожской ГЭС.

В перспективе увеличение пропускной способности р. Нивки путем замены ее искусственным Палье-Сандальским каналом¹. В результате такой реконструкции уровенный режим водохранилищ Палье и Санда снова подвергнется изменению.

Такова в существующем виде и предполагаемая в ближайшей перспективе схема использования Суны и связанное с ней превращение наиболее крупных озер ее бассейна в водохранилища.

Таблица 29

Периоды существования озер бассейна р. Суны в естественном состоянии и эксплуатации их на разных этапах регулирования

Озеро	Естественный режим	Зарегулированный режим		
		I этап	II этап	III этап
Санда	до 1929 г.	1929—1936	1936—настоящее время	запроектированный
Палье	до 1936 г.	1936—настоящее время	запроектированный	—
Гимольская группа озер	настоящее время	запроектированный	—	—

¹ Это один из вариантов, — ред.

Сандальское водохранилище на первом этапе регулирования не имеет опубликованных уровенных наблюдений; второй этап регулирования характеризуется 12-летним рядом наблюдений у д. Сопоха, а для характеристики уровней на третьем этапе использованы расчетные данные восьмилетнего ряда, полученные автором (табл. 30).

Таблица 30

Сведения о наличии уровенных материалов оз. Сандал на разных этапах регулирования

Водпост	Годы наблюдений	Отметка, 0 ^а графика	Число лет наблюдений		
			полных	неполных	всего
	I этап сведений не имеется				
Сопоха	1937—1957	59,64 м абс. (7,00 м усл.)	12	1	13
	II этап				
Расчетный	1928—1936	—	8	—	8

Как уже отмечалось раньше, первый этап зарегулирования Сандала не сопровождался сколько-нибудь заметными изменениями ни в гидрографии его бассейна, ни в морфологии котловины озера.

На втором этапе регулирования, при переброске стока р. Суны, произошло резкое изменение гидрографии бассейна озера: площадь водосбора возрастает в 6,7 раза, удельный водосбор — в 2,4 раза (табл. 31). Изменились и морфометрические показатели самого озера, они не достигли значительных величин.

Таблица 31

Гидрографические характеристики озера и водохранилища Сандал

Характеристики	Естественное состояние (до 1929 г.)	Зарегулированный режим		
		I этап 1929—1936 гг.	II этап 1936—настоящее время	III этап (запроектированный)
Абсолютная высота зеркала (ср. уровень) м	59,44	59,94	61,94	≈62,77
НПГ, м	—	нет сведений	62,76	63,34
ГМО, м	—	—	60,62	61,01
Площадь зеркала, км ²	157	161	178	186
Площадь водосбора, км ²	1017	1017	6878	6878
Удельный водосбор	6,4	6,3	39,6	12,9
Объем озера, км ³	нет сведений	1,49	1,78	1,92
В т. ч. полезный объем, км ³	—	нет сведений	0,290	0,435

Если характер годового изменения уровней озер в естественном состоянии определяется соотношением их гидрографических и морфологических показателей, главным образом удельным водосбором, то зарегулированный режим уровней зависит от типа регулирования водохранилища.

Сандал — водохранилище многолетнего регулирования на первом и годового на втором этапе его использования. В соответствии с этим зарегулированные уровни имеют многолетний и годовой циклы с амплитудами, изменяющимися в пределах призмы сработки (табл. 32).

Таблица 32

Средние месячные уровни оз. Сандал в отклонениях от среднего многолетнего

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
В естественном состоянии	-6	-9	-11	-7	+11	+17	+11	+2	-3	-5	-3	-1	
При зарегулированном режиме	I этап	-5	-20	-44	-52	-30	+18	+33	+32	+23	+16	+18	+22
	II этап	-7	-12	-13	-13	-11	+6	+12	+13	+9	+5	+6	+4

На втором этапе регулирования годовые амплитуды уровней в сравнении с естественными возросли в 3,5 раза, а предел изменения их увеличился почти в 3 раза. Последнее обстоятельство появляется вследствие саморегулирования и недостаточной пропускной способности водной системы Суна — Палье и Палье — Сандал, что приводит к переполнению Пальезера при свободной емкости в оз. Сандал и сбросам расходов р. Суны у Гирваса при свободной емкости в Пальезере.

Такое несовершенство схемы использования отражается на величине ежегодной призмы сработки Сандала.

На третьем этапе регулирования при Валазминском водохранилище регулирующее действие оз. Сандал снизится. Амплитуды уровней уменьшатся вдвое в сравнении с предыдущим этапом, но они останутся выше естественных. Абсолютная высота зеркала озера несколько повысится. Для еще большего повышения горизонта Сандала за счет сработки части мертвого объема Пальезера, что могло бы дать некоторый энергетический эффект на Кондопожскую ГЭС, пропускная способность р. Нивки оказывается недостаточной. Поэтому про-

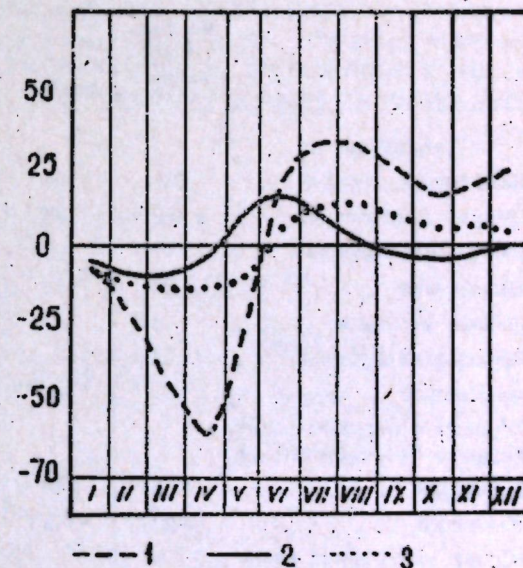


Рис. 21. Типовые графики естественных и зарегулированных уровней оз. Сандал. 1 — естественные уровни; 2 — зарегулированные уровни (II этап); 3 — зарегулированные уровни (III этап).

ектировками предусмотрено строительство канала Палье — Санда, после ввода в эксплуатацию которого режим уровней Санда снова изменится.

Типовой график зарегулированных уровней Санда на втором этапе регулирования характеризуется, в отличие от естественного (рис. 21), более высоким и продолжительным весенним половодьем и низкой зимней меженью.

Наполнение водохранилища и подъем уровней на втором этапе начинается в конце апреля-начале мая и продолжается до июля-августа, а в отдельные годы до декабря-января. С января по апрель водохранилище сбрасывается. Колебания уровней внутри отдельных лет определяются соотношениями приточных и зарегулированных расходов.

Зарегулированные уровни на втором этапе приближаются к естественным: зимняя межень сравнительно высокая, так как регулирование идет главным образом за счет многолетней емкости Валазминского водохранилища. Уровни лета и осени по-прежнему сохраняются высокими для поддержания возможно больших напоров на Кондопожской ГЭС.

Изменение многолетних уровней при зарегулированном режиме произошло в сторону большей изменчивости годовых абсолютных амплитуд (табл. 33).

В соответствии с изменением режима уровней оз. Санда при его зарегулировании изменяется и режим площадей.

Таблица 33

Характерные уровни оз. Санда и амплитуды их изменения

	Естественный режим (1912—1925 гг.)		Зарегулированный режим			
			II этап (1947—1957 гг.)		III этап (расчетный)	
	по ежедневным данным	по средним месячным данным	по ежедневным данным	по средним месячным данным	по ежедневным данным	по средним месячным данным
Амплитуды, см						
Абсолютная	105	94	214	210	—	243
Средняя многолетняя . . .	42	35	150	140	—	67
Наибольшая годовая	77	59	206	195	—	121
Наименьшая	24	18	68	61	—	23
Средняя месячная	8	—	22	—	—	—
Наибольшая месячная . . .	33	—	126	—	—	—
Наименьшая	1	—	1	—	—	—
Уровни в отклонениях от среднего многолетнего, см						
Наивысший	+55	+49	+ 82	+ 91	—	+ 67
Наинизший	-50	-45	-132	-119	—	-176
Высший из средних годовых	+18	+18	+ 50	+ 91	—	+ 28
Низший из средних годовых	-29	-29	- 49	-119	—	-101

Изменения площади зеркала озера лимитируются характером чаши озера в ее верхней части, поэтому как по абсолютным, так и по относительным значениям сравнительно невелики (табл. 34).

Таблица 34

Амплитуды изменения площади оз. Санда, км²

	Естественный режим (1912—1925 гг.)	Зарегулированный режим	
		II этап (1947—1957 гг.)	III этап расчетный (1928—1936 гг.)
Абсолютная	7	17	12
Средняя многолетняя	2	11	6
Наибольшая годовая	4	16	9
Наименьшая годовая	1	2	4

Абсолютные значения площадей возрастают за счет некоторого повышения горизонта оз. Санда, но заметно уменьшается амплитуда изменения площадей вслед за уменьшением амплитуд уровней.

Нарушение естественного режима Пальезера относится к 1936 г., когда в него был переключен сток Суны. Горизонт озера при этом был повышен в среднем на 1,09 м. Уровненный режим озера изменился. Но неверно было бы его считать полностью зарегулированным, так как никаких регулирующих сооружений на Пальезере нет и их не предполагается с вводом в эксплуатацию Валазминского водохранилища. Частичное регулирование стока р. Суны производится у Гирваса, которое сводится к тому, что Гирвасский бьеф поддерживается на одной отметке, а в канал Суна — Палье поступают естественные расходы Суны. Срабатывается Гирвасский бьеф в последний предпаводковый месяц. Таким образом, изменение уровня режима Пальезера нужно считать результатом изменения режима приточных расходов, ибо прочие условия остаются неизменными.

Таблица 35

Характеристика уровня режима Пальезера в разные периоды его зарегулирования

Водпост	Годы наблюдений	Отметка "0" графика	Число лет наблюдений		
			полных	неполных	всего
Измененный режим					
Карташи	1936—1940	70,00 м абс.	4	1	1
	1949—1957	72,20 м усл.	8	1	9
Зарегулированный режим					
Расчетный ряд	1930—1935	—	6	—	6

Гидрографические характеристики озера и его бассейна резко изменяются при переключении стока Суны, изменения морфометрических показателей самого озера незначительны (табл. 36).

Таблица 36

Гидрографические характеристики Пальезера и параметры водохранилища

Характеристики	Естественное состояние (до 1936 г.)	Зарегулированный режим	
		I этап 1937 г. — настоящее время	II этап (с Валазминским водохранилищем)
Абсолютная высота зеркала озера (средний уровень), м	70,30	71,39	71,55
НПГ, м	—	72,52	71,97
ГМО, м	—	70,24	70,42
Площадь зеркала озера, км ²	100,6	104,4	105,4
Площадь водосбора, км ²	381	6242	6242
Удельный водосбор	3,8	60,0	59,0
Объем озера, км ³	нет сведений	≈ 2,00	≈ 2,00
В т. ч. полезный объем, км ³	—	≈ 0,125	≈ 0,050

Как видно из приведенной таблицы, площадь водосбора и удельный водосбор озера возросли в несколько раз. Это нашло свое выражение и в режиме уровней озера, ибо Пальезеро — водохранилище неполного годичного регулирования — носит вспомогательный характер, саморегулируемое и отражает на себе характер режима стока переключенной в него Суны. Изменение режима уровней в сравнении с естественным выразилось в увеличении амплитуд и уровней весеннего половодья и значительном снижении горизонтов зимней и летней межени (табл. 37). Средний горизонт озера благодаря увеличению приходной части водного баланса увеличился, вместе с тем возросла и пропускная способность русла р. Нивки. Однако аккумулирующая емкость озера оставалась небольшой и не смогла обеспечить высоких расходов летней межени. Возросшая же пропускная способность р. Нивки увеличила отрицательные отклонения за летний период.

Таблица 37

Средние месячные уровни Пальезера в отклонениях от среднего многолетнего

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Естественный режим	-3	-6	-8	-9	+7	+16	+11	+1	-1	-2	0	-2
Измененный режим (1937—1937 гг.)	+1	-9	-20	-22	+35	+35	0	-6	-12	-9	0	+4
Запроектированный режим	+11	+9	+7	+15	-4	-7	-10	-14	-10	-5	-1	+7

Измененные уровни Пальезера после 1936 г. близки по типовому распределению к естественным уровням оз. Гимольского (рис. 22 и 23). Однако частичное регулирование стока р. Суны у Гирваса делает уровни Пальезера более сглаженными при большем, чем у оз. Гимольского, удельном водосборе.

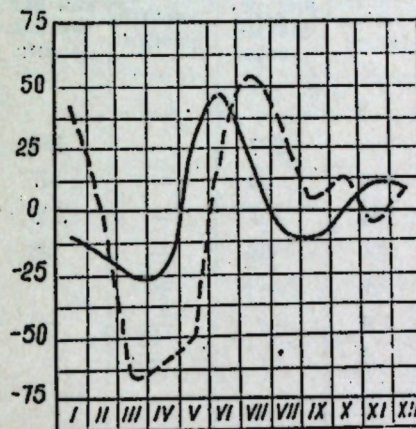


Рис. 22. Типовые графики естественных и зарегулированных уровней оз. Гимольского.

1 — естественные уровни; 2 — зарегулированные уровни.

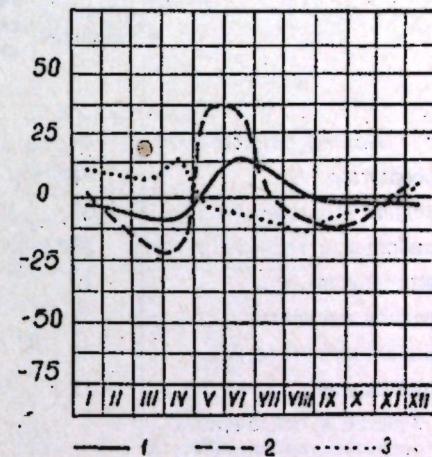


Рис. 23. Типовые графики естественных и зарегулированных уровней Пальезера.

1 — естественные уровни; 2 — зарегулированные уровни (I этап); 3 — зарегулированные уровни (II этап).

С вводом в эксплуатацию Валазминского водохранилища амплитуды уровней на Пальезере уменьшаются, приближаясь к естественным (табл. 38), режим уровней выравнивается, но он резко отличается от естественного режима по внутригодовому распределению. Годовой ход уровней Пальезера при работе Валазминского водохранилища это результат зарегулированных расходов Суны, притока с частного водосбора и трансформации общего притока в самом озере. В результате различного сочетания этих факторов формируется уровеньный режим озера, типовое распределение которого приведено и на рис. 22. Своеобразие типового хода уровней Пальезера на втором этапе регулирования заключается в том, что они имеют ход почти обратный естественному. В зимние месяцы, с декабря по апрель, когда срабатывается Валазминское водохранилище, зарегулированные расходы р. Суны вместе с собственным притоком Пальезера обеспечивают в нем высокие горизонты. Когда в Валазминском водохранилище заполняются годичная и частично многолетняя емкость, а Кондопожская ГЭС срабатывает полезный объем Сандала, горизонты в Пальезере падают и остаются ниже средних во все летние месяцы.

В многолетнем ходе уровни Пальезера под регулирующим влиянием Валазминского водохранилища значительно выравниваются, становятся устойчивее.

Зарегулированные площади Пальезера, определяемые характером озерной котловины, изменяются в очень незначительных пределах. В естественных условиях изменения площадей ничтожны. Они несколь-

Таблица 38

Характерные уровни Пальезера и амплитуды их изменения

	Естественный режим		Зарегулированный режим			
	по ежедневным данным	по средним месячным данным	I этап с 1936 г.		II этап (с Валазмой)	
			по ежедневным данным	по средним месячным данным	по ежедневным данным	по средним месячным данным
Амплитуды, см						
Абсолютная	81	73	228	207	—	155
Средняя многолетняя . . .	33	32	119	99	—	47
Наибольшая годовая	68	59	142	121	—	129
Наименьшая	19	15	90	68	—	28
Средняя месячная	7	—	26	—	—	—
Наибольшая месячная . . .	40	—	101	—	—	—
Наименьшая	1	—	2	—	—	—
Уровни в отклонениях от среднего многолетнего, см						
Наивысший	+56	+48	+113	+94	—	+42
Наинизший	-25	-25	-115	-113	—	-113
Высший из средних годовых	+18	+48	+35	+94	—	+42
Низший из средних годовых	-17	-25	-54	-113	—	-113

ко увеличиваются при трансформации озером сунской воды, а с вводом Валазминского водохранилища колебание площади зеркала снова снижается (табл. 39).

В отличие от водохранилищ Пальезера и Сандала, имеющих годичное регулирование, Валазминское водохранилище предназначено для многолетнего компенсированного регулирования стока Суны у Гирваса, заполнение и опорожнение его будет происходить в течение нескольких лет.

Таблица 39

Амплитуды изменения площади зеркала Пальезера, км²

	Естественный режим (1915—1934 гг.)	Зарегулированный режим	
		при переключении р. Суны (I этап)	с вводом Валазминского водохранилища (II этап)
Абсолютная	2,9	8,5	5,7
Средняя многолетняя . . .	1,4	4,5	1,6
Наибольшая годовая	2,6	5,3	4,1
Наименьшая годовая	0,6	3,3	0,9

Валазминское водохранилище, параметры которого приведены в табл. 40, образуется из группы озер Верхней Суны: Гимольского, Ройкнаволоцкого, Кудомгубского, Чудозера и Поросозера с небольшими перепадами между ними и общей площадью зеркала озер около 120 км².

Отличие Валазминского водохранилища от водохранилищ Пальезера и Сандала будет состоять также в том, что с образованием Валазмы резко изменяются все морфометрические характеристики озер (табл. 40), т. е. по существу образуется совершенно новый

Таблица 40

Гидрографические характеристики озер, образующих Валазминское водохранилище, и его параметры

Характеристики	Естественный режим	Зарегулированный режим
Абсолютная высота зеркала (ср. уровень), м	164	167,10
НПГ, м	—	168,75
ГМО, м	—	164,25
Площадь зеркала, км ²	120	320
Площадь водосбора, км ² . . .	2665*	3343
Удельный водосбор	33*	10,4
Объем озера, км ³	0,269	—
В т. ч. полезный объем, км ³	—	1,0

водоем с иными свойствами, которые отличаются от свойств озер, входящих в него. Величина водосбора, а следовательно, и притока остается неизменной. Увеличение площади зеркала уменьшает удельный водосбор, что уже само по себе увеличивает аккумуляющую способность озера. Однако зарегулированные уровни Валазминского водохранилища определяются типом регулирования, который выражается в многолетнем цикле колебаний уровня, который периодически достигает отметки НПГ, а затем в течение ряда лет понижается до горизонта мертвого объема.

По проектным данным Ленгидэпа (расчетный период 1936—1947 гг.) уровень Валазминского водохранилища достигнет отметки НПГ только в одном случае из 12 лет (1938 г.), а до отметки ГМО горизонт ни разу не понизится. Однако в действительности в зависимости от сочетания лет различной водности ход уровней и периоды заполнения и сработки могут быть совершенно другими.

Внутри многолетнего хода уровней в водохранилище наблюдается определенный годичный цикл уровней изменений, обусловленный сработкой годичной емкости водохранилища.

Типовой ход внутригодовых изменений зарегулированного уровня, приведенный в табл. 41 и на рис. 23, характеризуется глубокой сработкой водохранилища и понижением его уровней в течение зимы (I—III) для компенсирования недостающих на ГЭС расходов. Во время весеннего половодья (IV—VII), а иногда и осенних паводков (X) водо-

* Для Гимольского озера.

Таблица 41

Средние месячные уровни оз. Гимольского и Валазминского водохранилища в отклонениях от среднего многолетнего

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Оз. Гимольское (естественный режим)	-11	-18	-27	-27	+25	+47	+17	-9	-12	-2	+11	+8
Валазминское водохранилище (зарегулированный режим)	-42	+1	-67	-62	-51	+26	+54	+34	+3	+14	-7	+6

охранилище частично восстанавливает свой объем и повышает уровни, чтобы в месяцы летней межени, когда сток с водосбора понижается, компенсировать недостающие расходы; при этом продолжительность весеннего половодья (повышение уровней) в сравнении с естественным увеличивается до четырех месяцев, максимум отодвигается на июль, а летняя межень не наблюдается — уровни в озере не падают ниже средних многолетних значений (табл. 41).

Как в годовом, так и в многолетнем распределении зарегулированные уровни характеризуются меньшей устойчивостью и увеличением амплитуд, что видно из табл. 42.

Таблица 42

Характерные уровни оз. Гимольского (Валазминского водохранилища) и амплитуды их изменений

	Естественный режим		Зарегулированный режим	
	по ежедневным данным	по средним месячным данным	по ежедневным данным	по средним месячным данным
Амплитуды, см				
Абсолютная	213	181	—	450
Средняя многолетняя	104	88	—	157
Наибольшая годовая	155	137	—	237
Наименьшая	53	42	—	84
Средняя месячная	22	—	—	—
Наибольшая месячная	142	—	—	—
Наименьшая	0	—	—	—
Уровни в отклонениях от среднего многолетнего, см				
Наивысший	+126	+108	—	+165
Наинизший	-86	-73	—	-175
Высший из средних годовых	+28	+108	—	+165
Низший	-11	-73	—	-175

Общей характерной особенностью зарегулированных уровней Валазминского и Сандальского водохранилищ является неустойчивость зимних уровней, глубокая зимняя сработка, которая и определяет главным образом величину годовой амплитуды, тогда как при естественном режиме амплитуда определялась величиной положительных отклонений.

Зарегулированные площади Валазминского водохранилища отличаются наибольшей их изменчивостью в сравнении с другими водохранилищами. Эта особенность озер, входящих в водохранилище — резкое увеличение площади при поднятии горизонта (табл. 43) — обусловлена характером затопляемой территории.

Таблица 43

Амплитуды изменения площади зеркала оз. Гимольского (Валазминского водохранилища)

	Естественный режим		Зарегулированный режим	
	к.м ²	% от средней площади озера	к.м ²	% от средней площади озера
Абсолютная	41	51	180	76
Средняя многолетняя	25	31	56	23
Наибольшая годовая	39	49	89	37
Наименьшая годовая	12	15	28	12

Если в естественном состоянии изменение площади Гимольского озера в среднем за год составляло 31% от площади зеркала, а наибольшее 49%, то зарегулированные площади соответственно составляют 23 и 37%, т. е. годовые изменения площади водохранилища в абсолютном выражении выше, а в относительном ниже естественных.

Валазминское водохранилище и озера, образующие его, представлены на рисунке в настоящем сборнике, в статье В. А. Фрейндлинга на стр. 98.

ВЫВОДЫ КО ВТОРОЙ ЧАСТИ

1. Существующие и проектируемые водохранилища Карелии разделяются на водохранилища годового и многолетнего регулирования. Годовое регулирование имеют Ковдозерское, Выгозерское и Сандальское водохранилища. К водохранилищам многолетнего регулирования относятся Сегозерское и Валазминское.

2. Каждое водохранилище в зависимости от его параметров, типа регулирования и других особенностей имеет свой режим уровней. В годовом режиме уровней водохранилищ, в отличие от озер, наблюдаются наименее устойчивые уровни в подледный период, когда водохранилище срабатывается. В летне-осенний период для поддержания возможно больших напоров на ГЭС уровни поддерживаются высокими, и летняя межень не наблюдается.

3. Создание водохранилищ приводит к увеличению акватории озера, а так как приток остается неизменным, то аккумулярующая

способность озер повышается; поэтому уровни половодья на водохранилищах снижаются, а продолжительность половодья увеличивается.

4. В водохранилищах годового регулирования пределы изменения годовых амплитуд, как правило, снижаются, а абсолютная амплитуда не превышает величины призыва сработки. На таких водохранилищах многолетние изменения уровней невелики.

5. В отличие от водохранилищ с годовым регулированием водохранилища многолетнего цикла имеют весьма неустойчивый режим как внутри года, так и за много лет. В годовом ходе отдельные фазы уровней не выражены. Наблюдается только некоторое понижение уровней во время зимней сработки годовой емкости водохранилища. Во все остальные сезоны года наблюдается понижение уровней в период сработки или повышение в период наполнения. Амплитуды уровней, годовые и многолетние, резко возрастают. Пределы изменения годовых амплитуд увеличиваются, так как в отдельные годы уровни находятся на весьма различающихся горизонтах.

6. Зарегулированные площади каждого отдельного водохранилища находятся в зависимости от величины призыва сработки или амплитуды колебания уровней его и характера кривой площади.

Из всех водохранилищ по режиму зарегулированных площадей выделяется Валазминское водохранилище, где средняя многолетняя амплитуда изменения акватории составит 23% от средней площади зеркала, а абсолютная достигает 70%.

В абсолютном выражении наибольшие амплитуды изменения площадей имеет Выгозерское водохранилище, но поскольку в нем призма сработки невелика, то и относительные изменения незначительны.

Следуя режиму уровней, наибольшая неустойчивость в режиме площадей также приходится на подледный период; в летне-осеннее время, особенно на водохранилищах годового регулирования, режим площадей значительно устойчивее.

ЛИТЕРАТУРА

Андриянов В. Г., Руденко С. И. Об учете влияния ледяного и снегового покрова на водный баланс естественных и искусственных водоемов. „Метеорология и гидрология“, 1939, № 1.

Бискэ Г. С. Четвертичные отложения и геоморфология Карелии. Петрозаводск, Госиздат, 1959.

Григорьев С. В. Обзор водомерной сети крайнего Северо-Запада СССР (Карело-Мурманского края) и опись водомерных постов края с 1881 по 1927 г. включительно. В сб.: „Материалы по гидрологии, гидрографии и водным силам СССР“, вып. 1 и 2, Л., 1928.

Григорьев С. В. Обзор исследований внутренних вод Карело-Мурманского края по 1930 г. Там же, вып. 22, серия 2, 1934.

Григорьев С. В. О некоторых определениях и показателях в озероведении. „Тр. Карел. филиала АН СССР“, вып. 18, 1958.

Григорьев С. В. Водоемы Карелии как энергетические водохранилища. Там же.

Зыков П. В. Гимольское озеро. „Изв. Карело-Финск. науч.-исслед. базы АН СССР“, 1948, № 1.

Иванов П. В. Классификация озер мира по величине и по средней глубине. „Науч. бюл. ЛГУ“, 1948, № 21.

Йогансен Б. Г. К изучению типов колебания уровня оз. Чаны. В сб.: „Материалы Зап.-Сиб. Комис. по изучению четвертичного периода при Томском ун-те“, вып. 1, Томск, 1956.

Куделин Б. И. Береговое регулирование поверхностного стока. ДАН СССР, т. 21, № 1, 1950.

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

Литинский Ю. Б. Некоторые вопросы геоморфологии озер Карельского региона. „Тр. Карел. филиала АН СССР“, вып. 27, 1960.

Малявкин А. Н. Подземное питание рек Карело-Финской ССР. Рукоп. фонды Петрозаводского ун-та, 1953.

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

Себенцов Б. М. Задачи рыбохозяйственного освоения вновь образуемых водохранилищ. „Рыбное хоз-во“, 1950, № 12.

Соколов А. А. Максимальный сток рек с озерным регулированием и методика его расчета. „Тр. ГГИ“, вып. 5/104, 1955.

Соколовский Д. Л. Речной сток. Л., Гидрометеониздат, 1959.

Сумароков В. С. Средняя многолетняя амплитуда уровней воды в озерах Северной части СССР. „Метеорология и гидрология“, 1947, № 6.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Окончание табл. 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
40	1950	П	П	неп.	П	П	П	неп.	П	П	П	П	неп.	П	П	П	П	П	П	П
41	1951	П	П	неп.	П	П	П	П	П	П	П	П	неп.	П	П	П	П	П	П	П
42	1952	П	П	неп.	П	П	П	П	П	П	П	П	неп.	П	П	П	П	П	П	П
43	1953	П	П	неп.	П	П	П	П	П	П	П	П	неп.	П	П	П	П	П	П	П
44	1954	П	П	неп.	П	П	П	П	П	П	П	П	неп.	П	П	П	П	П	П	П
45	1955	П	П	неп.	П	П	П	П	П	П	П	П	неп.	П	П	П	П	П	П	П
46	1956	П	П	неп.	П	П	П	П	П	П	П	П	неп.	П	П	П	П	П	П	П
47	1957	П	П	неп.	П	П	П	П	П	П	П	П	неп.	П	П	П	П	П	П	П
Всего . . .		30	8	16	13	17	28	25	18	28	13	9	8	20	33	35	4	29	5	8
В т. ч. полных		20	7	10	11	9	20	23	18	22	12	5	3	13	27	25	1	24	—	6
Неполных . . .		10	1	6	2	8	8	2	—	6	1	4	5	7	6	10	3	5	5	2
Полных непре- рывных . . .		11	5	5	10	6	7	16	18	19	12	4	3	9	8	8	1	7(11)	—	3
Расчетный ряд естественный зарегулиро- ванный . . .		20			11			23		3/19				9	19	13/12		13/11		

1 неп. — год неполных наблюдений.

2 П — год полных наблюдений.

Таблица 2

Сведения об источниках материалов уровенных наблюдений на озерах-водохранилищах.

Озеро — пост	Годы наблюдений	Источник сведений (в конце таблицы)
Бассейн Белого моря		
Топозеро — Кестеньга	1925—1927	1
„ „	1928—1935	6
„ „	1935—1941	7
„ „	1945—1953	7
„ „	1954—1957	11
Топозеро — Кизрека	1950—1953	7
„ „	1954—1957	11
Пяозеро — Оланга	1925—1927	1
„ „	1928—1934	10
„ „	1951—1953	7
„ „	1954—1956	11
Пяозеро — Софьянга	1945—1953	7
„ „	1954—1957	11
Пяозеро — Зашеек	1931—1935	6
„ „	1936—1941	7
„ „	1951—1953	7
„ „	1954—1956	11
Ковдозеро — Подтайбола (Лесопильный завод)	1925—1927	1
„ „	1928—1933	8
„ „	1934—1937	9
„ „	1942—1947	7
„ „	1949—1953	7
„ „	1954	11
Ковдозеро — Конец-Ковдозеро	1920—1922, 1925—1927	1
„ „	1928—1937	5
„ „	1933—1941	7
„ „	1947—1953	7
„ „	1954	7
Выгозеро — Вожмогора	1940—1953	7
„ „	1954—1957	7
Выгозеро — Надвоицы	1913—1918, 1920—1921	1
„ „	1938—1953	7
„ „	1954—1957	11
Выгозеро — зал. Телекинский	1945—1953	7
„ „	1954—1957	11
Сегозеро — Попов Порог	1949, 1950—1953	7
„ „	1954—1956	11

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6
Сегозеро — Карельская Массельга	1915—1919	113,0 м усл.	4	1	5
	1921—1922	113,0 м усл.	—	2	2
	1926—1927	113,0 м усл.	1	1	2
	Итого		5	4	9
Сегозеро — Попов Порог	1949—1956	16,0 м усл.	3	5	8
Гимольское — Гимолы	1912	166,0 м усл.	—	1	1
	1914—1919	166,0 м усл.	5	1	6
	1925—1935	166,0 м усл.	10	1	11
	1937—1940	166,0 м усл.	4	1	5
	1948—1957	166,0 м усл.	8	2	10
	Итого		27	6	33
Палье (естеств. режим)	1915—1922	72,20 м усл. (70,00 м абс.)	5	3	8
Палье — Карташи	1924—1935	72,20 м усл. (70,00 м абс.)	8	4	12
	Итого		13	7	20
Палье — Уссунa	1934—1937	9,00 м усл.	1	3	4
Палье (зарегулированный режим)	1936—1941		4	2	6
Палье — Карташи	1949—1957		8	1	9
	Итого		12	3	15
Сандал (естеств. режим)	1911—1927	62,50 м усл.	7	2	9
Сандал — Сопоха	1921—1927	62,50 м усл.	6	1	7
	Итого		13	3	16
Сандал — Лычный остров	1920—1927	62,80 м усл.	6	2	8
Сандал (зарегулированный режим)					
Сандал — Сопоха	1945—1957	59,64 м абс. (7,00 м усл.)	11	2	13
Сандал — Гирвас	1945—1949		—	5	5
	Всего		256	90	346

Таблица 4

Характерные годовые уровни воды озер и амплитуды их изменения

Год	Наибольший, см над 0° графика	Наименьший, см над 0° графика	Средний годовой, см над 0° графика	Амплитуда годовая, см	Отклонения средних годовых уровней от среднего многолетнего, см
1	2	3	4	5	6
Топозеро — Кестеньга					
1926	62	15	32	47	-32
1927	70	24	45	46	-19
1928	56	28	40	28	-24
1929	58	19	45	39	-19
1930	57	34	45	23	-19
1931	95	31	—	64	—
1932	107	68	90	35	+26
1933	88	54	73	34	+9
.....					
1938	86	26	(52)	60	-12
1939	66	28	50	38	-14
.....					
1947	79	34	59	45	-5
1948	76	35	56	41	-8
1949	108	62	86	46	+22
1950	102	54	81	48	+17
1951	103	51	73	52	+9
1952	101	64	80	37	+16
1953	99	62	78	37	+14
1954	79	55	68	24	+4
1955	109	62	83	47	+19
1956	86	58	72	28	+8
1957	95	46	72	49	+8
средние	85	43	64	41	
наибольшие	109	68	90	64	(-32) (+26)
наименьшие	56	15	32	23	(-5) (+4)
.....					
Пяозеро — Софьянга					
1946	282	182	222	100	-16
.....					
1948	280	205	231	75	-7
1949	309	219	245	90	+7
1950	287	212	232	75	-6
1951	284	212	230	72	-8

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6
1952	293	217	240	76	+ 2
1953	297	215	246	82	+ 8
1954	279	216	244	63	+ 6
1955	331	222	249	109	+11
1956	277	208	233	69	- 5
1957	300	208	236	92	- 2
средние	293	210	238	82	
наибольшие	331	222	249	109	(-16) (+11)
наименьшие	277	182	222	63	(- 2) (+ 2)
Ковдозеро — Подтайбола					
1926	206	11	195	85	-26
1927	248	28	220	98	-13
1928	189	20	169	97	-14
1929	233	23	210	110	- 1
1930	293	63	230	112	+ 1
1931	286	30	255	135	+25
1932	295	46	249	154	+43
1933	241	62	176	114	+ 3
1934	257	36	221	133	+22
1935	275	57	218	127	+16
1935	249	54	195	127	+16
1937	193	35	158	81	-30
.....					
1942	177	-5	182	63	-48
1943	306	37	269	132	+21
1944	273	55	218	115	+ 4
1945	242	41	201	104	- 7
1946	226	26	200	92	-19
1947	139	12	127	58	-53
.....					
1949	303	50	253	136	+25
1951	215	26	189	63	-18
1952	289	42	247	121	+10
1953	296	40	256	131	+20
1954	211	36	175	125	+14
средние	246	36	210	111	
наибольшие	306	63	269	154	(-53) (+43)
наименьшие	139	-5	127	58	(- 1) (+ 1)

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6
Сегозеро — Паданы					
1948	118	56	86	66	-21
1949	149	95	122	54	+15
1950	139	86	107	53	0
1951	141	80	102	61	- 5
1952	168	83	117	85	+10
1953	135	78	112	57	+ 5
1954	120	81	100	39	- 7
1955	183	91	121	92	+14
1956	119	72	98	47	- 9
средние	142	80	107	61	
наибольшие	183	95	122	92	
наименьшие	118	56	86	39	
Оз. Палье — Карташи					
1914	55	7	25	48	- 5
1915	54	10	33	44	+ 3
1916	46	18	30	28	0
1917	40	14	25	26	- 5
1918	32	13	24	19	- 6
1919	86	18	48	68	+18
.....					
1924	48	18	31	30	+ 1
1925	64	21	35	43	+ 5
1926	67	20	39	47	+ 4
1927	57	14	33	43	+ 3
.....					
1929	68	28	43	40	+13
1932	32	10	15	22	-15
1934	39	5	13	34	-17
средние	53	15	30	38	
наибольшие	86	28	48	68	(+18) (-17)
наименьшие	32	5	13	19	0
Оз. Садал — Сопоха					
1912	59	24	34	35	-17
1913	44	4	22	40	-29
1914	78	1	35	77	-16
1915	69	34	49	35	- 2
1916	80	43	57	37	+ 6

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6
1917	72	48	59	24	+ 8
1918	78	48	59	30	+ 8
1921	77	34	56	43	+ 5
1923	93	47	65	46	+14
1924	106	42	69	64	+18
1925	75	42	53	33	+ 2
средние	75	33	51	42	
наибольшие	106	48	69	77	(-29) (+18)
наименьшие	44	1	22	24	(- 2) (+ 2)
Оз. Гимольское — Гимолы					
1914	135	8	48	127	+ 4
1915	85	5	40	80	- 4
1916	88	-2	49	90	+ 5
1917	107	2	66	106	+22
1918	84	13	52	71	+ 8
1925	89	0	33	89	-11
1926	123	13	39	110	- 5
1927	156	10	41	146	- 3
1928	112	-43	44	155	0
1929	152	10	59	142	+15
1931	97	8	54	89	+10
1932	102	7	39	95	- 3
1933	64	11	33	53	-11
1934	111	7	44	104	0
1935	153	15	72	138	+28
1937	104	13	46	91	+ 2
1938	170	26	71	144	+27
1939	88	3	37	85	- 7
1940	68	9	39	58	- 5
средние	—	—	44	104	
наибольшие	170	—	72	155	(+28) (-11)
наименьшие	—	-43	33	53	0

В. А. ФРЕЙНДЛИНГ

ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ И ПРОЕКТИРУЕМЫХ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ КАРЕЛИИ

ВВЕДЕНИЕ

Задачи исследования. Интенсивное развитие экономики Карелии, ввод в действие новых промышленных предприятий, появление крупных населенных пунктов привели к резкому увеличению потребности народного хозяйства республики в электроэнергии. Строятся новые ГЭС, создаются целые каскады ГЭС и энергосистемы. Для их регулирования и повышения энергетической эффективности на основе крупных водоемов, расположенных преимущественно в озерно-речных системах, проектируются, вводятся в эксплуатацию и уже действуют водохранилища. Нарушение их естественного режима изменяет все гидрологические характеристики, включая условия формирования и разрушения ледяного покрова. Так, увеличение площади Выгозера — центрального звена в системе Беломорско-Балтийского водного пути — привело к сдвигу сроков наступления ледовых фаз, особенно вскрытия. Это явление имеет большое практическое значение, поскольку сроками очищения акватории водохранилища ото льда определяется начало судоходства по всему каналу.

Предметом настоящего исследования является рассмотрение элементов ледового режима ряда крупных озер-водохранилищ, расположенных в северной, средней и южной Карелии (рис. 1) и находящихся в различных стадиях: эксплуатации, наполнения или проектирования. Подробнее освещается ледовый режим Выгозерского водохранилища, на котором характер ледовых явлений и их изменение имеют наибольшее практическое значение в связи с его транспортным использованием.

РАЗВИТИЕ ВОДОМЕРНОЙ СЕТИ НА ВОДОЕМАХ КАРЕЛИИ

В истории развития водомерной сети на водоемах Карелии выделяется несколько последовательных периодов. Первый — от начала XIX в. до 1870 г. — характеризуется постановкой в 1816 г. наблюдений за вскрытием и замерзанием Онежского озера у г. Петрозаводска. Эти наблюдения проводились инженером Олонецких горных заводов Кларком до 1870 г. (Рыкачев, 1886). Материалы наблюдений публиковались в „Горном журнале“. В 1858 г. аналогичные наблюдения были начаты б. Министерством путей сообщения (МПС) у Вознесенья.

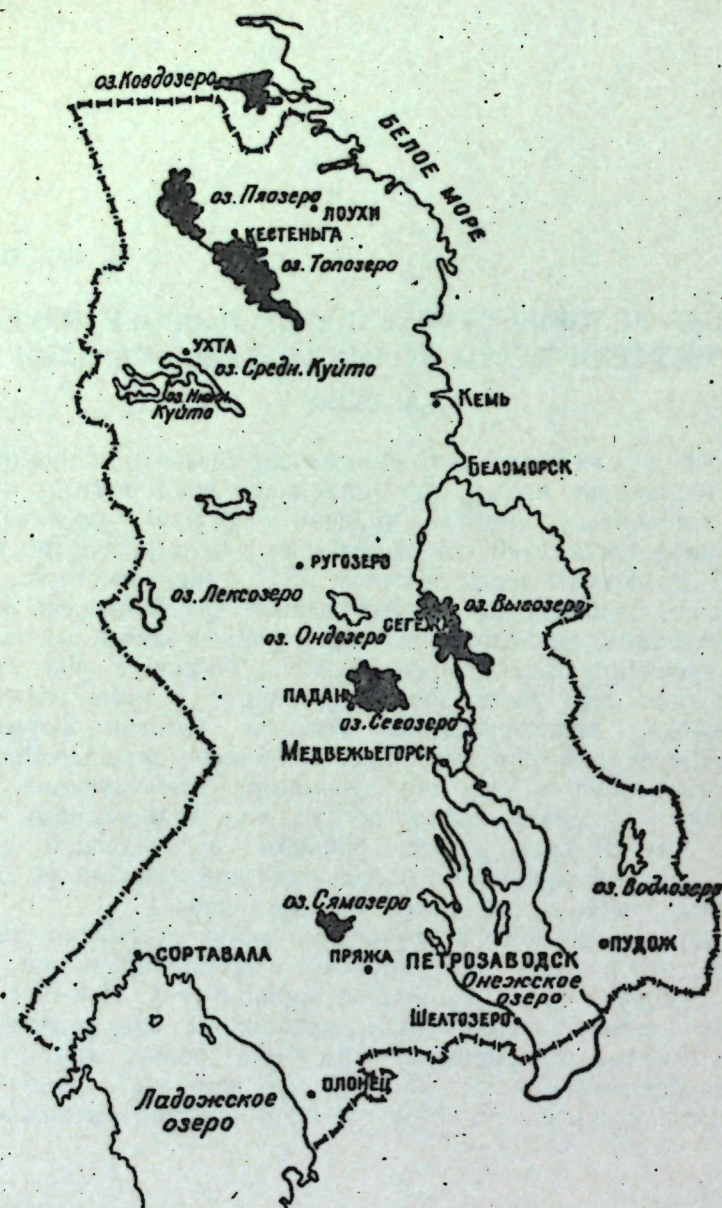


Рис. 1. Карта-схема расположения водохранилищ Карелии.

Все сведения, опубликованные в различных изданиях до 1880 г., очень разнообразные по качеству, составу и продолжительности, были собраны, подвергнуты тщательной обработке и обобщены М. Рыкачевым в его классической работе „Вскрытия и замерзания вод в Российской Империи“ (1886 г.).

Второй период — с 1870 по 1920 г. — знаменуется постановкой регулярных водомерных наблюдений на Онежском озере Министерством путей сообщения. В начале 80-х годов на нем было открыто пять постоянно действующих постов, которые до 1910 г. оставались единственными озерными постами на территории Карелии. С 1911 г. начинается быстрый рост водомерной сети. Министерство путей сообщения открывает водомерные посты на р. Суне и озерах ее бассейна; в 1912 г. в связи с исследованием р. Кеми в ее бассейне открываются три поста: один на оз. Верхнее Куйто, два в среднем течении реки; в 1913 г. организуются посты в бассейне р. Выга, в том числе на озерах Выгозеро и Сегозеро.

Наибольшего развития сеть водомерных постов МПС достигла в 1917 г., когда ею были охвачены главнейшие реки Беломорского и Мурманского районов, включая озера Нотозера (на Кольском п-ове), Ковдозера и Нижнее Куйто.

Третий период — до конца 1930 г. Начало его характеризуется значительным сокращением сети, вызванным интервенцией и гражданской войной. Однако уже в 1920 г. в бассейнах рек Суны, Выга, Кеми, Ковды и Нивы водомерная сеть была частично восстановлена.

С 1923 г. начинается объединение всей водомерной сети Карело-Мурманского края Государственным Северным водным бюро под руководством инженера С. В. Григорьева. При нем значительно развивается гидрологическая сеть на главных реках и озерах северной и средней Карелии, в которой к 1931 г. насчитывается уже 89 постов.

Четвертый период, начиная с 1931 г., знаменуется возникновением Карельского Гидрометеорологического бюро Гидрометеорологического Комитета СССР. В бюро постепенно стала объединяться вся гидрологическая сеть Карелии (Григорьев, 1934). В этот период в связи с постройкой Беломорско-Балтийского канала стало детально изучаться оз. Выгозеро, где в годы, предшествующие строительству, было открыто 10 водомерных постов, параллельные наблюдения на которых дали ценные сведения о режиме озера в его естественном состоянии. К сожалению, материалы этих наблюдений не были опубликованы и оказались недоступными для использования в настоящей работе. Гидрометеорологическая сеть, получившая в послевоенные годы дальнейшее развитие, охватила все крупные водоемы Карелии. Наблюдения дали значительный, хотя и довольно пестрый, материал, который уже позволяет прогнозировать сроки появления и исчезновения ледовых образований.

КРАТКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Вопросам ледового режима водоемов нашей страны посвящена обширная литература. Еще в конце прошлого столетия появилась упоминавшаяся выше работа М. Рыкачева (1886), в которой на основе обработки многочисленных, очень разнообразных по продолжительности сведений даны характеристики замерзания и вскрытия вод России.

В трудах ряда исследователей крупных водоемов Северо-Запада Европейской части Союза: Советова (1916, 1924), Сперанского (1922),

Иогансона (1927), Берга (1933) и др. приводятся материалы наблюдений над ледовым режимом водоемов в отдельные зимы и сводки за длительный период, устанавливается связь между ледовыми явлениями и метеорологическими условиями.

Вопросы методики обработки наблюдений над вскрытием и замерзанием вод рассматриваются в докладе И. Ф. Богданова и О. А. Спенгера (1933) на IV гидрологической конференции балтийских стран. Теоретическое обоснование и физическая сторона явлений ледообразования, появления и исчезновения льда даются А. Н. Комаровским (1932), В. Е. Тимоновым (1935), Б. П. Вейнбергом (1940) и др.

И. В. Молчанов в ряде своих работ (1925) рассматривает вопросы строения и структуры озерного льда в связи с метеорологическими условиями. Автор указывает, что толщина льда определяется не столько суровостью зимы, сколько ее снежностью. Дальнейшим развитием этих работ явились исследования Н. И. Бородай (1939) на оз. Байкал и О. А. Алекина (1937) на оз. Телецком. Изучением процесса роста льда в природных условиях и его зависимости от климатических факторов занимались А. А. Тресков (1926), Н. П. Порывкин (1926), Е. И. Иогансон (1927), Ф. И. Быдин (1932, 1933), Г. Р. Брегман (1942), Б. Д. Зайков (1955) и др. Авторы предложили ряд эмпирических зависимостей, в которых определяющим элементом принимали температуру воздуха. Сводка этих зависимостей и их критический анализ выполнены В. Л. Цуриковым (1939). Элементы прогнозирования сроков вскрытия и замерзания водоемов рассматриваются Ф. И. Быдиным (1934), П. П. Никифоровым (1948), А. Г. Шуляковским (1954), В. М. Самочкиным (1955), В. В. Пиотровичем (1958) и рядом других авторов, связывающих эти явления как с суммой тепла (холода), так и динамическими процессами. В работе П. Л. Медреса (1957) впервые для водоемов Союза приводятся сведения о сроках появления и разрушения ледовых образований по всей акватории Ладожского озера, основанные на материалах аэровизуальных наблюдений. Подобные данные имеются в фондах Петрозаводской гидрометеорологической обсерватории для ряда крупных озер-водохранилищ Карелии.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ ОЦЕНКА

Сведения о фазах ледового режима для Онежского озера до 1911 г. публиковались в „Олонецких губернских ведомостях“, „Олонецком сборнике“ и в виде сводки приведены Н. Н. Пушкаревым (1900). В нашей работе они частично использованы для удлинения ряда лет наблюдений по Онежскому озеру и установления экстремальных дат замерзания и вскрытия водоемов.

Основой для настоящего исследования послужили сведения о ледовых явлениях и толщинах льда и снега, опубликованные в „Материалах по гидрологии, гидрографии и водным силам СССР“ (с 1911 по 1927 г.), изданных Энергостроем (Григорьев, 1928, 1929); в изданиях Гидрометеорологической службы: „Сведения об уровнях воды“ (с 1916 по 1935 г.) и „Гидрологических ежегодниках“ (с 1936 по 1958 г.).

В работе использованы фондовые материалы Петрозаводской гидрометеорологической обсерватории, а также материалы полевых наблюдений, проведенных отделом гидрологии и водного хозяйства Карельского филиала АН СССР на ряде водохранилищ средней и южной Карелии.

Полнота и ценность сведений о ледовом режиме, опубликованных в различные периоды, неравнозначны. Материалы за первые десятиле-

тия прошлого века могут использоваться лишь для ориентировочного суждения о сроках наступления ледовых фаз на водоемах, так как не имеют единой методики наблюдений, которые велись с перерывами.

Начиная с 1911 г., все наблюдения на водомерной сети Карелии стали проводиться по единой программе. С этого времени сведения о ледовом режиме водоемов — наступление ледовых фаз, толщина льда и снега — могут использоваться для составления ледовых прогнозов и приниматься при гидрологических расчетах.

При анализе сроков наступления фаз зимнего режима, а также толщин льда по опубликованным материалам Энергостроя и Гидрометеорологической службы следует учитывать, что эти сведения даются постами, расположенными преимущественно в губах и заливах, имеющих различную связь с центральным плесом водоема, иной характер береговой линии, глубины, грунты, притоки и т. д. В связи с этим по данным береговых пунктов нельзя судить о сроках наступления ледовых явлений по всей акватории водоемов.

Систематические ледомерные съемки на озерах до настоящего времени отсутствовали. Отдельные маршруты, выполненные на озерах Гимольской группы зимой 1949/50 гг. (Грицевская, 1958), дают общее представление о ледовых условиях водоемов с высоким показателем водообмена. Некоторым приближением к планомерному изучению ледяного покрова были работы Карельского филиала АН СССР на оз. Сямозере в зимы 1954—1956 гг. (Фрейндлинг, 1959), не получившие дальнейшего развития. Начиная с 1953 г., Петрозаводская гидрометеорологическая обсерватория проводит ледомерные съемки на Онежском озере, в районе о-ва Василисин по нескольким маршрутам (длиной около 5 км). Ценность получаемых материалов несколько снижается тем, что при наблюдениях измеряется только общая толщина льда, описания его строения не дается.

С 1955 г. Обсерватория начала проводить регулярные аэровизуальные наблюдения за ледовой обстановкой на крупных озерах-водохранилищах Карелии — Выгозере и Онежском. Зимой 1957/58 гг. Карельский филиал АН СССР совместно с Петрозаводской обсерваторией выполнил ряд ледовых маршрутов на Выгозерском водохранилище в его северной и центральной частях (рис. 5).

Предлагаемая работа, выполненная автором под руководством С. В. Григорьева, является первой попыткой обобщения и анализа имеющихся сведений по ледовым условиям на водоемах Карелии.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОЗЕРАХ-ВОДОХРАНИЛИЩАХ

Объектами исследования являются крупные озера-водохранилища, расположенные в южной, средней и северной Карелии и находящиеся в настоящее время в различных стадиях наполнения и связанного с ним изменения естественного гидрологического режима. Озера Выгозеро, Палье и Сандал уже являются энергетическими водохранилищами с установившимся эксплуатационным режимом; озера Сегозеро и Ковдозеро находятся в стадии наполнения; озера Топозеро, Пяозеро, Гимольское и Ройкнаволоцкое подготавливаются для заполнения. Наполнение озер-водохранилищ до высших проектных отметок (табл. 1) приводит к существенному изменению их площадей и всех связанных с этим морфометрических и гидрологических характеристик: характера береговой линии, объема, островистости, условий волнообразования и т. д.

В южной Карелии для исследования нами взято крупнейшее в районе оз. Сямозеро. По проектировке 1930-х годов предполагалось превратить его в водохранилище.

Краткие характеристики озер-водохранилищ (Григорьев, 1958), приведенные ниже, а также рис. 1—8 дают некоторое представление о последовательности прохождения процессов замерзания и вскрытия на них.

Ковдозерское водохранилище, расположенное в бассейне р. Ковды, является самым северным в рассматриваемой группе водоемов. При

Таблица 1

Площади озер в естественном состоянии и при наполнении до высшего проектного горизонта (ВПГ)

Озеро-водохранилище	Площадь, км ²		при наполнении до ВПГ
	в естественном состоянии		
	общая	зеркала	
Ковдозеро	364,5	294,2*	608
Пяозеро	754,8	658,7	940
Топозеро	1048,9	986,2	840**
Сегозеро	781,7	752,5	815
Выгозеро	нет свед.	560,0	1284
Санда	161,2	152,4	185
Палье	105,8	100,2	120
Гимольское	90,2	80,5*	320

подпоре оз. Ковдозера до отметки 37,2 м в состав нового зеркала водохранилища входят озера Нотозеро, Сенное, Лопское, вся система протоков, соединяющих их между собой и с Ковдозером. При этом происходит увеличение площади зеркала по сравнению с естественным состоянием Ковдозера примерно на 70%; объем водной массы увеличивается с 3,7 до 7,2 км³, максимальная глубина возрастает с 56 до 63, средняя с 10,2 до 11,8 м. Водоохранилище имеет неправильную лопастную форму. Большое число островов, расположенных по всей акватории водоема, дает наиболее высокий среди всех водохранилищ Карелии коэффициент островистости (0,19). Береговая линия общей длиной 1680 км, в том числе островов 1030 км, имеет показатель развития 19,3. В естественном состоянии оз. Ковдозера он составлял 11,8. Существенно изменяется также показатель условного водообмена озера, снижаясь с 2,40 до 1,25.

* В состав Ковдозерского водохранилища вошли озера Сенное (34,6 км²), Нотозеро (77,5 км²), Лопское (7,5 км²), в состав Валазминского с предполагаемой площадью 320 км², кроме оз. Гимольского (90,2 км²), войдут озера Ройкнаволоцкое (25,9 км²), Кудомгубское (12,7 км²), Чудозеро (9,7 км²), Поросозеро (1,2 км²).

** При создании Топо-Пяозерского водохранилища площадь зеркала "старого" Топозера на первом этапе понизится на 15%, на втором этапе наполнения водохранилища она примет первоначальные размеры (986 км²).

Топо-Пяозерское водохранилище образуется путем подпора озер Средней Ковды: Пяозера, Кундозера и Ципринга до отметки 109,5 м и сработки естественного горизонта Топозера на 4,5 м, что приведет к уменьшению площади зеркала озера на 170 км². Затопляемые озера, а также долины рек Оланги, Софьянги и Пундомы превратятся в заливы будущего водохранилища. В связи с подпором площадь Пяозера увеличится на 24%, объем водной массы с 9,95 до 16,75 км³, максимальная глубина на 12% (с 49 до 58 м), средняя с 15,1 до 17,8 м. Показатель условного водообмена озера снизится с 0,50 до 0,28. Длина береговой линии увеличится с 256 км (включая острова, 440 км) до 667 км, что приведет к изменению показателя развития береговой линии с 4,9 до 6,7. На озере (в естественном состоянии) расположено большое число островов общей площадью 96 км². Коэффициент островистости высок—0,13.

Топозеро в естественном состоянии имеет неправильную форму с некоторым удлинением с северо-запада на юго-восток. Его котловина условно делится на две части: северную (без островов и со слабо изрезанной береговой линией) и южную (к югу от линии д. Валазрека—о-в Жилой—д. Нильма Губа) с многочисленными островами, число которых на озере достигает 100. Коэффициент островистости равен 0,06. Показатель развития береговой линии (при ее общей длине 838 км)—7,2.

Сегозерское водохранилище, расположенное в бассейне р. Выга, имеет трапецевидную форму, которая вытянута с северо-запада на юго-восток. Проектируемый подъем уровня до 6 м в соответствии с морфологическим типом долины озера вызовет увеличение площади зеркала всего на 4%. При этом наибольшая естественная глубина увеличится на 8—9, объем на 27%. Средняя глубина озера в естественном состоянии 23,8, наибольшая (в узком северном заливе) 97 м. Показатель развития береговой линии при общей ее длине в 410 км равен 4,2. В северной и юго-западной частях озера выделяются глубокие узкие заливы. Большое число островов объединяется в две группы: западную с островами Акон, Сандальский, Метча и др. и северную, составляющую Каличестровский архипелаг. Коэффициент островистости 0,04. Южная и центральная части водоема открыты для ветров всех направлений.

Выгозерское водохранилище расположено в системе р. Выга. Его форма удлиненно-лопастная, ориентированная с северо-северо-запада на юго-юго-восток. Многочисленные губы и заливы придают береговой линии необычайно причудливые очертания. Длина ее без островов 668, с островами—1327 км. Показатель ее развития 10,5. Большое число островов в северной части озера, а также южнее линии северный конец о-ва Сиговец на северо-восток—д. Унежда создают условия замерзания и вскрытия, которые отличаются от условий открытой центральной части водоема. Коэффициент островистости озера довольно высокий—0,1. В связи с поднятием уровня на 6 м (до отметки 89 м) площадь зеркала "старого" Выгозера возросла примерно на 150%, исчезла значительная часть островов, что создало иные условия волнообразования. На новом водохранилище длина разбега волны возросла почти до 100 км. Резко увеличилась максимальная глубина озера—на 50%, а также объем водной массы—почти в 2,4 раза.

Предполагаемое к созданию Валазминское водохранилище, в которое войдут озера Чудозеро, Кудомгубское, Гимольское, Ройкнаволоцкое и др., расположенные в бассейне р. Суны, будет

иметь длину 75 км, ширину до 12 км, площадь зеркала около 320 км², что в 2,5 раза больше, чем площади входящих в него озер в естественном состоянии.

Сандальское водохранилище, расположенное в нижнем течении р. Суны, образовано подпором оз. Санда до предельного уровня — 64,55 м. При этом произошло увеличение площади на 14, естественного объема на 16%, показатель водообмена уменьшился незначительно (с 0,9 до 0,8). Наибольшая длина озера 41,7, ширина 7,3 км. Максимальная глубина 51, средняя — 12 м. Площадь островов,

Таблица 2

Водомерная сеть и период наблюдений на ней

Водоем	Название станции	Годы наблюдений
Ковдозеро	Конец-Ковдозеро	1925—1941 (11), 1948—1954 (7)
	Подтайбола	1920—1922 (1), 1925—1937 (12), 1942—1947 (6), 1949—1954 (5)
Пяозеро	Оланга	1925—1934 (5), 1951—1956 (5)
	Зашеек	1931—1941 (3), 1948—1956
	Софьянга	1945—1957 (11)
Топозеро	Кестеньга	1925—1941 (9), 1945—1957 (11)
	Кизрека	1950—1957 (6)
Выгозеро (озеро)	Надвонцы	1913—1918 (3), 1920—1921 (1)
	Выгозерский погост	1925—1927 (1)
	Ловище	1926—1932 (1)
Выгозеро (водохранилище)	Надвонцы	1938—1957 (19)
	Вожмогора	1940—1957 (18)
	Телекинский	1934—1941 (8), 1945—1957 (12)
Сегозеро	Паданы	1915—1917 (1), 1921—1927 (3), 1947—1956 (9)
	Карельская Масельга	1915—1919 (4), 1921—1922 (—), 1926—1927 (1)
	Попов Порог	1949, 1951—1956 (3)
	Гимольское	1912 (—), 1914—1919 (5), 1925—1935 (10), 1937—1940 (4), 1948—1957 (8)
Палье (озеро)	Карташи	1915—1922 (5), 1924—1934 (8)
Палье (водохранилище)		1936—1940 (4), 1949—1957 (9)
Санда (озеро)	Сопоха	1911—1927 (12)
Санда (водохранилище)		1945—1957 (11)
	Гирвас	1945—1949 (—)
Сямозеро	Угмойла	1925—1929 (2), 1932—1942 (6), 1945—1948 (2), 1949—н. вр.

Примечания. В скобках дано число полных лет наблюдений; н. вр. — настоящее время (то же в табл. 3); разрядкой выделены станции с наиболее длинными и непрерывными рядами наблюдений.

расположенных преимущественно в северо-западной части водохранилища, около 9 км². Коэффициент островистости 0,05. Озеро имеет удлиненную форму с некоторым расширением в северной части. Его главная ось вытянута в направлении с северо-запада на юго-восток. Длина береговой линии (общая) 225,6 км, показатель ее развития 5,2.

Пальезерское водохранилище, также расположенное в бассейне р. Суны, образовано подпором Пальезера на 2 м. Озеро имеет вытянутую с севера на юг форму. Длина береговой линии (общая) 94 км. Показатель ее развития 2,6. Коэффициент островистости 0,05. Максимальная глубина около 74 м, средняя (условно) 15—16 м. В результате подпора объем озера увеличился примерно на 20%.

Оз. Сямозеро является самым крупным среди водоемов южной Карелии. Общая площадь 270,3 км². Форма неправильная, лопастная. Главная ось, равная наибольшей длине (24,6 км), вытянута в направлении с северо-запада на юго-восток. Наибольшая ширина 15,1 км. Максимальная глубина 24,5, средняя — 6,7 м. Объем водной массы 1,79 км³. Показатель условного водообмена — 0,24. На озере насчитывается большое число островов (80), расположенных преимущественно в губах и заливах; центральный плес открыт для ветров всех направлений. Коэффициент островистости 0,016. Показатель развития береговой линии при общей длине ее в 212,5 км равен 3,66.

На перечисленных водоемах наблюдения за уровнями и ледовыми явлениями проводятся на водомерной сети, имеющей различную давность и непрерывность наблюдений (табл. 2). При анализе сроков появления и исчезновения ледовых образований, а также изменения толщины льда в течение зимы нами рассматриваются лишь пункты (в таблице подчеркнуты) с наиболее длинными и преимущественно непрерывными рядами наблюдений, так как перенос поста из одного района озера в другой может повлечь за собой изменение условий образования и роста льда. Посты с короткими рядами приводятся только для характеристики отдельных лет.

ОСНОВНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЙОНОВ ВОДОХРАНИЛИЩ

Для территории Карелии характерен влажный, относительно мягкий климат, определяемый близостью к Атлантическому океану и его теплому морскому течению Гольфстрим. Общая направленность воздушных масс с запада на восток часто нарушается вторжением холодных арктических масс воздуха с севера и в виде теплых континентальных течений с юга. Проходящие над Карелией циклоны создают

Таблица 3

Характеристики метеорологических станций

Название станции	Высота над уровнем моря, м	Период действия
Конец-Ковдозеро	55	1926—1932; 1934—1941; 1945 — н. вр.
Кестеньга	118	1935—1936; 1938—1941; 1945 — н. вр.
Паданы	128	1889—1894; 1897—1908; 1914—1941; 1944 — н. вр.
Пряжа	114	1935; 1937—1940; 1944 — н. вр.

неустойчивую погоду. Зимой довольно часто продолжительные оттепели с обильными осадками, сменяющиеся резким похолоданием и усилением ветров. Это создает специфические условия для образования и изменения структуры ледяного покрова на водоемах республики.

Для климатической характеристики районов водохранилищ и метеорологических условий отдельных зим использованы материалы наблюдений на ряде станций (табл. 3).

Температурные условия южной и северной Карелии, несмотря на большие различия в рельефе, отличаются по районам незначительно. Средние месячные температуры воздуха (табл. 4) для всей территории сохраняются умеренными, а по сравнению с другими областями Союза, расположенными в этих же широтах, даже высокими (Романов, 1956).

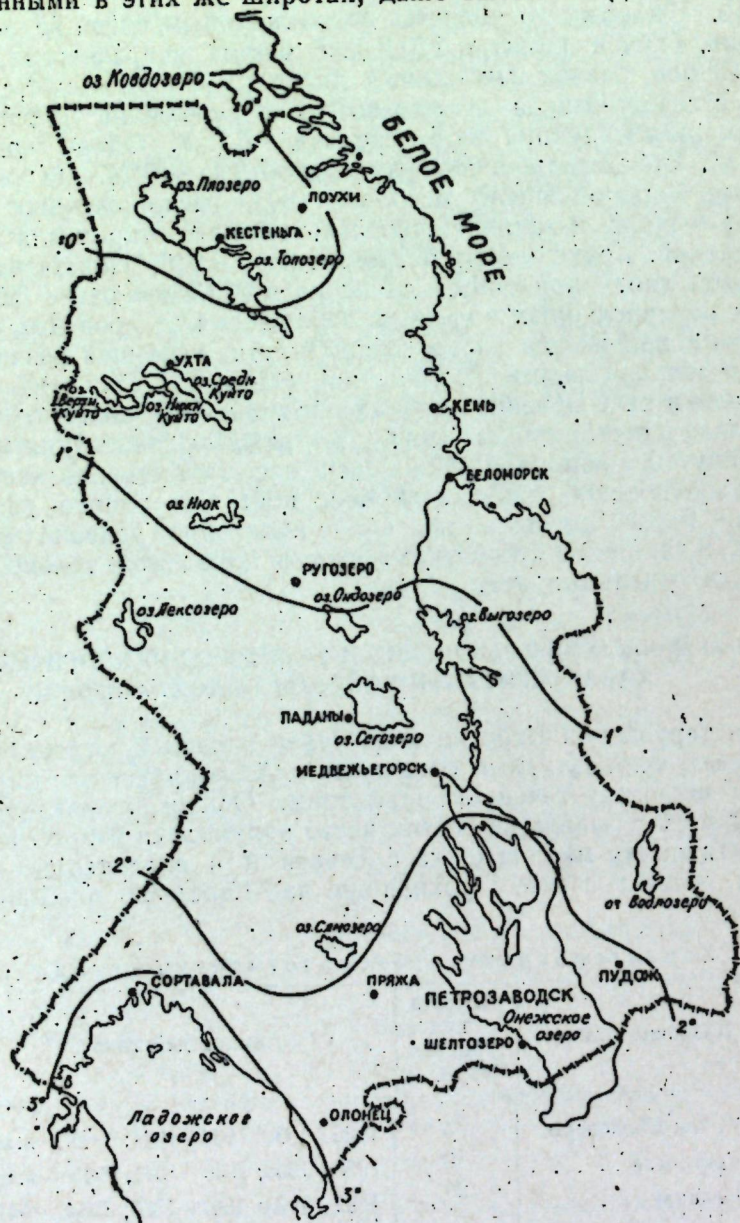


Рис. 2. Средняя годовая изотерма для Карелии.

Таблица 4

Средние месячные температуры воздуха

Название станции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год
Конец-Ковдозеро	-12,2	-12,0	-8,5	-1,3	4,2	10,7	15,0	12,2	7,0	0,7	-5,5	-9,6	0,1
Кестеньга	-12,3	-12,2	-8,5	-1,9	3,6	10,1	14,1	11,6	6,9	0,7	-5,2	-9,3	-0,2
Паданы	-10,9	-11,1	-7,3	-0,3	5,7	11,7	15,3	13,0	8,3	2,3	-3,4	-8,2	1,3
Пряжа	-10,1	-10,3	-6,1	1,2	8,2	13,5	16,6	14,0	8,8	2,7	-2,7	-7,9	2,3

Средние годовые температуры на севере Карелии близки к 0°, на юге около 2,5° (рис. 2). Годовая амплитуда колебания средней месячной температуры 25—30°, суточная амплитуда 6—8° в холодный период, до 9—10 в теплый и до 13—14° при антициклональной погоде.

Минимальные температуры воздуха изменяются по территории незначительно (табл. 5 и 6), с амплитудой 6—8° в зимние месяцы, 1—2° летом.

Таблица 5

Абсолютный минимум температуры воздуха

Название станции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год
Конец-Ковдозеро	-46	-44	-40	-30	-16	-4	0	-5	-9	-22	-32	-41	-46
Кестеньга	-46	-48	-44	-33	-17	-3	-1	-6	-8	-24	-34	-43	-48
Паданы	-41	-46	-38	-29	-15	-3	1	0	-6	-17	-27	-40	-46
Пряжа	-42	-40	-35	-25	-11	-4	1	0	-7	-18	-26	-40	-42

Таблица 6

Средний минимум температуры воздуха

Название станции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год
Конец-Ковдозеро	-16,7	-17,7	-13,7	-6,5	-0,5	6,0	10,0	7,7	3,3	-2,1	-8,7	-13,3	-4,4
Кестеньга	-17,1	-18,0	-15,2	-7,6	-0,8	5,7	9,0	7,1	3,0	-2,6	-8,4	-13,6	-4,8
Паданы	-14,7	-15,9	-12,5	-4,9	-1,4	7,5	11,1	9,5	5,0	-0,3	-5,9	-11,4	-2,6
Пряжа	-14,0	-14,4	-10,6	-2,9	3,4	8,7	12,1	10,4	5,6	0,1	-5,4	-11,2	-1,5

Таблица 7

Даты перехода средних суточных температур воздуха через 5° весной и осенью

Название станции	Весна			Осень			
	-5°	0°	+5°	+5°	0°	-5°	
Конец-Ковдозеро		31/III	21/IV	20/V	26/IX	18/X	12/XI
Кестеньга		1/IV	24/IV	24/V	27/IX	18/X	13/XI
Паданы		26/III	16/IV	12/V	2/X	27/X	23/XI
Пряжа		21/III	10/IV	1/V	4/X	30/X	27/XI

Таблица 11

Отклонения от нормы средних месячных температур воздуха по ГМС Паданы

Зима	XI	XII	I	II	III	IV	V
1945/46	-0,9	-5,6	1,5	-3,0	-0,1	0,3	-0,3
1946/47	-1,2	4,5	-0,6	-6,6	-3,7	0,6	-0,1
1947/48	0,4	-1,0	-1,1	0,8	0,4	2,0	2,8
1948/49	1,7	3,7	5,6	5,4	1,3	1,7	2,9
1949/50	1,4	2,6	-5,0	2,3	2,8	2,1	0,9
1950/51	1,7	2,5	-1,4	1,2	-1,7	2,6	-2,6
1951/52	-1,3	4,0	4,9	3,9	-4,1	1,1	-3,1
1952/53	-0,4	1,1	-0,5	-5,8	3,3	2,2	0,1
1953/54	1,8	4,4	1,1	-1,8	3,4	-1,0	0,8
1954/55	-0,4	4,8	-0,1	-3,4	-3,4	-3,4	-2,5
1955/56	-3,1	-7,9	-2,0	-5,8	+2,3	-3,8	0,9

Многолетние наблюдения за температурой воздуха на метеорологических станциях Петрозаводск (1857—1958) и Кемь (1863—1958 гг.) позволяют выделить характерные по суровости зимы за 100-летний период. Последнее десятилетие охватывает широкий диапазон температурных условий зимы (табл. 11) от самой суровой (1955/56 гг.) до самой теплой (1948/49 гг.). В том же десятилетии можно выделить зиму, близкую по суровости к средней за многолетний период (1947/48 гг.).

Правильность выбора характерных по суровости зим подтверждается также суммами отрицательных температур воздуха („суммами холода“) по ряду станций, расположенных в различных частях

Таблица 12

Сумма отрицательных температур воздуха за ноябрь—март

Год	Кестеньга	Паданы	Пряжа
1945—1946	1661	1459	1305
1946—1947	—	1418	1263
1947—1948	1320	1254	1177
1948—1949	840	687	484
1949—1950	1146	1097	963
1950—1951	1247	1142	977
1951—1952	1193	1003	896
1952—1953	1406	1272	1143
1953—1954	898	940	934
1954—1955	1367	1286	1074
1955—1956	1903	1835	1786
Среднее за 11 лет	1298	1218	1091

Карелии (табл. 12). Разница в них для крайних по широте пунктов примерно одинакова и несколько увеличивается по мере снижения суровости года.

Кроме температурных условий, на рост толщины льда значительное влияние оказывает снеговой покров, время его появления и распределение по месяцам, его высота, состояние и плотность. Чем выше слой снега в первые месяцы ледостава, тем медленнее, даже при сильных морозах, будет идти нарастание толщины льда и, наоборот, при малом снеговом покрове или при его отсутствии рост толщины льда будет интенсивным.

Сведений о характере распределения и изменения снегового покрова на водоемах за многолетний период в течение зимы нет, поэтому нельзя проследить изменения ледяного покрова в зависимости от слоя снега для характерных зим по осадкам.

ЗАМЕРЗАНИЕ ВОДОЕМОВ

Сроки появления ледовых образований на водоемах и их дальнейшее развитие определяются рядом факторов, к которым относятся запасы тепла в озерах и их расходование перед замерзанием, время и интенсивность перехода средних суточных температур воздуха через 0° к отрицательным значениям, сумма отрицательных температур воздуха от момента перехода через 0° до появления льда, ветровой режим и др. М. Рыкачев (1886) указывает для различных бассейнов страны продолжительность периода (в днях) от даты перехода средних суточных температур воздуха через 0° в отрицательном направлении до дня замерзания водоемов (табл. 13).

Таблица 13

Число дней от перехода средней суточной температуры воздуха через 0° до замерзания водоемов

Бассейн	Озера	Большие реки	Малые реки	Каналы
Финляндия	13	—	12	—
Белое море	26	24	19	21
Балтийское море	25	22	17	12

Этот период на крупных глубоководных озерах может быть более продолжительным, значительно превышающим величины, приведенные М. Рыкачевым. Так, на Сегозере в 1950 г. он составлял 58, в 1952 г. 44 дня. Разница между сроками появления ледовых образований и наступлением устойчивого ледостава на водоемах Карелии может достигать 45 дней (отмечено в 1953 г. на Сегозере, в районе Падан) и находится в непосредственной зависимости от хода температур воздуха и ветрового режима в период замерзания водоемов. Наименьшие различия отмечаются на Топозерском водохранилище в районе водомерного поста Кестеньга, расположенного в узком закрытом заливе, где ледостав обычно наступает в день появления ледовых образований и не превосходит 11 дней (1940 г.). Наиболее раннее замерзание

Таблица 14

Характерные и средние многолетние даты наступления ледостава

Озеро	Название станции	Наступление ледостава		
		раннее	среднее	позднее
Ковдозеро	Конец-Ковдозеро	29/X 1927	19/XI	23/XII 1938
Топозеро	Кестеньга	22/X 1926	13/XI	16/XII 1938
Пяозеро	Софьянга	4/XI 1927	13/XI	17/XII 1938
Сегозеро	Паданы	30/X 1926	7/XII	27/XII 1935
Выгозеро	Надвоицы	30/X 1941	17/XI	15/XII 1938
Палье	Карташи	15/XI 1956	16/XII	18/I 1930
Сандал	Сопоха	31/X 1952	14/XI	1/XII 1950
Гимольское	Гимолы	18/X 1928	11/XI	15/XII 1938
Сязозеро	Угмойла	22/X 1927	19/XI	15/XII 1938

водоемов Карелии за многолетний период (по наблюдениям на береговых постах) отмечено во второй половине октября (табл. 14); средние сроки ледостава относятся к 15—20 ноября, поздние — к концу декабря, исключая озера Сегозеро и Палье.

В связи с нарушением естественного режима оз. Выгозера на нем изменились и условия ледообразования, что подтверждается результатами наблюдений на водомерных постах (табл. 15).

Таблица 15

Средние и крайние сроки замерзания оз. Выгозера

Название станции	Число лет наблюдений	Период наблюдений	Установление ледостава		
			раннее	среднее	позднее
Выгозерский погост	21	1910—1931	19/X	4/XI	22/XII
Надвоицы	27	1931—1958	30/X	17/XI	15/XII

Однако учитывая общее потепление климата в первой половине нашего столетия с наибольшими положительными отклонениями, начиная с 1920-х годов (Соколов, 1955), а также вызванное этим явлением более позднее замерзание водоемов, нельзя запаздывать сроков установления ледостава, указанное в табл. 15, относить только за счет изменения морфологии водоема.

Поскольку сведений о запасах тепла в озерах нет, о них с некоторым приближением можно судить по сумме средних месячных температур воздуха наиболее теплых летних месяцев — июля и августа. Учитывая среднюю температуру сентября — первого месяца расходования накопленного за лето тепла, — можно ориентировочно определить сроки появления ледовых образований и замерзания озер. Действительное прохождение этих процессов определяется синоптической обстановкой переходного периода. Так, запасы тепла в предшествующие летние месяцы (июль — август) характерных по зимним условиям лет, исключая 1948 г., превышали „норму“ (табл. 16).

Таблица 16

Сумма средних месячных температур воздуха за июль—август

„норма“	Юг Карелии			Север Карелии			
	1947	1948	1955	„норма“	1947	1948	1955
29,1	30,0	28,4	32,7	26,6	28,6	24,2	28,7

Сентябрь в эти годы был теплее „нормы“, в связи с чем создавались условия для более позднего замерзания водоемов. Однако свойственное для этого периода вторжение на территорию Карелии холодных масс воздуха, сопровождаемое сильными ветрами, привело к установлению ледостава в сроки, близкие к средним за многолетний период (табл. 17).

Таблица 17

Даты наступления ледостава в характерные по суровости зимы

Озеро	Название станции	Наступление ледостава			
		средне-многолетние	1947	1948	1955
Ковдозеро	Конец-Ковдозеро	19/XI	19/XI	26/XI	15/XI
Топозеро	Кестеньга	13/XI	16/XI	12/XI	16/XI
Пяозеро	Софьянга	13/XI	16/XI	17/XI	16/XI
Сегозеро	Паданы	7/XII	20/XI	12/XII	28/XI
Выгозеро	Надвоицы	17/XI	18/XI	26/XI	8/XI
Палье	Гирвас	16/XII	21/XI	12/XI	нет свед.
Сандал	Сопоха	14/XI	13/XI	11/XI	7/XI
Гимольское	Гимолы	11/XI	нет свед.	10/XI	4/XI
Сязозеро	Угмойла	19/XI	17/XI	нет свед.	21/XI

Расхождение в сроках наступления ледостава в различных пунктах водоемов (по данным постов) в связи с местными особенностями их расположения могут быть довольно значительными. В 1945 г. на Выгозерском водохранилище ледостав отмечался в районе д. Надвоицы 4 ноября, у д. Вожмогора 31 октября, в заливе Телекинском 14 октября. В 1946 г. это явление наблюдалось в первых двух пунктах 11 ноября, а в последнем 19 октября. Наименьшая „сумма холода“, необходимая для замерзания прибрежной зоны Выгозера (по данным Гидрометеорологической службы), составляет 30—40°. Для этого отрицательные средние суточные температуры воздуха должны сохраняться в течение 5—10 дней, причем критической температурой в условиях безветрия является средняя суточная температура воздуха —8°. В 1953 г. на оз. Сегозере ледостав отмечался в районе с. Паданы 20 декабря, у д. Попов Порог 25 ноября, на постах оз. Выгозера 18—22 ноября.

К сожалению, до настоящего времени нет сведений о наступлении ледостава по всей акватории водоемов. Аэровизуальные наблюдения, проводимые с 1955 г. Петрозаводской гидрометеорологической обсерваторией над озерами Онежским и Выгозером, дают первое представление о времени и последовательности замерзания как их отдельных частей, так и водоемов в целом.

В 1955 г. (по данным постов) замерзание Выгозерского водохранилища проходило в следующей последовательности: в юго-восточной части озера, в районе д. Вожмогора, ледовые образования в виде заберегов наблюдались 30 октября, ледостав наступил 3 ноября. В северо-западном районе, у пос. Надвоицы, забереги появились 7 ноября; 8 ноября отмечался ледостав с отдельными полыньями у берега. „Сумма холода“ к этому времени составляла -46° . В заливе Телекинском (южная часть озера) 11 ноября установился ледостав с полыньями, 18 ноября отмечался сплошной ледостав. При аэровизуальном обследовании 14 ноября 1955 г. (по данным Петрозаводской гидрометеорологической обсерватории) сплошной ледостав наблюдался во всех заливах озера. В районах г. Сегежи и пос. Надвоицы отмечался ледостав с полыньями. В северной части водохранилища, в районе п-ова Медвежий, наблюдались отдельные ледяные поля. 21 ноября при „сумме холода“ -96° ледостав установился по всей акватории водоема, исключая его центральную часть, где оставались участки чистой воды. Разница в сроках замерзания прибрежных районов и центральной части озера составляла в этом году 3—13 дней.

Осенью 1956 г. переход температуры воздуха через 0° к отрицательным значениям произошел в обычные сроки (в конце октября). Похолодание было устойчивым и интенсивным со снижением средних суточных температур воздуха до -5° , -10° . Забереги на Выгозере отмечались в заливе Телекинском 29 октября (при „сумме холода“ -14°), у пос. Надвоицы 30 октября, в районе д. Вожмогора 2 ноября. Ледостав наступил в период с 1 по 4 ноября. При аэровизуальных наблюдениях 3 ноября при „сумме холода“ (по данным Сегежской ГМС) -35° ледостав отмечался в прибрежных мелководных участках до линии островов (на 4—5 км от берега), за которыми идет резкое увеличение глубин. Кромка льда проходила на восток от о-ва Сиговец. Центральная часть оставалась свободной ото льда. 10 ноября при „сумме холода“ -100° по всей акватории водохранилища был отмечен сплошной ледостав.

В 1957 г. устойчивый переход средних суточных температур воздуха через 0° отмечался в середине ноября. Вторая половина ноября и весь декабрь характеризовались резкими колебаниями температуры воздуха и сильными ветрами. Выгозеро замерзало в сроки, близкие к средним за многолетний период. Характер этого процесса (по данным постов) был следующий: забереги у пос. Надвоицы наблюдались 19 ноября при „сумме холода“ -28° , 23 ноября — чисто, 24 — сало, 25 — ледостав („сумма холода“ -42°). 28 ноября началось пешее сообщение по льду. В районе д. Вожмогора забереги были отмечены 18, ледостав 20 ноября; в заливе Телекинском забереги появились 16 ноября; через два дня наступил ледостав.

При аэровизуальном обследовании 19 ноября вся центральная часть озера была свободной ото льда, ледостав отмечен лишь в прибрежной зоне. 27 ноября (при „сумме холода“ к этому времени -51° , а с учетом температуры в день полета -70°) вся акватория водохранилища была покрыта льдом. Таким образом, материалы аэровизуальных наблюдений дают очень ценные сведения о сроках и характере

Таблица 18

Даты замерзания Выгозера и „суммы холода“ в зимы 1955—1957 гг.

Название станции, район	1955 г.		1956 г.		1957 г.	
	дата	ΣТ (—)	дата	ΣТ (—)	дата	ΣТ (—)
Надвоицы	8/XI	46	6/XI	64	25/XI	42
Вожмогора	7/XI	42	4/XI	52	20/XI	30
Телекинский	7/XI	42	1/XI	32	18/XI	28
Вся акватория озера . . .	22/XI	95	10/XI	109	27/XI	70

замерзания водоемов, о его последовательности и интенсивности в зависимости от „суммы холода“ (табл. 18).

По другим водоемам Карелии подобных сведений нет, и для характеристики их замерзания и вскрытия приходится ограничиваться данными береговых постов. Естественно ожидать, что на больших глубоководных озерах типа Пяозера и Топозера расхождения в сроках замерзания прибрежных участков и всей акватории могут быть значительно большими, чем на Выгозере.

ЛЕДОВЫЙ ПОКРОВ ВОДОЕМОВ И ЕГО ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПО ГОДАМ

Материалы многолетних наблюдений за ледовым покровом на береговых станциях указывают на значительную изменчивость его толщины по годам как по всей территории Карелии, так и в пределах одного водоема. Различный характер условий расположения постов, на которых ведутся наблюдения, оказывает существенное влияние на рост и изменение толщины льда в прибрежной зоне. Например, различия интенсивность роста льда и его толщина на озерах северной группы будущего Топо-Пяозерского водохранилища, на двух близко расположенных постах Кестеньга (отчлененный мелководный залив на северном берегу Топозера) и Софьянга (южный берег Пяозера). В районе первого поста дно пологое, песчано-валунное, зарастающее осокой, залив очень мелкий. На этом участке, независимо от суровости зимы, наблюдается самый толстый лед среди береговых зон крупных водохранилищ Карелии. В районе водомерного поста Софьянга дно отмелое, песчаное, вдоль уреза воды каменистое, без водной растительности. Пост расположен непосредственно при впадении вытекающей из Топозера р. Софьянки, воды которой оказывают существенное влияние на характер ледяного покрова в этом районе. На водомерном посту Софьянга отмечается самая низкая толщина льда для береговых участков водохранилищ. Аналогичная картина наблюдается в средней Карелии, на водохранилищах Выгозере и Сегозере: на первом посту расположены в закрытых заливах, где ледостав наступает значительно раньше, чем в открытом озере, на втором пост Паданы расположен на открытом берегу залива, принимающего воды р. Селецкой (площадь водосбора 3800 км²). По данным постов, независимо от суровости и снежности зимы, на Выгозере лед толще, чем на Сегозере. Приведенные примеры указывают на необходимость в каждом конкретном случае проводить детальное рассмотрение местных условий

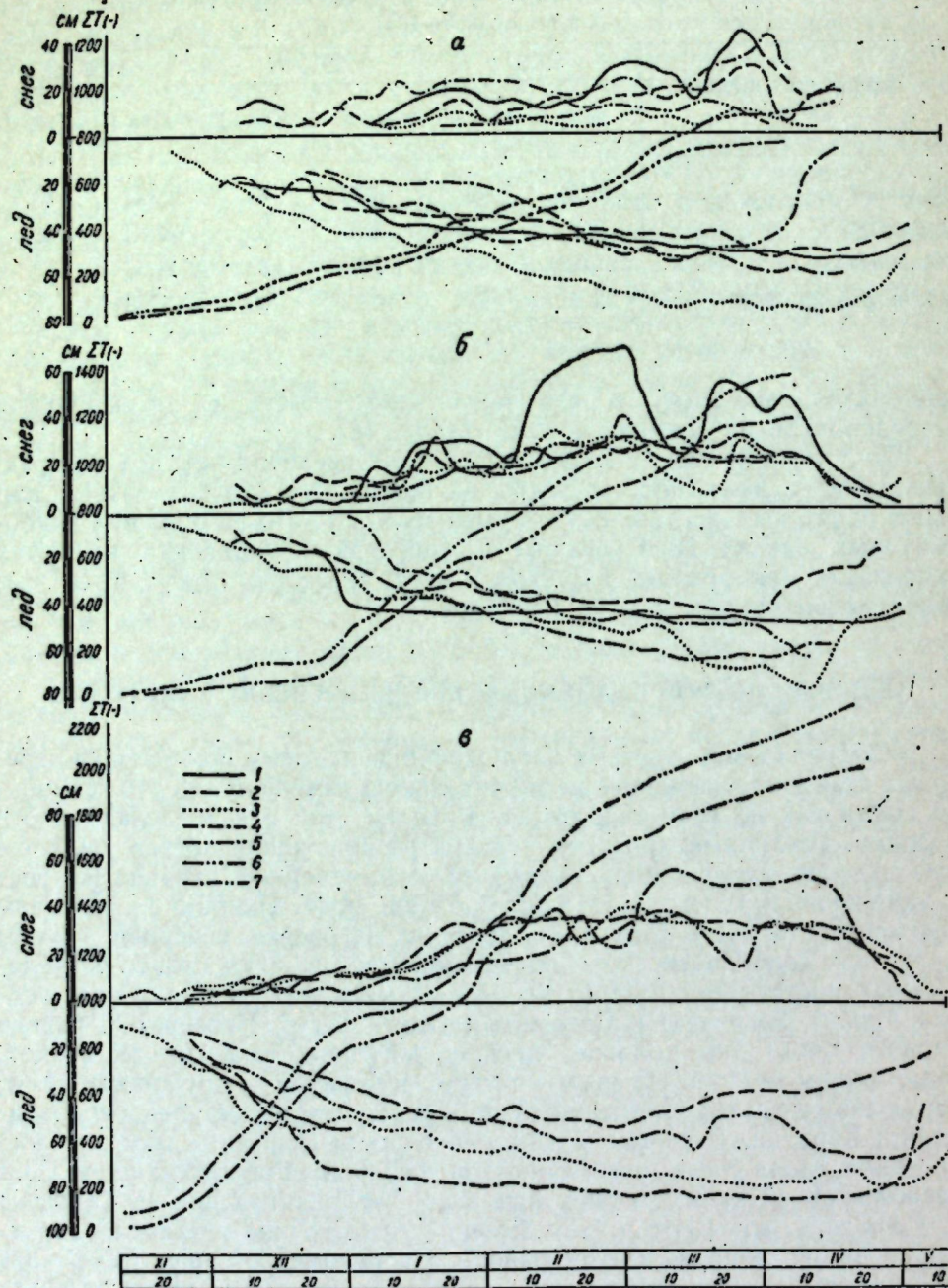


Рис. 4. Кривые изменения толщины льда, снега и интегральные кривые „сумм холода“.
 а — наиболее теплая зима 1948/49 гг.; б — зима близкая к средней 1950/51 гг.; в — наиболее суровая зима 1955/56 гг.
 1 — Ковдозеро — Конец-Ковдозеро; 2 — Пяозеро — Софьянга; 3 — Топозеро — Кестеньга; 4 — Выгозеро — Надвоицы; 5 — Сегозеро — Паданы; 6 — ГМС Оланга; 7 — ГМС Сегежа.

расположения береговых постов, так как без этого характеристика ледяного покрова и его изменения как в пределах одного водоема, так и по всей территории Карелии будет неполной.

Графики изменения толщины ледяного покрова, зимних осадков и нарастания отрицательных температур воздуха в прибрежных районах водохранилищ, построенные для характерных по суровости зим (рис. 4), позволяют подметить некоторые особенности роста льда по территории республики. Медленное накопление „суммы холода“ в зиму 1948/49 гг., самую теплую за многолетний период, при осадках ниже „нормы“, исключая районы Сегозера и Сямозера, где они несколько превышали ее (табл. 19), определило довольно плавное увеличение толщин льда на рассматриваемой группе водохранилищ.

Таблица 19

Осадки за характерные по суровости зимы, см

Водохранилище, станция	„Норма“ зимних осадков	Теплая зима 1948/49 гг.		Средняя по суровости зима 1950/51 гг.		Суровая зима 1955/56 гг.	
		сум-ма	средний слой осадков	сум-ма	средний слой осадков	сум-ма	средний слой осадков
Пяозеро — Софьянга . . .	118	74	10	131	17	140	22
Топозеро — Кестеньга . .	130	107	4	134	13	125	20
Выгозеро — Надвоицы . .	134	106	19	174	19	131	22
Сегозеро — Паданы . . .	128	131	6	145	18	85	19
Сямозеро — Угмойла ¹ . .	140	141	нет свед.	152	16	99	20

Некоторые отклонения от общей картины наблюдались на оз. Сегозере в районе водомерного поста Паданы, где в течение января при среднем месячном слое осадков 2 см и „сумме холода“ 160° лед вырос с 20 до 25 см. В феврале при меньшей „сумме холода“ (—130°) и большем слое снега (7 см) лед увеличился с 25 до 50 см. На Выгозерском водохранилище, в районе пос. Надвоицы, при тех же температурных условиях, что и на Сегозере, интенсивность роста льда была иной: за январь его толщина изменилась с 25 до 46 см при среднем месячном слое снега 16 см; за февраль лед вырос с 46 до 51 см при среднем слое снега 18 см. В южной части водохранилища, в заливе Телекинском, за январь толщина льда увеличилась с 23 до 40 см при слое снега 6 см, в феврале с 45 до 56 см (слой снега 8 см). В районе поста Вожмогора (юго-восточный залив озера) интенсивность роста льда была такой же, как и в заливе Телекинском: в январе с 28 до 45 см (средний слой снега 15 см), в феврале с 41 до 52 см (средний слой снега 30 см). Наибольшая толщина льда среди рассматриваемой группы водохранилищ наблюдалась в северной части Топозера, в районе водомерного поста Кестеньга: в конце января 1949 г. она равнялась 53 см, в конце февраля 70 см. Дальнейшее увеличение толщины льда в апреле при переходе средних суточных температур воздуха через 0° к положительным значениям происходит за счет промерзания пропитанного водой снега — процесса „наслузообразования“.

¹ „Норма“ и сумма осадков приведена по ГМС Пряжа.

В среднюю по суровости зиму 1950/51 гг. нарастание „суммы холода“ до конца декабря шло медленно. На Ковдозерском водохранилище, в районе поста Конец-Ковдозеро, кривая изменения ледяного покрова в декабре при среднем слое снега 4 см полностью повторяет кривую „суммы холода“ (рис. 4). В конце месяца при увеличении за пятидневку „суммы холода“ с -170 до -280° лед увеличился с 20 до 40 см. В последующие месяцы, несмотря на рост „суммы холода“ к 1 апреля до -1330° , толщина льда изменилась с 40 до 50 см. Средний слой снега за январь-март равнялся 38 см. Подобное изменение ледяного покрова в декабре-январе наблюдалось на Топозере, в районе поста Кестеньга, при некотором отставании нарастания толщины льда от увеличения „суммы холода“. На всех водохранилищах к 1 февраля толщина ледяного покрова была близкой к наблюдавшейся в этот период в самую теплую зиму.

Наиболее суровой за многолетний период была зима 1955/56 гг. Исключительно холодный декабрь со средними суточными температурами воздуха ниже -15° при преобладании температур в пределах $-20, -30^\circ$ с абсолютным минимумом в -39° , а также незначительный снежный покров создали благоприятные условия для интенсивного роста льда на всех водоемах Карелии. В южной ее части, на Онежском озере (район Шелтозера), за 10 дней лед вырос до 45 см, на оз. Сямозере толщина льда к концу ноября достигала 30 см. Такой же ледяной покров был и в средней Карелии на Сегозерском и Выгозерском водохранилищах (слой осадков на них примерно одинаков).

Начиная со второй половины декабря, процесс нарастания льда на Выгозере стал более интенсивным: уже к 20 декабря (рис. 4) разница в толщинах льда для районов Надвоиц (Выгозеро) и Падан (Сегозеро) достигала 24 см при среднем слое снега за первые две декады месяца соответственно 4 и 7 см. Дальнейшее увеличение ледяного покрова шло в прямой зависимости от слоя осадков, изменившегося от 20 см в январе до 30 см в феврале у Падан и от 12 до 23 см у Надвоиц. К концу зимы при накоплении „суммы холода“ к 1 апреля на севере республики до -2082 , на юге до -1800° толщина льда на Сегозере достигла 52, на Выгозере 86, на Сямозере 80 см. В районе поста Софьянга на оз. Пяозере лед был самым тонким среди всех озер-водохранилищ Карелии — 41 см.

Толщина льда и его структура изменяются в течение зимы в различной степени как по территории республики, так и в пределах одного водоема. Наблюдения на береговых постах не раскрывают действительной картины площадного распространения льда, о котором можно судить только на основании маршрутных съемок по всему озеру.

Для установления репрезентативности показаний береговых станций в конце марта 1958 г. нами совместно с Петрозаводской гидрометеорологической обсерваторией С-ЗУГМС был выполнен ряд ледовых разрезов на Выгозерском водохранилище. В феврале и марте 1958 г. нами повторялся разрез через Петрозаводскую губу Онежского озера. Кроме того, использованы материалы зимних наблюдений Института биологии Карельского филиала АН СССР на Сямозере в марте 1958 г.

Ниже приводится краткая характеристика условий замерзания водоемов Карелии в зиму 1957/58 гг. Устойчивый переход средних суточных температур воздуха через 0° наблюдался 14 ноября. Вторая половина ноября и весь декабрь характеризовались резкими колебаниями температуры воздуха. Это было вызвано притоком холодных

арктических масс с севера и северо-востока (ноябрь и первая половина декабря), который сменился западно-восточным переносом воздушных масс (исключительно теплая третья декада декабря). В северной части республики было значительно холоднее, чем в южной. До широты г. Медвежьегорска (к северу) была лишь одна оттепель в ноябре с повышением средних суточных температур воздуха до $+1^\circ$; в южной Карелии частые оттепели в 2—3 дня со средними суточными температурами воздуха от $+0,5^\circ$ до $+1,2^\circ$ сменялись резким снижением температур до $-17, -20^\circ$, что оказывало существенное влияние на характер замерзания и формирование ледяного покрова на водоемах республики.

Первые ледовые образования были отмечены 17—18 ноября, ледостав наблюдался в сроки, близкие к средним за многолетний период. Характер и последовательность замерзания Выгозерского водохранилища рассматривались выше. По температурным условиям зима 1957/58 гг. относится к числу близких к средней по суровости с большим количеством осадков и высокой водностью. Ледовые маршруты на Выгозере проводились в третьей декаде марта 1958 г., в период, когда „сумма холода“ достигла $-1260, -1350^\circ$, а снежный покров уже частично перешел в снежно-водный лед. Маршрутами были охвачены островная (северная) и открытая (центральная) части водохранилища (рис. 5). При съемке велось послойное измерение толщин льда, высоты снегового покрова в районе пункта наблюдений, отмечалось наличие водной прослойки между льдом различного строения, а также надледной воды. Измерения велись через 1 км. Лунки выполнялись ледовым буром ГГИ—47, структура льда описывалась при послойном скалывании его пешней. В ряде пунктов измерялась прозрачность воды.

Северный маршрут (1—1), общей длиной около 20 км, проходил по зимнику г. Сегежа — д. Сенная Губа, проложенному между островами Юда, южнее о-ва Ялгостров, между островами Большой Сенькин и Малый Сенькин. По всей длине маршрута, исключая участок в 1 км от г. Сегежи с чистым кристаллическим льдом толщиной до 42 см, ледяной покров состоял из кристаллического (рис. 5) и снежно-водного льда с водной прослойкой между ними высотой от 1 до 27 см (у восточного берега). На профиле отчетливо прослеживается связь между слоем снега и общей толщиной льда, а также виден процесс наслузообразования.

В результате избыточного давления снега на ледяной покров в нем появлялись трещины, через которые фонтанировала вода до момента выравнивания давления снега с „грузоподъемностью“ льда. Пропитанный водой снег при промерзании превращался в снежно-водный лед, резко увеличивая общую толщину ледяного покрова. Толщина кристаллического льда изменялась по профилю от 30 см (при общей толщине льда 35 см и слое снега 63 см) до 56 см (с общей толщиной льда 90 см и слоем снега 10 см). Замерено восточнее г. Сегежи соответственно в 3 км (точка на фарватере) и в 2 км. Средняя толщина кристаллического льда по разрезу была около 42 см. Общая толщина льда, в которую [согласно наставлению ГМС (1957 г.)] включаются водные прослойки, изменялась от 35 до 90 см при среднем значении 68 см. Снежно-водный лед изменялся по профилю от 0 см в 1 км, до 32 см в 4 км восточнее г. Сегежи. На 13 км от западного берега наблюдался двойной „наслуз“: кристаллический лед 37, вода 4, снежно-водный лед 8, вода 25, снежно-водный лед 10, снег 16 см.

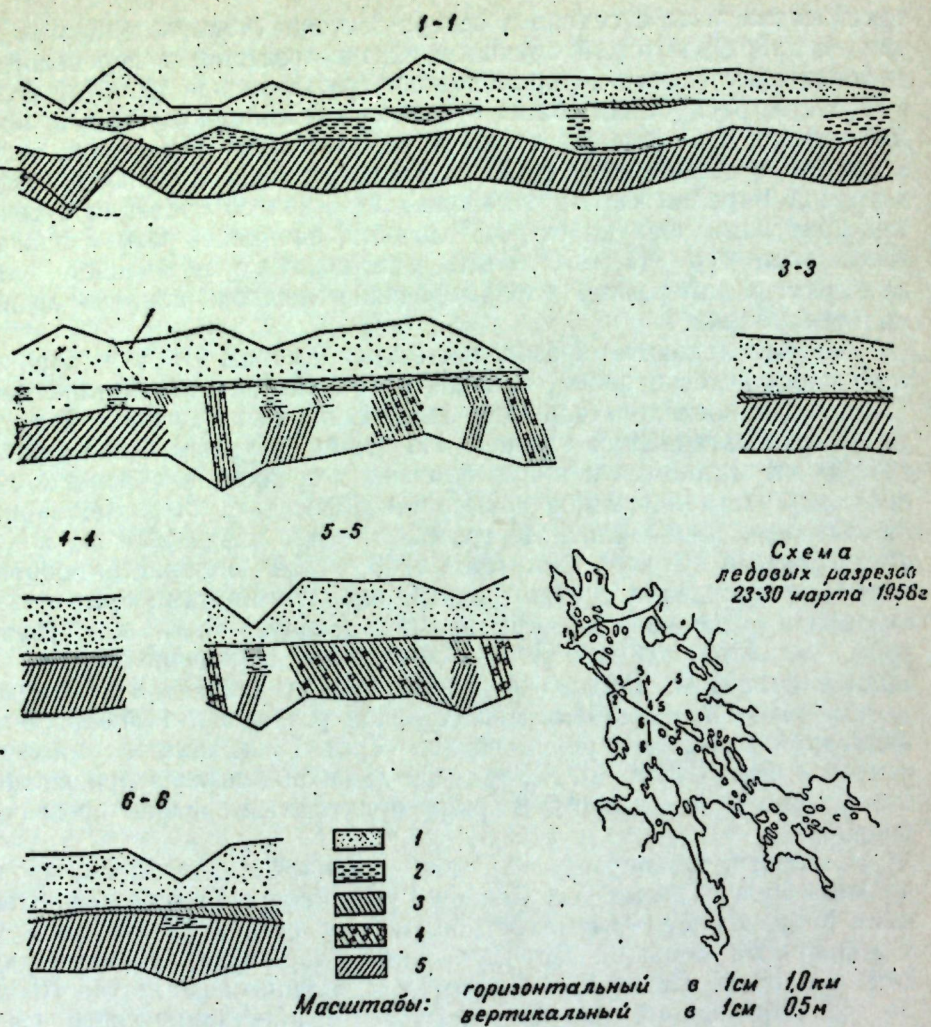


Рис. 5. Ледовые профили на Выгозере зимой 1957/58 гг.

1 — снег; 2 — вода; 3 — „наслuzовый“ лед; 4 — „шуговой“ лед; 5 — „кristallicheskii“ лед.

Второй маршрут длиной 34 км пересекал озеро в юго-восточном направлении вдоль зимника г. Сегежа — пос. Химпески. До о-ва Васькин санный путь проходил вблизи берега и между островами. Наблюдения в этой части характеризовали изменение ледяного покрова в условиях мелководья и обилия островов. От о-ва Васькин до траверза островов Киль и Сосновый разрез проходил через открытую часть водохранилища (2—2). Для детализации изменения ледяного покрова по площади в этом районе озера были сделаны три лыжных маршрута: о-в Васькин — о-в Бэм (3—3), о-в Городовой — острова Заячьи (5—5), о-в Городовой — в южном направлении (6—6). В островной части профиля на всем его протяжении лед имел сложное строение (рис. 5). Кристаллический лед изменялся от 33 до 64 см (соответственно общая толщина льда 61 и 74, „наслuzового“ — 27 и 7, снега — 27 и 29 см). Средняя толщина льда на этом участке при преобладании толщины 45—50 см равнялась 51 см. Общая толщина льда изменялась от 55 до 86 см при среднем значении 68 см. Соответственно слой снега был 43 и 14 см.

В центральной части озера, где замерзание водной поверхности проходило в условиях ветрового воздействия, выделялся ряд участков шугового льда с неправильно ориентированными льдинами по всей толщине и мелко-торосистой верхней поверхностью. По словам местных рыбаков, для этого района озера подобное явление довольно обычно. В одной из точек наблюдений отмечалось выклинивание шугового льда на кристаллический лед. С одной стороны лунки шуговой лед имел толщину 16, с противоположной 3 см; за ним следовал чистый кристаллический лед. Толщина ледяного покрова (общая) в центральном плесе водохранилища изменялась в широких пределах:

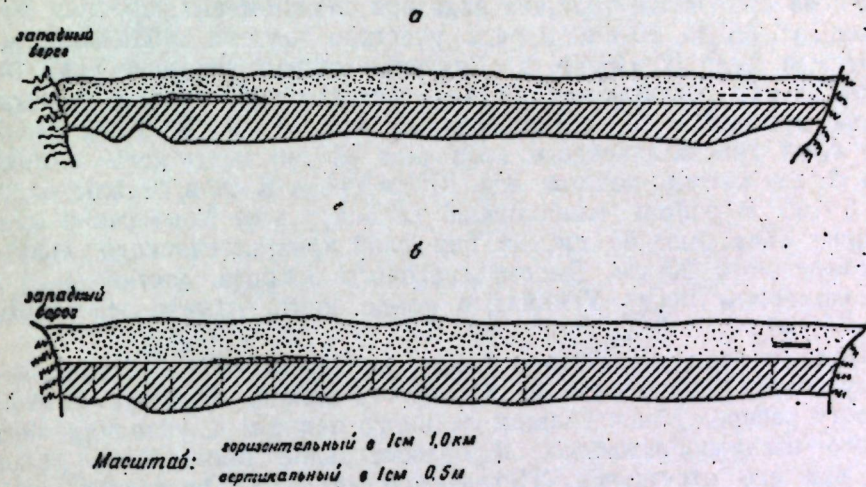


Рис. 6. Ледовые профили на Онежском озере (Петрозаводская губа) зимой 1957/58 гг.

а — 15/II 1958 г.; б — 3/III 1958 г. 1 — снег; 2 — „kristallicheskii“ лед; 3 — „наслuzовый“ лед.

от 49 (слой снега 56 см) до 98 см (слой снега 59 см) при средней толщине 59 см. Кристаллический лед изменялся по площади от 34 („наслuz“ 27, снег 44 см) до 59 см („наслuz“ 7, снег 26 см). Средняя его величина 44 см. Водная прослойка достигала в ряде участков 14—16 см. Как и в северной части озера, здесь встречались участки с двойным „наслuzом“ (многоярусный лед). В конце маршрута, на траверзе островов Киль и Сосновый, строение льда определить не удалось из-за надледной воды. При прохождении буром льда на его поверхности поднималась вода желтовато-коричневого цвета с резким запахом сероводорода, что, по-видимому, объясняется наличием в этом районе лима. Глубина в точке наблюдения 8 м.

В большинстве случаев при бурении лунки и производстве измерений на поверхность льда фонтанировала вода, слой которой при установившемся горизонте был от 10 до 26 см.

Ледомерная съемка в Петрозаводской губе Онежского озера повторялась дважды: 15 февраля 1958 г. при „сумме холода“ — 685° и среднем слое снега, считая от начала ледостава, 17 см и 3 марта при „сумме холода“ — 830° и слое снега 20 см. При первой съемке (рис. 6) лед по всему маршруту имел кристаллическое строение, за исключением километрового участка „наслuzового“ льда толщиной 5 см в 1 км от начала разреза. Толщина озерно-водного льда изменялась от 20 см у северо-восточного берега до 45 см в центральной части озера с преобладающими толщинами около 35 см. Средний слой

снега по разрезу равнялся 25 см. На водомерном посту Петрозаводск отмечалась толщина льда 32 см. Ко времени второй съемки лед изменился незначительно: предельные его величины стали 30—50 см, преобладали толщины около 40 см. Средний слой снега по разрезу был 35—40 см. В районе водпоста толщина льда достигала 36 см.

На Сямозере в последней декаде марта 1958 г. при сумме холода в начале периода —983° и в конце —1058° лед имел сложное строение. Озерно-водный (кристаллический) лед изменялся по площади водоема от 23 см у восточного берега, в районе д. Сямозера, до 55 см в Лахтинской губе. В центральной части озера преобладали толщины около 45 см. Общая толщина льда при сложном его строении изменялась от 65 до 80 см. В ряде участков водоема наблюдался многоярусный лед. В районе д. Сямозера общая толщина льда была 70 см, из них кристаллический лед составлял 23, снежно-водный 9, водная прослойка 20, снежно-водный лед 18 см. В Курмойльской губе слой кристаллического льда был 45 см; выше него замерены: вода 5 см, снежно-водный лед 10 см, вода 5 см и снежно-водный лед 5 см. В районе наибольших глубин у о-ва Хокинсаари общая толщина льда была 65 см, из них слой кристаллического льда 45, снежно-водного 20 см. Высота снежного покрова достигала 51 см. На водомерном посту Угмойла в конце марта отмечалась толщина льда 63 см.

Подводя итоги ледемерной съемки на Выгозерском водохранилище и результатов наблюдений на Сямозере, можно отметить большую пестроту распределения толщин ледяного покрова в условиях интенсивного наслузообразования и относительное постоянство толщин льда при его отсутствии (Петрозаводская губа Онежского озера). Средние значения толщин льда (общего) для акватории водоемов с малой степенью проточности близки к наблюдаемым на береговых постах (табл. 20), в связи с чем данные ледемерной сети на таких озерах могут быть использованы для подсчета объемов ледовых масс.

Таблица 20

Толщина льда (см) на 25/III 1958 г.

Озеро-водохранилище	Пункт наблюдения	Толщина, см
Выгозеро	Надвоицы	66
	Телекинский	50
	Средняя для озера	59—63
Сямозере	Угмойла	63
	Средняя для озера	65—80

Для транспортного использования водоемов в зимние месяцы ледемерные съемки обязательны, поскольку только они дают представление о минимальных толщинах льда и районах их распространения. Без их учета возможны несчастные случаи. Такие съемки имеют особо важное значение на озерах с высоким показателем проточности. Как показали исследования Г. Л. Грицевской (1958) на Верхнесунских озерах Гимольском (показатель условного водообмена 3,25) и Ройкнаволоцком (7,1) зимой 1949/50 гг., толщина ледяного покрова

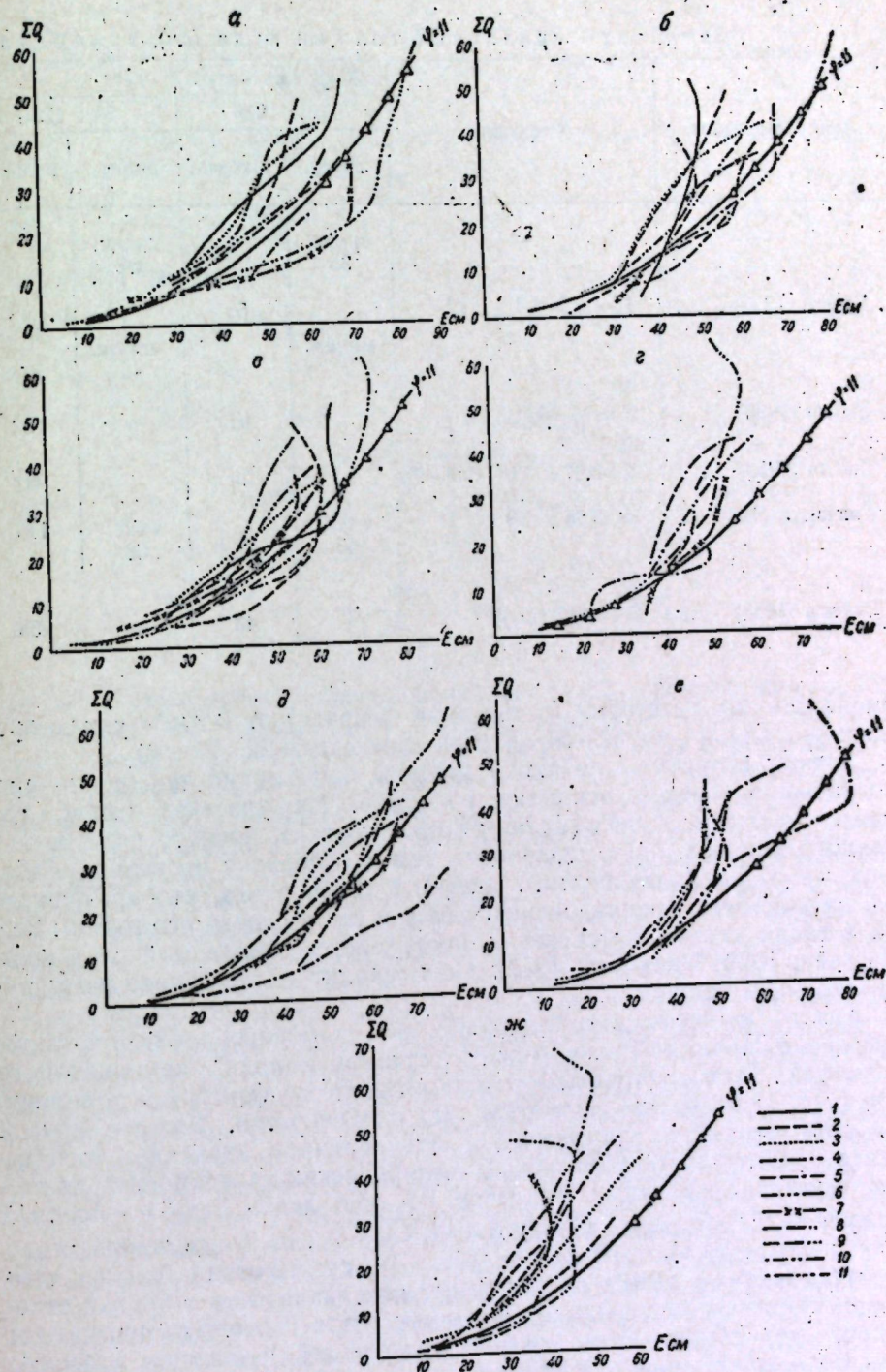


Рис. 7. Кривые связи толщины льда (E) и «суммы холода».
 а — Выгозеро — Надвоицы; б — Выгозеро — Вождьгора; в — Выгозеро — Телекинский; г — Сегозеро — Паданы; д — Топозеро — Кестельга; е — Топозеро — Кизрека; ж — Пяозеро — Софьянга.
 Зимы: 1 — 1945/46 гг.; 2 — 1946/47 гг.; 3 — 1947/48 гг.; 4 — 1948/49 гг.; 5 — 1949/50 гг.; 6 — 1950/51 гг.; 7 — 1951/52 гг.; 8 — 1952/53 гг.; 9 — 1953/54 гг.; 10 — 1954/55 гг.; 11 — 1955/56 гг.

Результаты сравнения толщин льда (см), замеренных

Автор формулы	Формула	Онежское озеро		С я-	
		15/II 1958		24/I 1956	
		замер.	вычисл.	замер.	вычисл.
1. Быдин (1932) . . .	$E = \varphi \sqrt{\Sigma\theta}$	средн. 35	52	средн. 52	63
		миним. 20		миним. 45	
2. Быдин (1933) . . .	$E = \frac{\varphi}{1+2h} \sqrt{\Sigma\theta}$		64		82
3. Быдин (1953) . . .	$E = 3,67 \sqrt{\Sigma\theta + 6h^2 - 9h}$		30		33
4. Гончаров (1951) . .	$E = 3,68 \sqrt{\Sigma\theta}$	макс. 45	96	макс. 68	115
5. Зайков (1955) . . .	$E = 0,187 (\Sigma\theta)^{0,83}$		43		56

изменялась по акватории (в середине февраля) от 0 см в узких проливах — „салмах“ до 52—54 см (при слое снега 22—27 см).

Знание структуры ледяного покрова необходимо также для прогнозирования сроков вскрытия водоемов. На участках озера, где имеется наслuzовый лед (мутно-белой окраски), процесс разрушения ледяного покрова идет медленнее, чем в районах с чистым кристаллическим льдом (голубоватого цвета), в связи с тем, что прозрачный лед способствует проникновению тепла и света сквозь его толщу. Весной в таких местах интенсивнее прогревается подледный слой воды (Матвеев, 1928; Писякова, 1947) и происходит более раннее разрушение ледяного покрова.

Анализ материалов наблюдений на водомерных постах, а также построение кривых связи между „суммой холода“ как основного и наиболее легко учитываемого климатического фактора и толщиной льда (рис. 7) позволяет подметить ряд особенностей. Каждой кривой в общем семействе соответствует определенное значение коэффициента φ , которым обычно авторы эмпирических зависимостей учитывают влияние различных факторов на рост льда. Если в известной формуле Ф. И. Быдина (1932) $E = \varphi \sqrt{\Sigma\theta}$ (—), где E — толщина льда, в сантиметрах, φ — коэффициент, $\Sigma\theta$ (—) — сумма отрицательных температур воздуха („сумма холода“), принять значение $\varphi = 11$, как отвечающее некоторым средним условиям, при которых происходит процесс нарастания льда, то для отдельных пунктов и водоемов отмечается отклонение коэффициента φ в пределах от 8 (рис. 7 ж) до 11 (рис. 7 а). На оз. Топозере для района поста Кестеньга средняя для семейства кривых величина φ равна 10,0—10,5. Значительное увеличение ее дает зима 1948/49 гг., относящаяся к числу наиболее теплых за многолетний период (рис. 7 д). Соответствующая ей кривая занимает на графике крайнее правое положение, наиболее суровой зиме (1955/56 гг.) отвечает среднее положение при $\varphi = 11$. Край-

Таблица 21

при ледомерных съемках и вычисленных по формулам

мозеро						Выгозеро	
1 III 1956		14/IV 1956		28/III 1958		28/III 1958	
замер.	вычисл.	замер.	вычисл.	замер.	вычисл.	замер.	вычисл.
средн. 87		средн. 91		средн. 70		средн. 55	
	81		87		65		73
миним. 65		миним. 78		миним. 65		миним. 42	
	101		112		66		75
	55		60		35		31
макс. 100	149	макс. 105	159	макс. 80	119	макс. 61	135
	87		93		62		75

нее левое положение обычно занимают зимы, средние по суровости и осадкам. Для района поста Кизрека (рис. 7 е) кривые связи для начала зимы лежат между $\varphi = 9$ и $\varphi = 11$; начиная с февраля, отмечается незначительное их отклонение влево, соответствующее замедлению роста льда при дальнейшем увеличении „суммы холода“.

На оз. Пяозере в районе поста Софьянга наблюдается более значительный разброс точек (рис. 7 ж). Средняя кривая для семейства (при их общем отклонении от теоретически вычисленного значения влево) имеет величину φ около 8, что указывает на наличие ряда факторов, влияющих на отставание роста льда от „суммы холода“. Основным из них является расположение поста непосредственно у впадения р. Софьянга, вытекающей из оз. Топозера и не замерзающей даже в суровые зимы. Приблизительный подсчет показывает, что количество тепла, вносимого р. Софьянгой в Пяозеро, довольно значительно. Если принять (условно) среднюю температуру воды в реке в зимние месяцы $+0,2^\circ$, то при зимнем расходе воды при впадении реки в озеро, равном $33 \text{ м}^3/\text{сек}$, общее количество приносимого ею тепла в сутки будет составлять около $5,7 \cdot 10^5 \text{ т/кал/сутки}$, считая, что повышение температуры 1 дм^3 воды на 1° дает 1 кг/кал тепла. Такой подсчет указывает на то, что пост Софьянга совершенно не характерен для наблюдений за ледовыми явлениями на водоеме.

Для трех постов Выгозерского водохранилища средняя величина φ изменяется от 9,5 для района залива Телекинского до 11 в районе Надвоиц. Значительный разброс точек для отдельных лет, а также вид кривых (рис. 7) свидетельствуют об изменчивости коэффициента φ как по годам, так и внутри года. На графиках прослеживается общая закономерность: для суровых, а также теплых и многоснежных зим значения $\varphi > 11$, для зим средних по суровости и осадкам $\varphi < 11$. Для холодных и многоснежных зим (1951/52, 1953/54 гг.), начиная с февраля, рост льда становится более замед-

ленным при дальнейшем увеличении „суммы холода“, что происходит в результате отепляющего влияния снегового покрова.

В теплые и многоснежные зимы (1946/47, 1947/48 гг.), начиная с февраля, кривые φ изгибаются вправо, что свидетельствует о продолжающемся росте льда за счет наслугообразования при незначительном увеличении „суммы холода“. Для оз. Сегозера (район водомерного поста Паданы) коэффициент φ равен 9—9,5 (рис. 7 г). Можно предполагать, что на уменьшение толщины льда в этом районе оказывают влияние, во-первых, сток р. Лужмы-Селецкой, впадающей в Паданский залив вблизи водомерного поста Паданы и приносящей в озеро $4,5 \cdot 10^6$ т/кал/сутки тепла (при зимнем расходе около 26 м³/сек), во-вторых, тепловой запас водной массы озера. Вблизи с. Паданы берег глубокий (рядом проходит 20-метровая изобата), в связи с чем охлаждающее влияние его сказывается в меньшей степени, чем на Топозере в районе Кестеньги, где глубины незначительны.

При использовании коэффициента φ для расчетов необходимо, кроме местных особенностей, учитывать также климатические условия отдельных районов. Так, зима 1949/50 гг. для юга Карелии была близка к „норме“ по „сумме холода“, на севере она была значительно теплее обычных условий. Это находит отражение на графиках связи: для северных озер Топозера и Пяозера зима 1949/50 гг. дает крайнюю левую кривую ($\varphi \cong 7$), для Выгозера и Сегозера занимает среднее положение ($\varphi \cong 11$).

Для установления расчетных значений толщины льда, по данным температур воздуха на приладожских каналах за 18—20 зим (Медрес, 1957), получен переходный коэффициент $\varphi = 1,8$ для южной прибрежной части Ладожского озера (при пользовании средними суточными температурами воздуха), причем полученная зависимость дает достаточно удовлетворительные результаты только до значений 30—35 см; при больших толщинах погрешность резко увеличивается.

Сведения о минимальных, наибольших и средних толщинах льда, полученные в результате ледовых маршрутов, выполненных нами зимой 1957/58 гг. на озерах Выгозере и Онежском, а также зимой 1955/56 гг. на Сямозере, позволили провести сравнение с вычисленными значениями толщин льда по некоторым эмпирическим формулам, предложенным различными авторами (табл. 21).

При сравнении мы ограничились лишь формулами, которые выведены по исследованиям на озерах. Исключением является формула Ф. И. Быдина (1932), выведенная по наблюдениям на р. Свири, однако ее автор указывает, что в условиях умеренного снегового покрова она действительна для рек с малыми скоростями течения, а также для водоемов обычного типа (не заболоченных, не в истоке из теплых озер, без сильного грунтового питания).

Наиболее близкие к действительным результаты дают формулы Ф. И. Быдина (1) и Б. Д. Зайкова (5). Для озер Онежского и Выгозера вычисленные толщины льда ближе к наибольшим среди замеренных величин, отличаясь от них на 4—23%. Для Сямозера они ближе к средним для всего водоема, а для марта 1958 г. к наименьшим из замеренных величин с отклонением в 2%.

Ни одна из эмпирических формул не учитывает часто наблюдаемого сложного строения льда (сочетание кристаллического и наслугового льда с водными прослойками между ними), а также того многообразия природных условий, в которых происходит его рост. В связи с этим подсчеты по формулам дают величины с различной

степенью приближенности, зависящей от подбора переходного коэффициента φ и учета других факторов, определяющих рост льда. Выше было показано, что φ может меняться как по территории, так и по отдельным годам в зависимости от характера зимы. Пользуясь этими формулами, можно получить только порядок величин и по ним производить приближенные подсчеты.

ВСКРЫТИЕ И ОЧИЩЕНИЕ ОЗЕР ОТО ЛЬДА

Разрушение ледяного покрова на крупных озерах-водохранилищах южной и центральной Карелии наблюдается обычно во второй декаде мая, на северных водоемах — в конце мая. М. Рыкачев (1886) указывал для различных бассейнов страны продолжительность периода (в днях) от даты перехода средних суточных температур воздуха через 0° в положительном направлении до дня вскрытия водоемов

Таблица 22

Число дней от перехода средней суточной температуры воздуха через 0° до вскрытия водоемов

Бассейн	Озера	Большие реки	Малые реки	Каналы
Финляндия	30	—	18	—
Белое море	32	19	18	32
Балтийское море	29	10	12	21

(табл. 22). Для Онежского озера в районе Петрозаводска он указывал характерные даты вскрытия за период с 1816 по 1870 г.: ранее 29 апреля (1827 г.), позднее 14 июня (1867 г.). Ранние и поздние даты первых подвижек льда, а также очищения от него водоемов, отмеченные на водомерной сети (табл. 23), изменяются по территории

Таблица 23

Характерные и средние многолетние даты вскрытия

Озеро	Название станции	Подвижка льда			Очищение		
		ранняя	средняя	поздняя	раннее	среднее	позднее
Ковдозеро	Конец-Ковдозеро	30/IV 1937	24/IV	14/V 1941	1/V 1937	26/V	15/VI 1941
Топозеро	Кестеньга	23/IV 1935	21/IV	18/VI 1941	6/IV 1950	27/V	19/VI 1941
Выгозеро	Надвоицы	21/IV 1950	13/V	29/V 1945	1/V 1953	19/V	3/VI 1945
Сегозеро	Паданы	20/IV 1948	15/V	26/V 1955	сведения неполные		
Гимольское	Гимолы	24/IV 1950	10/V	21/V 1956	27/IV 1950	17/V	25/V 1929
Сямозеро	Угмойла	сведения неполные			29/IV 1950	15/V	27/V 1956

в довольно широких пределах: от одного месяца на юге Карелии до полутора месяцев в северных районах.

В многолетний период в связи с потеплением климата (Соколов, 1955) последние десятилетия характеризуются ранним переходом средних суточных температур воздуха через 0° к положительным значениям. В отдельные годы (1948) это явление наступало раньше „нормы“ на 16 дней в центральной и на 25 дней в северной Карелии. Это происходит в связи с потеплением климата (Соколов, 1955). Как правило, вскрытие водоемов в такие годы проходит в ранние или близкие к ним сроки. Длительность и характер этого процесса определяются синоптической обстановкой предшествующего периода. Неоднократные вторжения холодных арктических масс воздуха в этот период снижают интенсивность таяния снега, разрушения льда и сдвигают сроки вскрытия водоемов. Так, в марте 1946 г. через север Скандинавии с захватом территории Карелии проходил полярный антициклон; вскрытие водоемов весной этого года проходило на 5 дней позже „нормы“. Весной 1947 г. в связи с распространением арктических масс воздуха на районы Карелии вскрытие наблюдалось на 3 дня позже „нормы“.

В 1950 г. благодаря устойчивому западно-восточному переносу воздушных масс в марте водоемы вскрылись на 11 дней раньше „нормы“. Весной этого года первый переход средних суточных температур воздуха через $+5^{\circ}$ наблюдался в двадцатых числах марта по всей Карелии. Апрель на севере республики был теплее „нормы“ на 2,5–5,0, на юге на 3,0–4,5°. Такое явление довольно необычно для условий Карелии. Несмотря на то, что толщина льда в эту зиму была выше нормы, его разрушение шло быстро главным образом за счет солнечной радиации при сухой малооблачной со слабыми ветрами погоде. На Онежском озере у Петрозаводска 1 апреля при сумме положительных температур воздуха — „тепла“ около 8° толщина льда была 72 см, 21 апреля при увеличении „суммы тепла“ до 68° его толщина снизилась до 35 см, из них только слой в 10 см имел кристаллическое строение. Озеро вскрылось на 7 дней позже самой ранней за период с 1867 по 1958 г. даты (19 апреля 1921 г.) при „сумме тепла“ около 108° . Период очищения озер ото льда был непродолжительным (2–5 дней). Исключение составляло оз. Выгозеро, на котором оно затянулось до 10 дней.

Зима 1951/52 гг. по суровости относится к группе мягких зим с большим количеством осадков. Переход средних суточных температур воздуха через 0° в средней Карелии наблюдался 7 апреля (при „норме“ 16 апреля). Весной этого года следовало бы ожидать раннее вскрытие водоемов, однако прохождение ряда волн холода в апреле и в первые две декады мая определило затяжной характер весны. На Сегозере, в районе поста Паданы, первая подвижка льда отмечалась в самый поздний за многолетний период срок — 25 мая при „сумме тепла“ 123° , считая от даты устойчивого перехода средних суточных температур воздуха через 0° . На Выгозерском водохранилище, в районе поста Надвоицы, подвижка льда отмечалась 9 мая, т. е. в срок, близкий к средним за многолетний период. „Сумма тепла“ составляла 67° . Вскрытие озер затянулось и длилось в течение месяца. Весна, сменившая исключительно суровую за многолетний период зиму 1955/56 гг., была затяжной. Апрель был продолжением зимы и имел среднюю месячную температуру воздуха (табл. 24) значительно ниже „нормы“. Устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через 0° произошел по всей Карелии на 11 дней

Таблица 24

Средняя месячная температура воздуха

Озеро	Название станции	Апрель	
		норма	1956 г.
Пяозеро	Оланга	-1,3	-6,0
Выгозеро	Сегежа	-1,9	-5,3
Сямозеро	Угмойла	+1,2	-2,7

позже нормы: на юге 20–22 апреля, на севере 1 мая. Температуры воздуха в мае на севере республики были выше нормы, на юге холоднее, в связи с чем вскрытие затянулось. На Крайнем севере (озера Ковдозеро, Топозеро, Пяозеро) оно проходило в сроки, близкие к средним за многолетний период (табл. 25), в средней и южной Карелии сдвинулось на самые поздние или близкие к ним сроки.

Таблица 25

Вскрытие водоемов в 1956 г.

Озеро	Название станции	Подвижка льда			Очищение ото льда		
		норма	1956 г.	сумма тепла, °	норма	1956 г.	сумма тепла, °
Ковдозеро	Конец-Ковдозеро	24/V	22/V	нет свед.	26/V	таял на месте	
Топозеро	Кестеньга	21/V	26/V	151	27/V	28/V	174
Выгозеро	Надвоицы	13/V	16/V	104	19/V	30/V	231
Сегозеро	Паданы	15/V	21/V	119	сведения неполные	таял на месте	
Гимольское	Гимолы	10/V	20/V	119	17/V	25/V	165
Сямозеро	Угмойла	сведения неполные	23/V	181	15/V	27/V	233

По данным аэровизуальных наблюдений Петрозаводской обсерватории, последовательность вскрытия Выгозерского водохранилища весной 1956 г. была следующей. В северной части озера первые слабые признаки разрушения льда в виде прерывистых закраин и небольших трещин отмечались 16 мая при „сумме тепла“ к этому времени 104° . Заметное разрушение ледяного покрова началось в юго-восточном районе озера 23 мая; 25 мая („сумма тепла“ 182°) уже отмечались первые подвижки льда. В районе Надвоиц они наблюдались значительно раньше. Средняя часть водохранилища до конца месяца была покрыта льдом с многочисленными трещинами, проталинами и полыньями. В связи с усилением ветра к 3 июня („сумма тепла“ 277°) озеро полностью очистилось ото льда. На береговых постах подвижки льда и очищение отмечались несколько раньше (табл. 26).

Весной 1957 г. вскрытие водоемов было более интенсивным. Предшествующая зима была мягкой („сумма холода“ -1270°) с много-

численными оттепелями. Устойчивый переход средних суточных температур воздуха через 0° произошел 18 апреля; 24 апреля наблюдался переход уже через $+5^{\circ}$. Исключительно теплая погода в средней и южной Карелии в первых двух декадах мая, когда средняя суточная температура воздуха не опускалась ниже $+10^{\circ}$ (в период между 7 и 20 мая), а в отдельные дни повышалась до $+16^{\circ}$, $+20^{\circ}$, и полное отсутствие вторжений холодных масс воздуха способствовали дружному вскрытию водоемов, которое наблюдалось в сроки более ранние, чем средние многолетние.

Таблица 26

Даты вскрытия Выгозера в 1956 г.

Пост	Подвижка льда	Очищение
Надвоицы . . .	20/V	31/V
Вожмогора . . .	29/V	1/VI
Телекинский . .	26/V	28/V

На Выгозерском водохранилище в первых числах мая был сплошной заснеженный ледяной покров. Первые подвижки льда отмечены на постах 10—12 мая при „сумме тепла“ 124° . Авианаблюдения 8 мая выявили очень слабые признаки разрушения льда; „чисто“ было в районах Надвоицкой губы, Майгубы, Линдозера. Вся акватория водохранилища была покрыта льдом с редкими промоинами и частично сохранившимся снеговым покровом. Очищение ото льда, по данным постов, произошло 13—14 мая при „сумме тепла“ 146° . Авианаблюдений из-за плохой погоды не было.

Весна 1958 г. по всей Карелии наступила на 10—16 дней позже нормальных сроков. Предшествующая ей зима характеризовалась суровостью несколько выше средней („сумма холода“ около -1450°), поздним началом, большой снежностью и высокой водностью. Сильные морозы, наблюдавшиеся в марте, обусловили дальнейший рост льда и сохранение зимней обстановки на озерах в течение длительного времени. Устойчивый переход средних суточных температур воздуха через 0° на юге наблюдался 15, а окончательный — 26 апреля; на севере соответственно 26 апреля и 12 мая. По характеру весна была не только поздней, но затяжной и холодной. Вскрытие водоемов проходило в сроки более поздние, чем средние за многолетний период.

Последовательность и характер вскрытия Выгозерского водохранилища были следующими: 9 мая при „сумме тепла“ 33° закраины отмечались в районах г. Сегежи и пос. Надвоицы, у островов — небольшие полыньи. 15 мая („сумма тепла“ 39°) в Телекинском заливе и у о-ва Сиговца на фарватере наблюдались промоины. На озере был ровный неподвижный лед. 25 мая („сумма тепла“ 82°) было чисто у впадения рек Верхний Выг и Вожма, а также у островов, отделяющих оз. Боброво от центральной части водохранилища. На оз. Бобровом отмечался ледостав, лед был частично заснежен, с большим числом промоин и луж. В районах г. Сегежи и пос. Надвоицы отмечались участки чистой воды с мелкобитым льдом у островов, в центральной части озера малодеформированный ледостав с редкими полыньями, у берегов узкие закраины. 27 мая („сумма тепла“ 112°)

ледовый покров находился в стадии разрушения: лед потемнел, увеличилось количество полыней и разводий. К северу от широты г. Сегежи, а также в районах залива Телекинского и оз. Боброва Выгозеро очистилось. В средней части водохранилища густота льда была 7—9, по краям 3—5 баллов. 29 мая („сумма тепла“ 138°) к северу от о-ва Сиговец осталось большое поле рыхлого льда, исчезнувшее, по-видимому, в первых числах июня. Обычно основная масса льда тает в самом озере, только незначительная часть у пос. Надвоицы проникает через протоку в р. Нижний Выг. При сильных ветрах часты навалы льда на берега в виде торосов, достигающих значительных размеров.

Таким образом, продолжительность периода вскрытия на озерах Карелии колеблется в широких пределах и определяется главным образом характером весны и гидрометеорологической обстановкой (интенсивность солнечной радиации, осадки, ветер, быстрота подъема уровней и др.).

ВЫВОДЫ

1. До настоящего времени о ледовых условиях на водоемах Карелии (замерзание, формирование и рост льда, вскрытие) можно было судить преимущественно только по материалам наблюдений на береговых постах, которые, естественно, не раскрывают действительной картины развития и прохождения этих процессов на всей их акватории.

2. Связи между сроками наступления ледовых явлений и „суммами холода“, а также сроками вскрытия и „суммами тепла“ при коротких рядах наблюдений выражены неясно. Явления замерзания и вскрытия зависят от совокупности многих факторов (температуры воздуха, ветров, выпадающих притоков, течений, осадков и др.), поэтому попытки установления связей с отдельными из них не приводят к удовлетворительным результатам.

3. Ледомерные съемки, проведенные на ряде озер Карелии (Выгозеро, Сямозеро, Онежское, Ройкнаволоцкое), позволяют отметить, что толщины льда, измеренные в районах водомерных постов, близки к средним для всего водоема только на озерах с малым показателем водообмена; на водоемах с высоким показателем водообмена (Гимольское, Ройкнаволоцкое) толщина льда по акватории менее однообразна.

4. Несмотря на более позднее замерзание центральной части водоемов, уже к середине зимы толщина льда в ней становится равной, а в ряде случаев превосходит отмеченную на береговых постах. Интенсивность роста льда зависит от слоя выпавших осадков.

5. Эмпирические зависимости, предложенные различными авторами для определения толщины льда, не учитывают таких важных факторов, как плотность снега, лежащего на льду, характер изменения толщины снега за расчетный интервал времени, тепловой поток из водной массы к нижней поверхности ледяного покрова и др. Поэтому они могут применяться только для определения порядка величины и проведения приближенных подсчетов.

6. Аэровизуальные наблюдения за процессами замерзания и вскрытия на крупных водоемах дают ценный материал научного и практического значения.

ЛИТЕРАТУРА

- Алекин О. А. К изучению зимнего гидрологического режима Телецкого озера. В кн.: «Исследования озер СССР», вып. 9, М.—Л., Гидрометеониздат, 1937.
- Берг Е. В. Вскрытие и замерзание Онежского озера. Там же, вып. 5, Л., 1933.
- Богданов И. Ф., Спенглер О. А. О методике обработки наблюдений над вскрытием и замерзанием вод. В кн.: «Труды IV Гидрологической конференции Балтийских стран», Л., 1933.
- Бородай Н. И. Материалы к изучению строения ледяного покрова Байкала. «Тр. Байкальской лимнологической ст.», т. 9, 1939.
- Брегман Г. Р. Руководство для прогнозов толщины ледяного покрова на реках и озерах. Л., Гидрометеониздат, 1942.
- Быдин Ф. И. Исследование роста льда в природных условиях. «Изв. науч.-исслед. ин-та гидротехники», т. 4, 1932.
- Быдин Ф. И. Зимний режим рек и методы его изучения. В кн.: «Исследования рек СССР», вып. 5, изд. ГГИ, 1933.
- Быдин Ф. И. Опыт долгосрочных прогнозов замерзания водоемов по СССР в зиму 1934—1935 гг. «Изв. ГГИ», 1934, № 66.
- Вейнберг Б. П. Лед, свойства, возникновение и исчезновение льда. М.—Л., Гостехиздат, 1940.
- Григорьев С. В. Обзор исследований внутренних вод Карело-Мурманского края по 1930 г. В кн.: «Материалы по гидрологии, гидрографии и водным силам СССР», серия 2, вып. 22, М.—Л., Госэнергоиздат, 1930.
- Григорьев С. В. Водоемы Карелии как энергетические водохранилища. «Тр. Карельского филиала АН СССР», вып. 18, 1958.
- Грицевская Г. Л. Зимний режим озер Верхней Суны — зоны Валаамского водохранилища. Там же.
- Зайков Б. Д. Очерки по озероведению. Л., Гидрометеониздат, 1955.
- Иогансон Е. И. Зимний режим р. Волхова и оз. Ильмень. В кн.: «Материалы по исследованию р. Волхова и его бассейна», вып. 14, Л., 1927.
- Комаровский А. Н. Структура и физические свойства ледяного покрова пресных вод. М.—Л., Госэнергоиздат, 1932.
- Матвеев В. П. Влияние инсоляции на суточный ход температуры воды под ледяным покровом. «Изв. ГГИ», 1928, № 21.
- Медрес П. Л. Ледовый режим Ладожского озера по материалам авиаразведок. «Тр. ГГИ», вып. 66, 1957.
- Молчанов И. В. О значении изучения строения снего-ледяного покрова озер. В кн.: «Труды I Всесоюзного гидрологического съезда», Л., 1925.
- Молчанов И. В. О строении и структуре озерного льда в связи с метеорологическими условиями. «Изв. ГГИ», 1925, № 14.
- Наставление ГМС и постам. Вып. 6, ч. I, Л., Гидрометеониздат, 1957.
- Никифоров П. П. Некоторые положения методики краткосрочных прогнозов вскрытия и очищения ото льда Таганрогского залива. «Тр. ЦИП», вып. 3 (30), 1948.
- Павлова М. Д. Климат западной Карелии. 1951. Архив Карельского филиала АН СССР, ф. 2, опись 51/IV12.
- Пиотрович В. В. Образование и стайвание льда на озерах-водохранилищах и расчет сроков ледостава и очищения. М., Гидрометеониздат, 1958.
- Писякова Н. М. Наблюдения над проникновением солнечной радиации через лед. «Метеорология и гидрология», 1947, № 6.
- Порывкин Н. П. Формула нарастания льда в связи с данными исследования на р. Волхове. 1922—1925 гг. «Бюлл. Волховской гидросиловой установки», 1926, № 7 (I).
- Пушкарев Н. Н. Рыболовство на Онежском озере. СПб. Изд. М-ва земл. и гос. имуществ, 1900.
- Романов А. А. О климате Карелии, Петрозаводск, Госиздат КАССР, 1956.
- Рыкачев М. Вскрытия и замерзания вод России. СПб. 1886.
- Самочкин В. М. О проектировании сроков замерзания водохранилищ. «Тр. Транспортно-энергетического ин-та», (Зап.-Сиб. филиал АН СССР), вып. 5, 1955.
- Советов С. А. Доклад о ледяном покрове на Онежском озере. «Метеорологический вестник», т. 26, Пг., 1916.
- Советов С. А. Процесс замерзания и вскрытия южной части Ладожского озера, р. Невы и восточной части Финского залива. «Зап. по гидрографии», Л., 1924, № 48.
- Соколов А. А. Уменьшение продолжительности ледостава в связи с потеплением климата. «Природа», 1955, № 7.
- Сперанский М. И. Ледяной покров на Онежском озере в зиму 1919/1920 гг. и связь замерзания водоемов с метеорологическими условиями. «Метеорологический вестник», т. 52, 1922.
- Тимонов В. Е. К вопросу о теоретических обоснованиях главнейших ледовых процессов в водоемах. «Изв. науч.-исслед. ин-та гидротехники», т. 16, 1935.

Тресков А. А. О зависимости между наибольшей толщиной льда и температурой зимы на Байкале. «Тр. Иркутской магнитной и метеорологической обсерватории», № 1, 1926.

Фрейндлинг В. А. Формирование и рост льда на некоторых озерах Карелии в особо суровую зиму 1955/56 гг. «Изв. Карел. филиала АН СССР», 1958, 5.

Фрейндлинг В. А. Гидрологическая характеристика Сямозера. В кн.: «Труды Сямозерской комплексной экспедиции», т. I, Петрозаводск, Госиздат КАССР, 1959.

Фрейндлинг В. А. О применимости формул нарастания льда на водоемах Карелии. «Изв. Карел. филиала АН СССР», 1959, № 2.

Цуриков В. Л. Некоторые замечания относительно формул нарастания ледяного покрова. «Тр. Байкальской лимнологической ст.», т. 9, 1939.

Цуриков В. Л. Наблюдения над ледовым покровом Байкала в 1934 г. Там же.

Шуляковский А. Г. Вскрытие и очищение ото льда речных зон и заливов водохранилищ в зависимости от гидрометеорологических условий и режима эксплуатации. «Тр. ЦИП», вып. 34, 1954.

М. П. МАКСИМОВА, В. Г. ДАЦКО

ОРИЕНТИРОВОЧНЫЙ БАЛАНС ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА
В ВОДАХ БЕЛОГО МОРЯ

Исследование приходно-расходных статей баланса органического вещества в водоемах представляет одну из актуальных задач, имеющих большое значение в познании динамики органического вещества и круговорота элементов, связанных с его образованием и разрушением. Эти исследования имеют также немаловажное практическое значение, так как позволяют оценить продуктивность того или иного водоема и его промысловые возможности (Дацко, 1957).

Попытки составления баланса органического вещества в водах южных морей СССР уже имели место (Дацко, 1959). В северных морях такие исследования не проводились. Между тем можно предполагать, что северные морские водоемы, которые отличаются от южных морей по многим признакам, обладают своей спецификой и по приходно-расходным статьям баланса органического вещества.

В 1956—1958 гг. Карельский филиал АН СССР проводил исследования по изучению органического вещества и биогенных элементов в водах Белого моря. В августе-сентябре 1956 г. выполнены экспедиционные исследования с охватом всей акватории Белого моря и его заливов. В экспедиции определялась перманганатная окисляемость в нейтральной и щелочной средах и были отобраны пробы для определения органического углерода, азота и фосфора. В 1957 и 1958 гг. были выполнены сезонные станции в глубоководной части моря и прибрежной зоне, а также определялось по сезонам содержание органического вещества в устьевых водах рек, впадающих в Белое море.

Результаты исследований по содержанию органического вещества в водах Белого моря и рек, впадающих в этот водоем, а также литературные данные по продукции органического вещества в Белом море, содержанию его в грунтах и ряд других сведений позволили рассчитать ориентировочный баланс органического вещества в этом водоеме.

К приходным статьям баланса органического вещества в каждом водоеме относятся: а) продукция фитопланктона, б) продукция фитобентоса, в) поступление органического вещества с речными водами, г) поступление его с водами из других водоемов при водообмене. Продукция фитопланктона и фитобентоса является первичной, создаваемой растениями с использованием минеральных компонентов воды. Продукция других групп организмов моря (зоопланктона, зообентоса, бактерий и др.) создается на основе потребления уже готовых органических веществ, содержащихся в воде; поэтому она имеет промежуточное значение в балансе и учитывается в его рас-

ходной части, главным образом в статье минерализации органического вещества.

К расходным статьям баланса относятся: а) отложение органического вещества в грунт водоемов, б) вынос органического вещества в другие водоемы при водообмене, в) изъятие органического вещества промыслом, г) минерализация органического вещества.

Приходная часть баланса. Как и в других морских водоемах, в Белом море основным продуцентом органического вещества является фитопланктон. Ориентировочную величину продукции фитопланктона в Белом море можно рассчитывать, исходя из данных П. П. Воронкова (1941), который определял продукцию фитопланктона методом подсчета питательных солей в отдельных районах Кандалакшского залива. Средняя за три года наблюдений продукция фитопланктона, вычисленная по потреблению фосфатов, составила в слое фотосинтеза в сыром весе: для губы М. Пирью около 1500 т, для района губы Сосновой около 2300 т и для района Вольострова около 1900 т на 1 км².

Продукция фитопланктона, рассчитанная П. П. Воронковым по колебаниям в содержании кремнекислоты, оказалась близкой к ее значениям, полученным по колебаниям в содержании фосфатов.

Если использовать данные П. П. Воронкова для расчетов продукции фитопланктона в зоне фотосинтеза всей акватории Белого моря, принимая ее величину в среднем 1900 т на 1 км² за вегетационный период, то при площади моря, равной 50 110 км² (Тимонов и Кузьмин, 1939)¹, продукция составит около 100 млн. т в сыром весе, или около 10 млн. т сухого вещества. При пересчете на сухое вещество содержание его в сыром весе принято равным 10% (Виноградов, 1939).

Годовая продукция макрофитов в Белом море, как и в других морях (Дацко, 1939), намного меньше, чем продукция фитопланктона. Общая биомасса макрофитов в этом водоеме, по данным К. Г. Гемп и З. Г. Паленичко (1956) близка к 1500 тыс. т, их годовая продукция, по В. В. Кузнецову (1960), составляет 1230,5 тыс. т в сыром весе. Если принять содержание сухого вещества в макрофитах как 12% от сырого веса (Бруевич, 1941), то продукция их составит около 150 тыс. т.

Содержание органического вещества в водах рек, впадающих в Белое море, представлено высокими величинами (определялся органический углерод в устьевых водах наиболее крупных рек). Ниже приводим результаты наших определений (табл. 1).

Таблица 1

Содержание органического углерода в речных водах

Название рек	Содержание углерода, С мг/л				Среднее за период наблюдений, С мг/л
	февраль	май	август	октябрь	
Северная Двина	9,12	8,36	14,10	18,90	12,62
Онега	10,59	11,70	11,88	17,02	12,80
Выг	8,70	8,25	8,25	10,00	8,80
Кемь	7,79	8,48	6,32	7,84	7,61
Умба	3,19	3,74	3,98	4,56	3,87

¹ Площадь бассейна с заливами.

Воды Северной Двины и Онеги содержат более высокие количества органического вещества, чем воды других исследованных рек. Среднее содержание органического углерода в водах двух первых рек 12,7 мг/л, что при пересчете на органическое вещество, принимая содержание углерода в растворенном органическом веществе (Скопинцев, 1950), равным 50%, составит 25,4 мг/л. По В. В. Тимонову (1929), из 215 км³ речного стока в Белое море за год около 185 км³ приходится на собственно Белое море (Бассейн и его заливы), причем 60% из этого количества составляет суммарный сток рек Северной Двины и Онеги. Если считать, что суммарный объем годового стока Северной Двины и Онеги равен 110 км³, то вынос органического вещества этими реками составит около 2,8 млн. т в год. Для органического вещества в водах других рек, впадающих в Белое море, нами принято содержание порядка 18,2 мг/л. Считая, что годовой объем стока этих рек составляет около 75 км³, вынос органического вещества в море выразится величиной 1365 тыс. т. Суммарный вынос органического вещества реками в Белое море может быть выражен величиной около 4 млн. т в год.

Величина поступления органического вещества в Белое море при водообмене с Баренцевым морем может быть рассчитана путем использования данных о водообмене между этими водоемами и содержании органического вещества в воде Баренцева моря. Если, по данным Б. А. Скопинцева (1950), считать, что в водах Баренцева моря содержится 2 мг/л растворенного органического вещества и, по расчетам В. В. Тимонова (1929), принять, что ежегодно с компенсационным питающим течением из Баренцева моря в Белое через Воронку и Горло поступает около 2010 км³ воды, то с баренцевоморскими водами в этот водоем приносится около 4,02 млн. т растворенного органического вещества.

Расходная часть баланса. Одной из важнейших статей в расходной части баланса органического вещества в водоемах является величина его отложения в грунт. По И. К. Авилову (1956), основное количество взвешенного терригенного материала в Белое море приносится р. Сезерной Двиной. Эти вещества распределяются в собственно Белом море (Бассейн и его заливы) и лишь частично выносятся через Горло. Количество их оценивается в 5,5 млн. т в год. Вынос в море терригенного материала другими реками и при разрушении берегов составляет в сумме около 1 млн. т. Общее количество материала, поступающее в море, составляет около 6,5 млн. т в год. Примерно такая же величина годичных отложений в Белом море получена И. К. Авиловым (1956) на основе расчета мощности осадков, образовавшихся на дне Белого моря в послеледниковое время, и учета продолжительности этого периода (около 6 тыс. лет). По данным Т. И. Горшковой (1957), содержание органического углерода в осадках Белого моря колеблется от 0,09 до 2,2%. Средняя величина для всего моря близка к 1,14%. Для пересчета углерода на органическое вещество Т. И. Горшкова предлагает коэффициент, равный 1,724. Таким образом, содержание органического вещества в грунтах Белого моря составляет в среднем около 1,96%. Если считать, что мощность отложения на дне Белого моря составляет около 6,5 млн. т сухого материала в год, то отложение органического вещества в грунт выразится величиной, близкой к 130 тыс. т в год.

Вынос органического вещества из Белого моря в Баренцево может быть рассчитан, исходя из данных по содержанию его в водах Белого моря и в объеме беломорских вод, поступающих ежегодно из первого

водоема во второй. Результаты выполненных нами определений органического углерода в пробах воды, отобранных в августе-сентябре 1956 г. на сетке станций, охватывающих Бассейн Белого моря и его заливы, представлены в табл. 2.

Таблица 2
Содержание органического углерода
в водах Белого моря

Горизонт, м	К-во определений	Содержание, С мг/л		
		минимальное	максимальное	среднее
0	20	2,8	4,2	3,5
10	4	3,2	4,3	3,8
25	17	2,7	4,2	3,3
50	15	2,8	3,8	3,2
75	7	3,0	3,8	3,4
100	7	2,6	3,4	3,1
200	2	2,3	2,8	2,6
300	2	2,7	2,8	2,8
Всего:	74			Среднее 3,2

Если, согласно Б. А. Скопинцеву (1950), принять, что органическое вещество природных вод содержит 50% углерода, то содержание его в водах Белого моря можно считать равным в среднем 6,4 мг/л.

По расчетам В. В. Тимонова (1929), ежегодный сток беломорской воды в Баренцево море составляет в среднем около 2200 км³. Соответствующий пересчет дает величину ежегодного выноса органического вещества из Белого моря в Баренцево порядка 14,08 млн. т.

Как и в других водоемах (Дацко, 1959), в Белом море изъятие органического вещества промыслом выражается небольшой величиной по сравнению с расходными статьями его баланса. Средний годовой вылов рыбы в Белом море определяется в 10 тыс. т (Борисов, 1955). В пересчете на сухое вещество, составляющее для рыбы около 30% от сырого веса (Дацко, 1959; Бруевич, 1941), получаем величину изъятия органического вещества рыбным промыслом из моря около 3 тыс. т. Зверобойный промысел в Белом море в настоящее время сильно сократился и в балансе органического вещества не может иметь существенного значения.

Следует отметить, что в Белом море добывается значительное количество водорослей. По данным К. П. Гемп и З. Г. Паленичко (1956), добыча беломорских водорослей составляет около 10 тыс. т или в пересчете на сухой вес около 1 тыс. т.

Значительное количество водорослей выбрасывается на берега Белого моря при штормах. По определению Гемп и Паленичко (1956), в течение года на берега моря выбрасывается около 150 тыс. т донных водорослей (18 тыс. т в пересчете на сухой вес).

Разность между общим приходом органического вещества и суммарным расходом всех рассмотренных статей расходной части баланса

составит количество органического вещества, подвергающегося минерализации в течение года.

Ориентировочный баланс органического вещества в Белом море приводится в табл. 3. Оно дано в сухом весе.

Составленный ориентировочный баланс дает основание считать, что в Белом море доля автохтонного органического вещества значительно меньше, чем в южных морях СССР (Дацко, 1959). Если в Азовском, Каспийском и Черном морях продукция фитопланктона и бентоса составляет более 90% от годового прихода органического вещества,

Таблица 3

Ориентировочный баланс органического вещества в Белом море

№ п/п.	Статьи прихода	К-во вещества, тыс. т	№ п/п.	Статьи расхода	К-во вещества, тыс. т
1	Продукция фитопланктона	9521	1	Отложение в грунт . .	130
2	Продукция фитобентоса	148	2	Вынос в Баренцево море при водообмене .	14 080
3	Поступление с речными водами	4159	3	Изъятие с вылавливаемой рыбой	3
4	Поступление из Баренцева моря при водообмене	4020	4	Изъятие с добываемыми водорослями . .	1
			5	Выброс на берег водорослей	18
			6	Подвергается минерализации	3616
	Итого:	17 848			17 848

то в Белом море лишь около 55%. В то же время аллохтонное органическое вещество, поступающее с речными водами и при водообмене с Баренцевым морем, составляет около 45% от годового прихода, тогда как в южных морях СССР количество его составляет меньше 10%. Существенно меньше в сравнении с южными морями величина отложения органического вещества в грунт по отношению к его общему приходу в Белое море. Очень характерным является то обстоятельство, что в Белом море процент минерализации органического вещества от годового прихода очень низок (около 20%), тогда как в Азовском и Каспийском морях минерализации подвергается до 96% органического вещества от годового прихода, а в Черном море до 88.

Благодаря интенсивному водообмену с Баренцевым морем основное количество органического вещества (около 79%) выносится из Белого моря в этот водоем. При низких температурах воды в Белом море процессы минерализации органического вещества протекают медленнее, чем в южных морях, и оказывают относительно слабое влияние на снижение его содержания.

Значительно более высокое содержание органического вещества в водах Белого моря в сравнении с баренцевоморскими при активном водообмене между морями является фактором, увеличивающим интенсивность его выноса из первого водоема во второй.

Изъятие органического вещества промыслом, выраженное в процентном отношении к продукции фитопланктона, составляет в Белом море около 0,03%. Это величина, характеризующая интенсивность использования продуктивности водоема промыслом и названная "полезной продукцией" (Дацко, 1959), в Белом море выше, чем в Черном, где она составляет около 0,015%. Однако эта величина в Белом море существенно меньше, чем в Каспии (в Каспии равна 0,07%) и намного меньше, чем в Азовском море (0,18%).

Ориентировочно составленный баланс органического вещества в Белом море позволяет отметить несколько характерных черт, свойственных этому водоему, а именно: большой удельный вес аллохтонного органического вещества в балансе, относительно небольшую величину первичной продукции органического вещества в водоеме, слабую минерализацию и интенсивный вынос органического вещества из Белого моря в Баренцево. Отмеченные черты в динамике органического вещества дают основание считать, что в Белом море круговорот элементов, связанный с образованием органического вещества и его разрушением, протекает менее активно, чем в южных морях, особенно мелководных, таких, как Азовское. Можно предполагать, что оборачиваемость биогенных элементов в Белом море невелика.

ЛИТЕРАТУРА

- Авилов И. К. Мощность современных осадков и послеледниковая история Белого моря. Тр. Гос. океанограф. ин-та, вып. 31 (43), 1956.
- Борисов П. Г., Богданов А. С. Сырьевая база рыбной промышленности СССР, ч. 2. М., Пищепромиздат, 1955.
- Бруевич С. В. Распределение вещества среди отдельных групп организмов Каспийского моря. В кн.: Труды по комплексному изучению Каспийского моря, вып. 14, М.—Л., Изд-во АН СССР, 1941.
- Виноградов А. П. Химический состав планктона. Тр. Биохимической лаборатории АН СССР, т. 5, 1939.
- Воронков П. П. Подсчет первичной продукции моря методом баланса питательных солей. Тр. науч.-исслед. учреждений гидрометслужбы, серия 5, вып. 2, 1941.
- Гемп К. П., Паленичко З. Г. Водоросли Белого моря. Петрозаводск, Госиздат К-ФССР, 1956.
- Горшкова Т. И. Органическое вещество и карбонаты в осадках Белого моря. В кн.: Материалы по комплексному изучению Белого моря, т. I, М.—Л., Изд-во АН СССР, 1957.
- Дацко В. Г. Основные вопросы по изучению органического вещества в природных водах. Гидрохимические материалы, т. 26, М., 1957.
- Дацко В. Г. Органическое вещество в водах южных морей СССР. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Кузнецов В. В. Белое море и биологические особенности его флоры и фауны. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1960.
- Скопинцев Б. А. Органическое вещество в природных водах. Тр. Гос. океанограф. ин-та, вып. 17 (29), 1950.
- Тимонов В. В., Кузьмин П. П. Опыт приближенного определения теплового баланса Белого моря. Тр. Гос. гидрол. ин-та, вып. 8, 1939, № 7.
- Тимонов В. В. О водообмене между Белым и Баренцевым морями. Тр. ин-та по изучению Севера, вып. 40, 1929.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

С. В. Григорьев. Редкий пример многократной гидрологической трансформации озер-водохранилищ	3
К. Д. Литинская. Уровни воды озер-водохранилищ Карелии	18
В. А. Фрейндлинг. Ледовые условия действующих и проектируемых энергетических водохранилищ Карелии	89
М. П. Максимова, В. Г. Дацко. Ориентировочный баланс органического вещества в водах Белого моря	132

МАТЕРИАЛЫ ПО ГИДРОЛОГИИ (ЛИМНОЛОГИИ) КАРЕЛИИ

Редактор *Г. В. Кикинов*. Технический редактор *И. К. Грейвер*. Корректор *Г. А. Проводина*

Сдано в набор 24/V 1961 г. Подписано к печати 22/XII 1961 г. Е-04169. Бумага 70×108^{1/16} 8,25 печ. л.
11,3 усл. печ. л. 10,71 уч.-изд. листа. Госиздат 128. Тираж 600. Зак. № 721. Цена 75 коп.

Госиздат Карельской АССР. Петрозаводск, пл. им. В. И. Ленина, 1

Сортавальская книжная типография Министерства культуры Карельской АССР
Сортавала, Карельская, 42