

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. Суна 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 Нотозеро (на Кольском п-ове), Ковдозеро 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. Спенглера (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: „Сведениях 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, грунта, 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 (длинной 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, Пальве 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		
	в естественном состоянии		при наполнении до ВПГ
	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
Сандал	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. Водохранилище 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 удлинненно-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. Унежма 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. Сандал 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 - Ков- дозеро	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)	На двоицы	1913—1918 (3), 1920—1921 (1)
"	Выгозерский погост	1925—1927 (1)
"	Ловище	1926—1932 (1)
Выгозеро (водо- хранилище)	Надвоицы	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	Гимолы	1912 (—), 1914—1919 (5), 1925—1935 (10), 1937—1940 (4), 1948—1957 (8)
Палье (озеро)	Карташи	1915—1922 (5), 1924—1934 (8)
Палье (водо- хранилище)	"	1936—1940 (4), 1949—1957 (9)
Сандал (озеро)	Сопоха	1911—1927 (12)
Сандал (водо- хранилище)	"	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 удлинненную 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 теплomu 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 часты 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 $2,5^{\circ}$ (рис. 2). Годовая амплитуда колебания средней месячной температуры $25-30^{\circ}$, суточная амплитуда $6-8^{\circ}$ в холодный период, до $9-10$ в теплый и до $13-14^{\circ}$ при антициклональной погоде.

Минимальные температуры воздуха изменяются по территории незначительно (табл. 5 и 6), с амплитудой $6-8^{\circ}$ в зимние месяцы, $1-2^{\circ}$ 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

Смена температурных сезонов года в пределах северного и южного районов проходит в близкие сроки с наибольшим отклонением между крайними пунктами около 20 дней (табл. 7).

Первые морозы на севере Карелии (средние даты) отмечаются 29 августа (Конец-Ковдозеро) и 8 сентября (Кестеньга), на юге 21 сентября (Петрозаводск); последние морозы отмечены на севере 10 июня, на юге 21 мая (рис. 3). Из-за значительной широтной протяженности территории и пересеченности ее рельефа осадки распределяются неравномерно (табл. 8), их годовое количество увеличивается от 400 мм на северо-востоке до 600 на юго-западе. За холодный период осадков выпадает от 30% на севере до 30—35% на юге (от годового количества).



Рис. 3. Средние даты наступления морозов.

Облачность холодного периода довольно высокая. Она составляет на севере и юге соответственно больше 70—80%. Максимум пасмурного неба наблюдается по всей территории в ноябре-декабре, когда преобладает западный перенос морских воздушных масс из Атлантики, способствующих развитию низкой слоистой облачности (Павлова, 1951).

Таблица 8

Средние месячные количества осадков, мм

Название станции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год	За холодный период, XI—III	За теплый период, IV—X
Конец-Ковдозеро	21	18	20	23	35	49	55	61	58	49	30	27	446	116	330
Кестеньга	23	21	21	25	33	61	61	72	61	47	35	30	490	130	360
Паданы	23	22	20	20	32	58	59	57	56	37	36	27	447	128	319
Пряжа	33	31	31	25	41	62	70	86	74	54	48	40	595	183	412

Таблица 9

Число часов солнечного сияния

Название станции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	В году
Лоухи	—	25	104	171	205	238	297	198	80	30	5	—	—
Медвежьегорск	6	25	120	150	202	237	245	173	95	39	5	0	1297
Петрозаводск	12	26	108	168	241	256	284	207	103	63	20	11	1499

Широты, в которых расположена Карелия, получают в среднем за год мало солнечного тепла. Интенсивность поступления солнечной радиации в ноябре-марте составляет около 12% годовой суммы, в декабре в ряде районов Карелии она равна нулю (табл. 9). В период вскрытия водоемов (апрель-май) ее сумма достигает 27%.

Длительность залегания снегового покрова, а также сроки его появления и схода изменяются на территории в широких пределах (табл. 10). На юге отмечается 93 дня со снегом (Олонец), на севере 192 (Конец-Ковдозеро).

Для зимнего периода характерна высокая относительная влажность, составляющая в среднем 85—90%.

Таблица 10

Даты установления и схода снегового покрова

Название станции	Число дней со снежным покровом	Начало снежного покрова			Конец снежного покрова			Начало устойчивого покрова			Конец устойчивого покрова		
		среднее	раннее	позднее	средний	ранний	поздний	среднее	раннее	позднее	средний	ранний	поздний
Конец-Ковдозеро	192	12/X	—	—	13/V	—	—	11/XI	12/X	28/XII	7/V	21/IV	19/V
Кестеньга	186	11/X	—	—	14/V	—	—	15/XI	9/X	23/XII	1/V	12/IV	25/V
Сегежа	175	14/X	25/IX	13/XI	5/V	17/IV	10/VI	18/XI	21/X	1/I	21/IV	2/IV	15/V

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
19 2/53	-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
Санда	Сопоха	31/X 1952	14/XI	1/XII 1950
Гимольское	Гимолы	18/X 1928	11/XI	15/XII 1938
Сямозеро	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

Юг Карелии				Север Карелии			
„норма“	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-много-летние	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
Сямозеро	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. Вожегора 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, различны 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

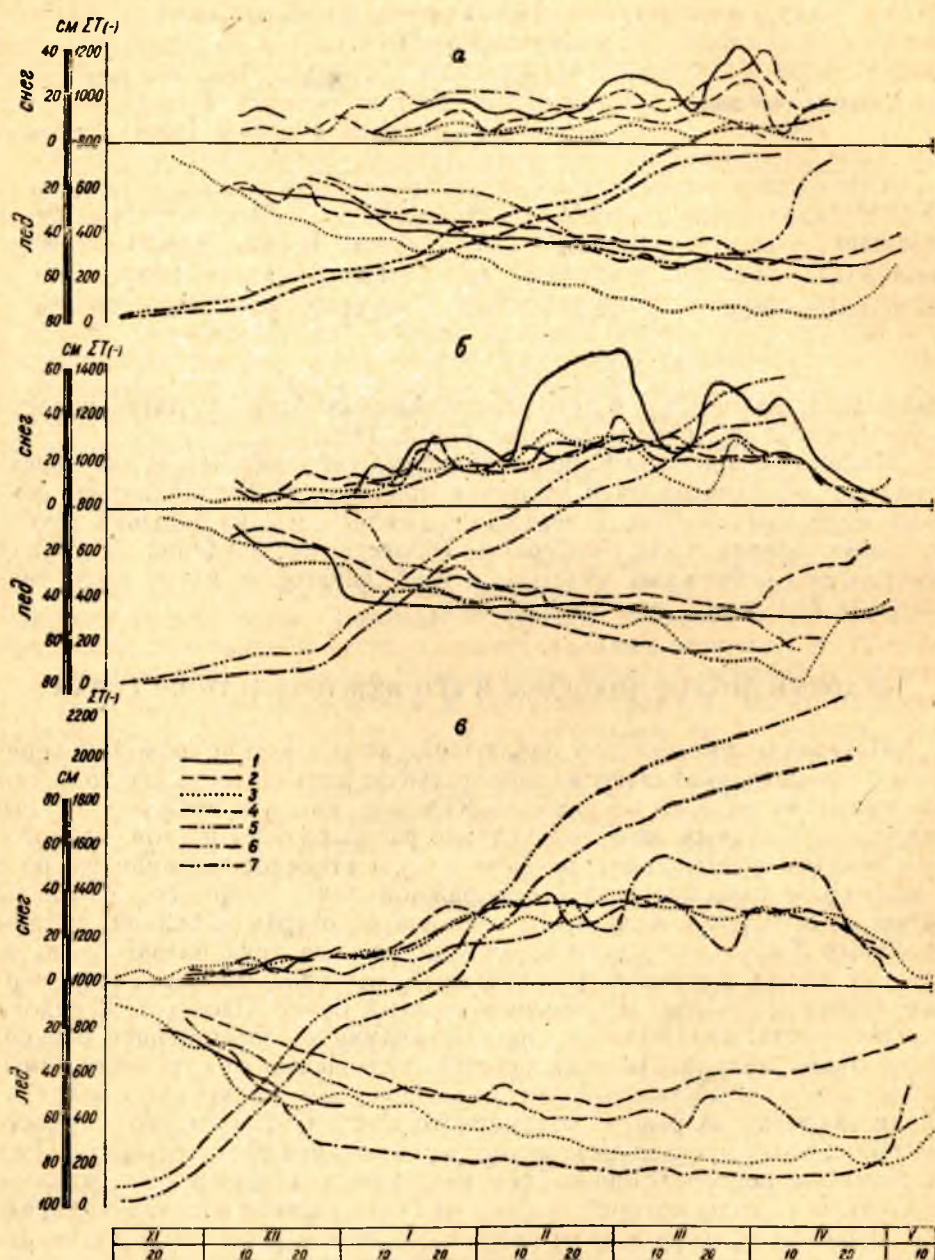


Рис. 4. Кривые изменения толщины льда, снега и интегральные кривые „сумм холода“. *a* — наиболее теплая зима 1948/49 гг.; *б* — зима близкая к средней 1950/51 гг.; *в* — наиболее суровая зима 1955/56 гг.
 1 — Ковдозеро — Конец-Ковдозеро; 2 — Пяозеро — Софьянга; 3 — Топозеро — Кестеньга; 4 — Выгозеро — 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 — Угмойя 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, изменявшегося 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° , 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° , 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.

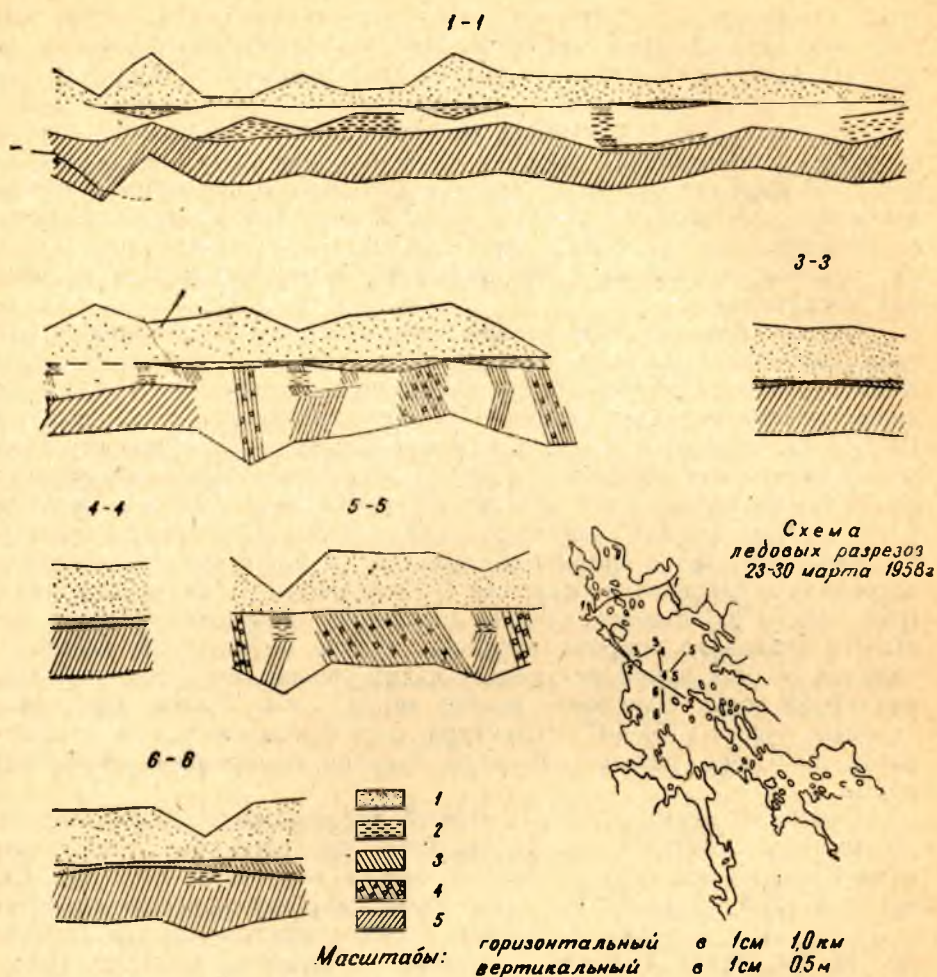


Рис. 5. Ледовые профили на Выгозере зимой 1957/58 гг.

1 — снег; 2 — вода; 3 — „наслuzовый“ лед; 4 — „шуговой“ лед; 5 — „кристаллический“ 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 толщин 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:

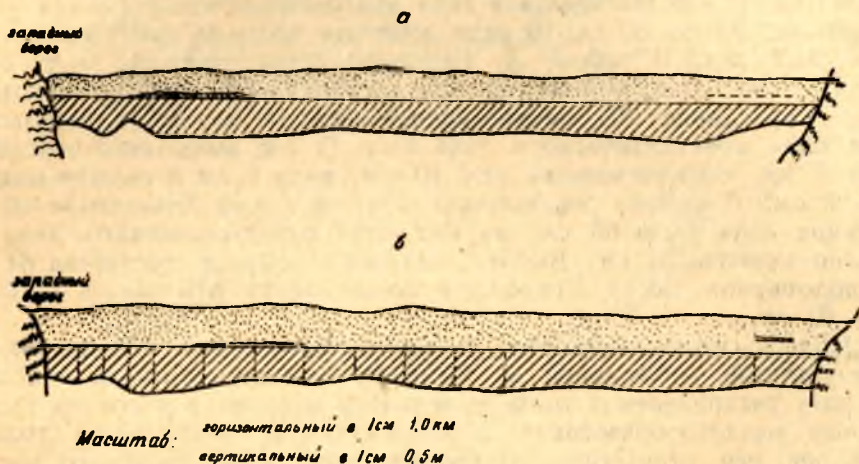


Рис. 6. Ледовые профили на Онежском озере (Петрозаводская губа) зимой 1957/58 гг.

а — 15/II 1958 г.; б — 3/III 1958 г. 1 — снег; 2 — „кристаллический“ 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 водопоста 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. Сямозеро, 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. Сямозеро 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 Хокисаари общая толщина льда была 65 см, из них слой кристаллического льда 45, снежно-водного 20 см. Высота снегового 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 наслугообразования 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—68
Сямозеро	{ 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

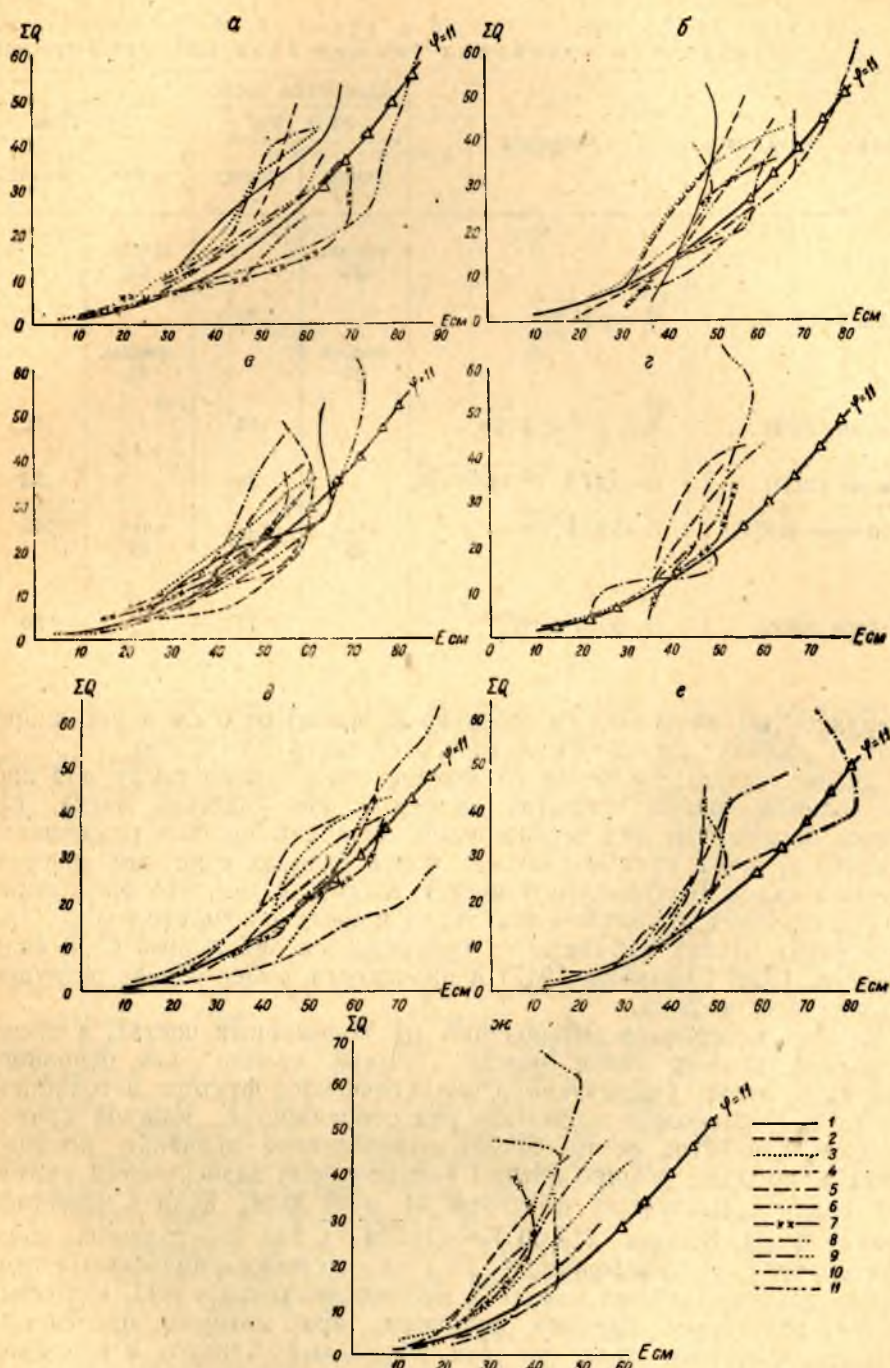


Рис. 7. Кривые связи толщины льда (E) и „суммы холода“.

a — Выгозеро — Надвоицы; *b* — Выгозеро — Вожмогора; *в* — Выгозеро — Телекинский; *г* — Сегозеро — Паданы; *д* — Топозеро — Кестеньга; *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 наслужовый 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 леδοмерных съемках и вычисленных по формулам

м о з е р о						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. Софьянги, 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 $4,5 \cdot 10^5$ 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.: раннее 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/V	14/VI 1941	1/V 1937	26/V	15/VI 1941
Топозеро . .	Кестеньга	23/IV 1935	21/V	18/VI 1941	6/V 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 среднему 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, отходящих 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 малodeформированный 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, Гимольское, Ройкнаволоцкое), позволяют отметить, что толщины льда, измеренные в районах ледомерных 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 величин 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., Гидрометеиздат, 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., Гидрометеиздат, 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 Валазминского водохранилища. Там же.
- Зайков Б. Д. Очерки по озероведению. Л., Гидрометеиздат, 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., Гидрометеиздат, 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., Гидрометеиздат, 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).
- Пушкарёв 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, Пр., 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.
