

Депозитарий

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ТРУДЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА ГИДРОТЕХНИКИ

СБОРНИК

ПО

ЛЕДОТЕХНИКЕ

ВЫПУСК ПЕРВЫЙ

ННТИ



СССР

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ И СУДОСТРОЕНИЯ
ГОССТРОЙИЗДАТ

ЛЕНИНГРАД

1988

МОСКВА

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ

1932 г.



Б.
Центральная библиотека
имя В. И. Ленина
№ 4991

2009

Ответствен. редактор инж. Я. М. ФРИДЛЯНСКИЙ.

Книга сдана в набор 29/V 1932 г.

ОНТИ № 798.

Ленгортит № 59923.

Формат бумаги 62 X 94 см.

14⁵/₈ печ. лист.

Техн. редактор Э. А. СТАРК.

Подписана к печати 1/XI 1932 г.

Тираж 2300.

Зак. № 888.

(117.024 тип. зн. в бум. л.)

Бум. лист 7⁵/₁₆

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	6
1. Инж. Ф. Н. Быдин. К вопросу о природе донного льда и мерах борьбы с ним.	
Введение	9
I. Обзор и критика существующих теорий	—
1. Теория Альберга	—
2. » Барнеса	17
3. » Лохтина	20
4. Наблюдения и выводы М. Ционглинского	27
5. Теория Ге-Шюссака	31
6. » Араго	32
7. Заключение по обзору теорий	34
II. Наши выводы, основанные на совокупности фактов	41
1. Описание некоторых прежних наблюдений	—
2. Условия нахождения льда на дне	42
3. Более детальные сведения о температурном режиме воды и воздуха при появлении донного льда	46
4. Точные наблюдения за температурой воды в период появления донного льда	50
5. Донный лед в массе воды с положительной температурой	53
6. Причины появления холода на дне водоема	55
7. Условия, благоприятствующие появлению льда на дне	57
Цитированная литература	—
2. Инж. А. Н. Жомаровский. К вопросу о пропуске льда через плотины.	
1. Назначение ширины и разбивка в плане ледопропускных отверстий	59
2. Назначение толщины переливающегося слоя в ледопропускных отверстиях плотин	66
3. Специальные ледопропускные отверстия	67
4. Уменьшение размеров льдин, ударяющихся о сооружение	69
Указатель литературы	72
3. Инж. В. Н. Вальман. Зимний режим р. Свири (по исследованиям, произведенным Свирским строительством в 1928 — 1930 гг.)	
1. Общие соображения	74
2. Основные задачи зимних исследований на р. Свири	75
3. Краткое описание программ и произведенных работ	76
4. Некоторые выводы по зимнему режиму р. Свири	85
5. Заключение	93

4. Доц. Д. С. Артамонов. Действие ледяного покрова на реках Волжского бассейна (по практическим наблюдениям судоходца)

Предисловие	97
I. Общая характеристика условий образования ледяного покрова	—
II. Замерзание реки	101
III. Продолжительность ледяного покрова и изменения в нем за зиму	121
IV. Вскрытие рек весной	123
V. Действие льда на суда, на пловучую обстановку, на пристанские сооружения, на гидротехнические сооружения, на русло и перекаты	136
VI. Плавание судов во льдах	141
VII. Заторы и зыбковы	153
Заключение	164

5. Инж. Р. И. Колмогоров. Ледовый режим на р. Иртыше по наблюдениям в 1920/21 г. (Транверз Омского залива)

Предисловие	165
1. Ледостав	—
2. Движение судов во время ледостава	167
3. Отстой судов в заливах	168
4. Весенний ледоход	173

6. Проф. Н. Н. Давиденков. По вопросу о постановке опытов для измерения давления льда

7. Проф. В. Е. Тимонов. Об устройстве на р. Неве постоянной районной ледоисследовательской станции

1. Предварительные указания	177
2. Ледовые явления на среднем течении р. Невы и на подходах к Ленинграду	179
3. Ледовые явления в Ладожском озере	192
4. Ледовые явления на Приладожских каналах	194
5. Ледовые явления на реках, питающих Ладожское озеро	—
6. Ледовые явления на нижнем течении р. Невы и в ее устьях	196
7. Ледовые явления в Финском заливе	198
8. Невские ледяные заноры	199
9. Обмерзание водозаборных труб на р. Неве	204
10. Вопрос о ледовых явлениях на р. Неве перед б. Инженерным советом Министерства путей сообщения в 1912 г.	212
11. Программа 1912 г. систематических исследований ледовых явлений на р. Неве	213
12. Вопрос о систематическом изучении ледяного покрова рек пред XV Съездом русских деятелей по водным путям в 1913 г.	214
13. Вопрос об устройстве ледовой научно-исследовательской станции на р. Неве, как элемента гидротехнической лаборатории Ленинградского института инженеров путей сообщения в 1929 г.	216
14. Обследование ледовых явлений, установленное Энергостроем на гидроэлектрических станциях в 1930 г.	217
15. Научные исследования ледовых явлений, возникшие вокруг практических нужд р. Невы и ее бассейна	219
16. Заключение	—

**8. Проф. В. Е. Тимонов. Иностранные исследования в области ледо-
ведения. Воздействие льда на гидросиловые установки по данным амери-
канского «Общества гражданских инженеров»**

1. Введение	221
2. Общие указания	222
3. Теоретические обоснования замерзания воды	223
4. Оптическая характеристика льда	—
5. Классификация ледовых форм	224
6. Вредные ледовые явления на гидросиловых установках	225
7. Методы борьбы с ледовыми затруднениями	226
8. Уменьшение стока	—
9. Скопление льда в водохранилищах	—
10. Скопление льда в каналах и водоемах	227
11. Уменьшение напора	228
12. Затруднения в маневрах	—
13. Водосливы	—
14. Намораживание льда в водоз	229
15. Давление льда	—
16. Закупорка решеток	230
17. Закупорка задвижек и козлов	231
18. Предохранительные сетки водосборов	—
19. Выводы	—
20. Библиография льда в соотношении с гидросиловыми установками	—

ВВЕДЕНИЕ.

С развитием гидротехнического строительства в СССР возникла необходимость в освоении новых технических дисциплин, к числу которых относится ледотехника.

Следует отметить, что вопросам льда в царской России, несмотря на важность его изучения, занимались случайно и то одиночки-любители, притом недостаточно подготовленные к восприятию сложных явлений.

Такими в свое время были Иркутский вице-губернатор Семивский (1817 г.), инспектор народных училищ Шуккин (1846 г.), астроном Шварц (1856—1857 гг.), академик Миддендорф (1860-е годы) и др. Лица эти не имели производственных задатков и занимались донным льдом из любопытства.

С развитием водопроводного дела и возникновением неприятных осложнений в быв. Петербурге от наводнений и закупорки донным льдом водопроводящих труб (1894 г.) появились производственные требования, следствием чего явились инженерные исследования по льду (Цюнглинский, Лохтин и др.).

Повторная закупорка быв. Петербургского водопровода в 1914 г., когда весь город — население, больницы, промышленность, лазареты, войсковые и пожарные части остались совершенно без воды, — вызвала еще больший напор на необходимость изучения льда (Ячевский, Альберг и др.).

Но все это лишь отдельные эпизоды, не объединенные комплексом идей и средств и поэтому ограниченные в своих возможностях.

Положение значительно меняется с приступом к проектировке и постройке первенца советской гидроэнергетики — Волховстроя. По инициативе инж. В. М. Родевича и его ближайших сотрудников создаются систематические комплексные исследования реки Волхова (1922—1926 гг.). Здесь нашли отражение донный и поверхностный лед, гидравлика и термика потока, геология русла, грунтовые воды и пр. К сожалению не все материалы разработаны до конца, так что и после Волхова многие вопросы остались неразрешенными.

В настоящее время возводятся и проектируются несравненно более мощные установки и комбинаты — Свирьстрой, Днепрострой, Волгострой, Ангарастрой, Чирчикстрой, Урало-Кузнецкий комбинат и т. д. и т. п., причем имеющиеся у проектировщиков знания явно недостаточны для надежного разрешения многих чрезвычайно ответственных проблем. Так, например, совершенно в темную проектируются и строятся ледозащитные стенки. Совершенно не изучено термическое и динамическое влияние льда на сооружения, вследствие чего и поныне сохраняется полная неясность в принципах проектировки.

Неблагополучно обстоит дело с водным транспортом, который то очень рано спасается в убежищах от первых признаков случайного ледохода, то, наоборот, запаздывает и замерзает в дороге. Весной же на бурных по льду реках сплошь и рядом судоходство терпит громадный ущерб от недостаточной защиты.

Ни в какой степени не сформулированы еще законы закупорочного действия льда на поток, вследствие чего создаются зимние наводнения (Ленинград, Иркутск и др.).

Весьма запутанными оказались вопросы, связанные с донным льдом, несмотря на давнее и многолетнее его изучение. А в результате: Возсуйская гидростанция (Ташкент) работает исключительно нервно, ежегодно парализуя зимой промышленную и деловую жизнь населения. Материальные убытки (затраты на борьбу, снос сооружений, от наводнения и убытки от простоев) по скромным подсчетам достигают нескольких миллионов рублей.

Установки Закавказья (Затес, Ленинангангес и др.), возведенные без надлежащих мер защиты, борются со льдом примитивно, своими средствами, без помощи извне, терпя при этом большие убытки.

Во всеоружии, казалось бы, построенная Волховская ГЭС, спустя 2 года благополучной работы, в декабре 1928 г. также остановилась из-за льда, причем до сего времени не установлена ясная причина аварии.

Подобных примеров у нас много, но не лучше, как показал опыт изучения иностранной литературы, обстоит дело и за границей.

В Америке, например, 8 раз в течение 100 лет сносится льдом упорно выстраиваемый у г. Brattleboro мост. В последний раз (1920 г.) мост был стальной и убытки выражаются сотней тысяч долларов.

Необыкновенно большие убытки причинило мартовское зазорное наводнение 1926 г., затопившее Франклин, Оилз Сити, разрушившее мост Рено, прекратившее подачу энергии и т. д. и т. п., несмотря на борьбу со льдом термитом.

Неблагополучно, как известно, обстоит дело в Германии, Австрии и в особенности Швейцарии, где в суровую зиму 1928 — 1929 гг. лед причинил массу осложнений. В Швейцарии, например, сразу пострадало 13 гидроустановок, т. е. почти полностью парализовалось электроснабжение.

Если представить, что стихия из-за недостатка опыта может парализовать у нас работу крупнейших комбинатов, то положение следует признать угрожающим. Следовательно надо заранее подготовиться к ликвидации темных мест и форсировать изучение новых вопросов, тем более, что кроме вредных свойств льда, у него есть и очень полезные свойства.

Например лед позволяет непроходимые летом болота, пруды, реки и озера превращать в удобные пути сообщения.

Лед известен как хорошее холодильное вещество, сохраняющее продукты и освежающее их вкус.

Лед и снег оберегают наши водоемы от излишнего переохлаждения воды и промерзания, вследствие чего сохраняются рыбные богатства.

Огромность территорий, расположенных в суровом климате, выдвигает Союз на первое место среди государств, заинтересованных в развитии ледотехники (Скандинавские страны, Канада и др.). Поэтому у нас льдом занимаются не только производственные организации, но привлечен к изучению его также и ряд научных учреждений: Академия наук, Госуд. гидрологический институт, Госуд. физико-технический ин-т, НИГИ, Госуд. институт сооружений, Гидротехтео и др.).

Считаясь, с одной стороны, с актуальностью предстоящих задач в области льда, а с другой, с необходимостью их быстрого освоения и внедрения в производство, Научно-исследовательский институт гидротехники (НИГИ) организовал у себя особый сектор ледотехники и ряд групп при нем. Начало публикуемых здесь работ этого сектора положено Государственным институтом сооружений (ГИО), который передал в апреле 1931 г. НИГИ первоначальную ячейку ленинградских сотрудников, работающих по льду.

Помещая в своих печатных изданиях отдельные работы по различным практическим и теоретическим вопросам зимнего режима водоемов, в связи с запросами гидротехнического строительства, НИГИ стремится предоставить авторам должную свободу развития и обоснования своих взглядов. Этим преследуется в виду открыть широкий путь для научной дискуссии, выдвигаемых вопросов, что в настоящем первоначальном периоде ледотехнических исследований является важным условием прогресса в этом новом ответственном для народного хозяйства СССР деле.

В дальнейшем сектор НИГИ предполагает регулярно освещать в сборниках по льду и в «Известиях» Института наиболее актуальные вопросы современности, надеясь, что производство использует материал для практических целей и на деле применит полезные сведения.

Сектор ледотехники НИГИ.

К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ ДОННОГО ЛЬДА И МЕРАХ БОРЬБЫ С НИМ. }

Введение.

На лекциях и докладах по донному льду слушатели — студенты и производственники — обычно интересуются многими деталями. Они задают ряд вопросов по существу той или иной теории и выводов из нее, особенно же много внимания уделяют практической стороне вопроса — как бороться с донным льдом. Наконец, они каждый раз просят обстоятельно исследовать это явление во всех отношениях и осветить его в литературе.

Посильно стараясь помочь разобраться в таком сложном и чрезвычайно запутанном вопросе, ниже мы печатаем свои соображения и выводы. Этим открываем дискуссию и пересмотр старых теорий, надеясь что ускорим получение правильного и конечного ответа.

I. Обзор и критика существующих теорий.

1. Теория Альтберга.

В статье «Исследование донного льда в лабораторных и в природных условиях» (1) В. Я. А л ь т б е р г приводит свою гипотезу образования донного льда. В его общих выводах говорится следующее (выдержки):

1. «На реках в осеннее время при понижении температуры воды до 0° и независимо (?) от температуры почвы¹ наблюдается образование подводного мягкого, губчатого льда вокруг камней и других предметов, расположенных между поверхностью и дном реки».

2. «Во время образования этого льда температура воды одинакова на всех глубинах до самого дна реки, причем вода бывает обыкновенно *переохлаждена*, как доказано (?) точными измерениями, на несколько сотых, а иногда даже тысячных градуса только».

3. «Для образования донного льда требуется *открытая, без ледяного покрова, поверхность воды*».

4. «Местами массового образования его являются обыкновенно

¹ Подчеркнуто (разрядкой) и вопросы поставлены здесь и дальше нами. То, что подчеркнуто было В. Я. А л ь т б е р г о м и упомянутыми другими авторами, нами отмечается курсивом (Ф. В.).

пороги, как, напр., Ивановские на р. Неве, водопады или вообще места с *быстрым течением*...

5. «Всплывая, донный лед переносит вместе с собою не только частицы грунта, но и камни...»

6. «В закрытых поверхностями льдом частях реки образование донного льда прекращается...»

7. «В озерах донный лед образуется обыкновенно на более мелких местах при условии волнения...»

По нашему мнению, многое в этих положениях недостаточно обосновано. Именно (рассматриваем пункты по порядку):

1. Как можно утверждать, что донный лед появляется независимо от температуры почвы, если нет ни опытов автора в этом направлении, ни ссылок на соответствующую литературу.

Свои опыты В. Я. Альтберг ставил в искусственных условиях: тщательно изолировал от охлаждения дно сосудов и обогревал стенки. В такой обстановке и лед, тем полученный (рис. 1), совершенно непохож на природный ни по месту залегания (на дне его не видно), ни по внешнему виду (кругляшки, одностороннее обледенение сеток и проч.).

2. Что температура воды более или менее одинакова во время образования донного льда на всех глубинах — это понятно, но что она переохлаждена на несколько сотых или тысячных градуса — это уже неясно, ибо не указано исходной температуры, которую надлежит считать нормальной (не переохлажденной). Известно, что 0° установлен условно и соответствует температуре талого льда или снега. Очевидно разному физическому составу льда и воды будет соответствовать разная фактическая температура плавления и замерзания, что в условиях естественных водоемов представляет большое разнообразие. Возможно, что химически чистая вода (без примесей) замерзает при температуре около 0° ,¹ вода же иного состава может замерзать при сильно отличных от 0° температурах. Так, в зависимости от содержания солей, вода океанов и морей замерзает при -2° , -3° , а некоторые очень соленые озера, например Илецкое (2), замерзают даже при -8°C . Так как питание каждой реки в известной степени индивидуально и, следовательно, состав воды различен, то и граница превращения воды в лед будет в каждом случае своя. Никто не наблюдал лишь случаев, когда лед образовывался бы из воды, температура коей выше 0°C .²

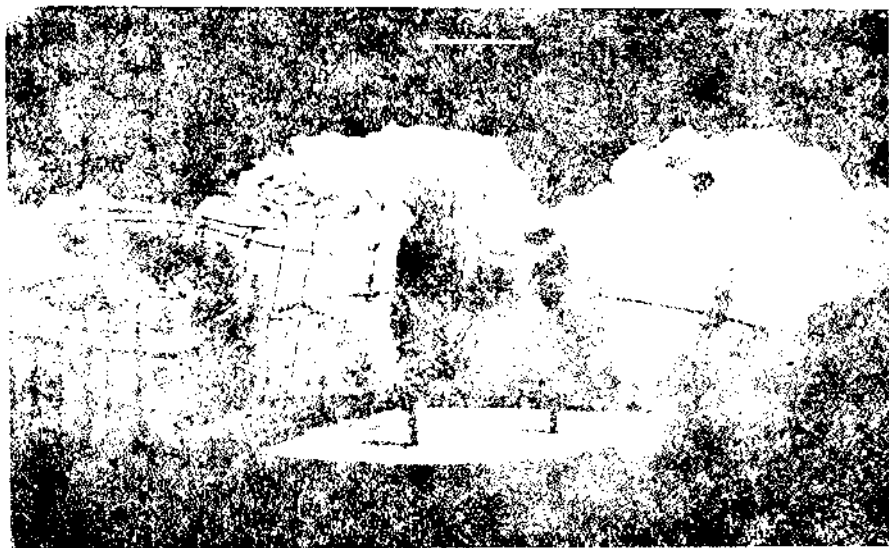
Следовательно термин «переохлаждение воды» несколько затемняет представление о сути дела, и с нашей точки зрения следует либо характеризовать действительно наблюдаемую температуру ледообразования в каждом отдельном случае, либо термин «переохлаждение воды» заменять термином «температура ледообразования» (аналогично терминам: температура плавления льда, температура парообразования и т. д.).

В соответствии с изложенным и современными нашими знаниями в области ледотехники так называемое переохлаждение воды на сотые

¹ Условная температура, принятая за начало отсчета, т. е. за нуль шкалы термометра.

² Не следует смешивать понятия: «лед образовался бы из воды температура коей выше 0°C » и «лед образовался в воде с положительной температурой ее в массе». В первом случае речь идет о том, что противоречит основам физики, так как в теплой воде формирование льда не допускается, во втором же случае вода в массе рассматривается положительной, на дне же водоема, где идет формирование льда, частицы воды естественно охлаждены до 0° или ниже.

или тысячные доли градуса становится частным случаем (одной или нескольких рек или участков рек), а не общим явлением. И действительно р. Кура, например, выше Тифлиса (у Земо-Авчальской гидроэлектростанции) имеет, по данным наблюдений, температуру ледообразования около $-1,5^{\circ}\text{C}$.¹



а.



б.

Рис. 1а—б. Лабораторный лед, полученный В. Я. Альтбергом.

3 и 6. Нам удалось в январе 1930 г. наблюдать образование допного льда на р. Свири под покровом поверхности

¹ По данным анкеты Энергоцентра по допному льду и записям в книге дежурных инженеров Земо-Авчальской гидроэлектростанции.

стного льда. Похожие на это показания имеются, оказывается, и значительно раньше наших. Так в 1830 г. А р а г о в статье о донном льде пишет, что «Х э л (Налое) видел в Тэддингтоне поверхность Темзы близ берега, покрытую льдом, толщиной в $\frac{1}{2}$ дюйма. В то же самое время



в



и



г



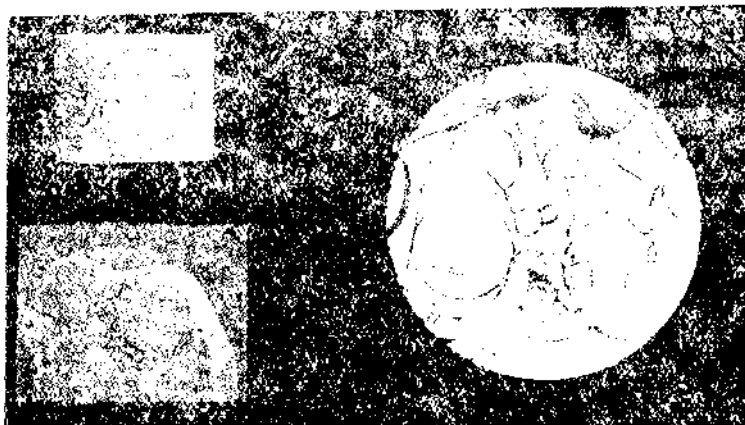
о



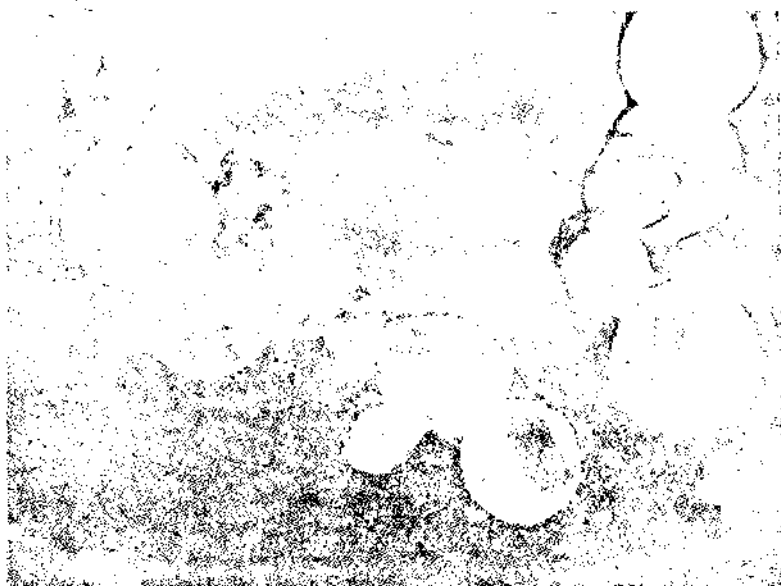
д

вижу был второй слой, большей толщины, который лежал в глубине реки, примерзшим ко дну. Этот слой был соединен с верхним слоем у берега, но постепенно отделялся от поверхностного льда по мере удаления от берега, так как глубина воды увеличивалась. Этот лед не был плотен, как первый, и был смешан с песком и даже с камнями, которые были выношены массами льда, при их движении вверх». (3)

Тот же автор (Араго) цитирует сообщение Дюгамеля (Duhamel), «что в начале февраля 1830 г. М. Дюгамель, разбивая лед, покрывающий поверхность р. Сены несколько выше Гренельского моста,



в



и

приблизительно в 10 футах от берега нашел слой сплошного льда толщиной в 4 см. Вода была глубиной свыше 1 ярда. На этой глубине температура воды была на нуле, а скорость течения — умеренная». (8)

Затем Феркхерсон в своем втором докладе Королевскому обществу в 1841 г. приводит наблюдение полковника Джексона (Jackson)

«о присутствии донного льда на р. Неве под 3-футовым льдом и 3 футами снега. Он считает, однако, что донный лед образовался ранее поверхностного и вследствие суровости погоды не был вытеснен с места во время образования поверхностного льда». (3)

Известно также, что временами рыбаки не могут продолжать свои занятия, так как донный лед забивает и портит их сети под покровом поверхностного льда.

По данным исследования р. Кубани,¹ донный лед обнаружен под покровом поверхностного льда (рис. 2), причем в промежутке между поверхностным и донным скоплением льда замерены скорости. Полученный документ особенно ценный, но, к сожалению, редко кому удастся работать в пути при таких условиях.

Проведшие в феврале 1930 г. промеры на р. Свири у перемычек сотрудники Свирьстроя М. А. Ильинский и И. В. Буйдин сообщили нам, что при промерах глубины судового хода, кроме шуги, под поверхностным

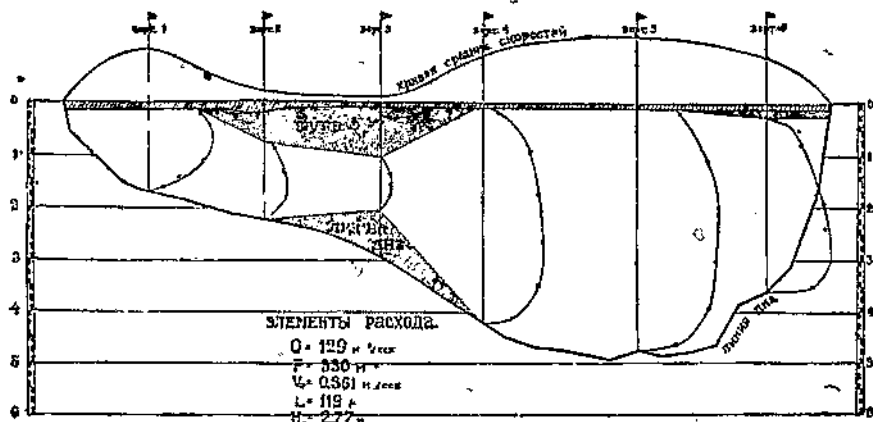


Рис. 2. Эпюра расхода, определенного 13 февраля 1926 г. на Кубани в Переволочном уезде.

льдом они ясно чувствовали в некоторых местах лед на дне реки как комком, укрепленным на тресе, так и цельной металлической плитой.

Была ли во всех перечисленных выше случаях где-либо открытая поверхность — из имеющихся материалов установить нельзя. Но лично наблюдаемые нами 18 января 1930 г. случаи донного льда на р. Свири под берегами поверхностного льда указывают, что лед этот ниоткуда занесен не был, так как никакого течения здесь не было (полная тишина), донный же лед, как битое стекло, торчит на камнях и между ними в разных направлениях, а верхняя часть камней льдом не покрыта (рис. 3).

В тот же день в небольшой вырытой канаве, в верхней части острова Негежа нами была обнаружена двойная пленка льда: сверху — обыкновенная поверхностного формирования, а снизу — донный лед между камнями. Камни здесь также примерзли ко дну, особенно глубже сидящие в земле.

Надо сказать, что сообщение подобного рода сведений чрезвычайно затруднено и их поэтому мало, так как очень редко лед бывает прозрачен. И даже в условиях совершенно прозрачного льда, мы часто не

¹ Из отчета Н. И. Буйдина по Темряжской гидрометрической станции (рукопись).

могли обнаружить льда на дне, потому что видимость его зависит от условий отражения света. Только пробивая лед и копаясь рукой в земле и камнях, мы брали и зарисовывали этот лед. Будучи потревожен палочкой, донный лед нехотя всплывает на поверхность, т. е. удельный вес его не сильно разнится от единицы (удельный вес плотного льда без примесей по Барнесу = 0,92).

5. Подтверждается только что-высказанное положение, что удельный вес донного льда меньше единицы, так как лед этот способен поднимать частицы грунта и даже камни.

4. Что водопады являются местами массового образования донного льда — неизвестно, и в литературе не отражено. Нам думается, что ниже водопада вода несколько отеплена за счет работы потока, в прибрежных же частях и по ложу реки ниже водопада донный лед образуется на общих основаниях. Далее: быстрое течение само по себе не является источником холода, наоборот, перемещаясь с одного места на другое, масса

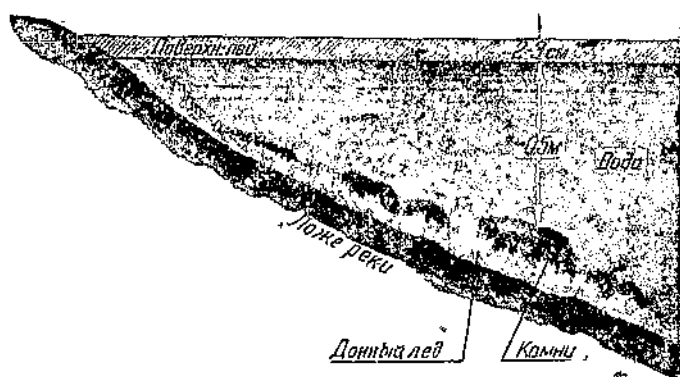


Рис. 3. Донный лед на р. Свири под покровом поверхностного льда.

воды совершает работу. Эта работа тем больше, чем больше скорость течения и тем сильнее, таким образом, вода будет нагреваться (по закону 427 кг работы эквивалентны 1 большой калории тепла, что равносильно повышению температуры воды этой массы на 1°C). Вот почему, как правило, не замерзают реки или участки рек с большими скоростями (порядка 3 — 5 м/сек и выше), а в случае замерзания, при особо суровых условиях, такие участки вскрываются сейчас же по прекращении необычных морозов. Если лед на дне все же находит в местах с быстрым течением, это вовсе не является доказательством влияния скорости потока на образование льда, потому что донный лед находят также и в местах совершенно тихих, и даже стоячих, о чем свидетельствуют как старые, так и новые наблюдения. Так, из большого количества анкет Русского географического общества в 1904 г. установлено: (4)

а) «Донный лед образуется на реках как при самом тихом, так и при очень быстром течении воды».

б) «Замечено появление донного льда на взморье Каспийского моря, на прудах в Волинской, Вологодской и Вятской губ., в озерах Ивановском (Новгородской губ.), Чудском и Ладожском».

7. Чтобы объяснить причину образования донного льда в стоячих водоемах, В. Я. Альтберг сообщил, что «в озерах донный лед образуется

при условии... волнения», но данных, подтверждающих это в виде непосредственных наблюдений, не приведено. Таким образом вопрос об обязательном наличии ветра при образовании донного льда в стоячих водоемах не доказан, а только предположен, чтобы оправдать свои выводы. Впоследствии В. Я. Альтберг также не приводит систематических данных о наблюдениях за ветром, хотя за 15 лет работы сведений этих должно быть достаточно. В 1921 г. в статье «Новое о природе донного льда» (5) он сообщает, что «выкрыто новое обстоятельство, существенное для рассматриваемого явления. Это — н е п о д в и ж н о с т ь жидкого слоя, непосредственно прилегающего к поверхности дна». Т. е. выходит; что, с одной стороны, должно быть д в и ж е н и е и переохлаждение воды, а с другой — необходима пограничная придонная н е п о д в и ж н а я с р е д а в виде пленки,

«толщина которой чрезвычайно мала и колеблется между несколькими мм и несколькими сотыми мм».

Это новое положение, выдвинутое В. Я. Альтбергом, ничем, кроме общих соображений, также не обосновано.

Так как тончайшую пленку и размеры ее В. Я. Альтберг установил произвольно, он естественно не смог объяснить им же поставленного вопроса, почему лед должен образовываться только в некоторых местах и при том изредка, а не повсюду дну реки.

В 1928 г., когда остановилась работа Волховской гидроустановки и объяснения за счет «основательного» перемешивания воды на бывших порогах не могли иметь силы, В. Я. Альтберг пишет: (6)

«Подпор воды, обусловленный сооружением плотины, отнюдь не г а р а н т и р у е т того, что образование донного льда будто бы невозможно ввиду перекрытия порогов».

И дальше им приводится ссылка на недостаток данных:

«К сожалению, отсутствие данных наблюдений для р. Волхова лишает возможность дать с п и с ч е р н ы в а ю щ е й п о л ь н о т о й а н а л и з гидрометеорологических условий и всей конъюнктуры, оказавшейся столь благоприятной для образования донного льда в настоящий ледоходный сезон».

Еще дальше:

«Нельзя порожистые участки реки считать единственными местами образования донного льда. При благоприятных условиях (каких? Ф. Б.) это явление может иметь место также и в других участках реки со спокойным и медленным течением, а д а ж е в с т о я ч и х в о д а х, как, например, в каналах и в озерах».

И опять не приведено никаких данных о волнении или ветре.

Сказанного достаточно, чтобы увидеть неясность и недоказанность прежних выводов В. Я. Альтберга и отсутствие дальнейшего опыта, подтверждающего его теорию. На протяжении 15 лет, со времени первых своих работ и выводов В. Я. Альтберг внес несколько новых понятий, но нигде детально их не обосновал, причем конечные выводы уже явно отличаются от первоначальных. Несмотря на это в своей последней работе («Климат и погода», № 6 — 21, 1928 г.)¹ он представляет вопрос о

¹ Позднее В. Я. Альтбергом опубликовано еще две работы: а) «Донный лед». Издание Государственного гидрологического института, Ленинград, 1931 г.; б) «Донный лед и проблемы Ангары и Большой Волги». Известия того же Института. № 39 — 40, 1931 г. К сожалению ничего убедительного в них также нет.

донном льде достаточно изученным. Он пишет:

«Создана научная база, обеспечившая возможность приступа в дальнейшем к разработке уже практических мер борьбы в отдельных конкретных случаях».

Дальше:

«...теперь становится возможным предвидеть его наступление и указать те условия, от которых оно зависит».

Еще дальше:

«...открывается в будущем также и возможность управления и даже предотвращения самого явления путем применения соответственных практических мероприятий».

И, наконец, есть даже

«первые удачные попытки в деле борьбы с донным льдом».

Все это хорошо, — скажет читатель, — но нам надо знать подробности предвидения, управления и предотвращения самого явления, тем более, что есть некоторые удачные попытки. Но этого, самого главного, В. Я. Альберг не сказал нигде, сообщив лишь, что:

«...на страницах настоящего журнала не место, конечно, распространяться о различных принципах борьбы...»

2. Теория Барнеса.

В обстоятельной по льду книге «Ice Engineering» (издание 1928 г.) Барнес приводит теорию образования донного льда и пути в следующем виде (3) (выдержки)¹:

1. «Термин «донный лед» мы будем употреблять для обозначения всякого льда, встречающегося на дне рек, независимо от природы его образования.

Часто бывает бесполезно стараться различать между собою пути у донный лед. Оба они, конечно, являются льдом, но условия, при которых образуется донный лед, не те же, при которых образуется шуга и каборт.

Шуга есть естественное следствие действия холодного воздуха на реку, текущую слишком быстро, чтобы в ней мог образоваться поверхностный лед. На порогах, где вода возмущена, образуется громадное количество шуги. Ее несет по течению на большое расстояние и со всеми накоплениями на протяжении длинных открытых участков вода в период сильных морозов становится наполненной льдом до дна. Вода имеет такой вид, как будто она наполнена песком.

2. В плавно текущей реке мы имеем больше вероятности получить донный лед, образующийся в большом количестве, между тем как в бурных потоках мы имеем вероятности получить больше шуги.

3. В реках глубиной 40 или больше футов (12 м) донный лед не известен, хотя в них и встречается большое количество шуги.

Все (?) указывает на то, что почное излучение тепла есть наиболее активная причина появления донного льда...

¹ Нумерация параграфов, вопросы, а также подчеркивание (разрядкой) отдельных мест произведено нами (Ф. Б.).

Излучение тепла рекой происходит все время к более холодным слоям воздуха вверх и к гораздо более холодным пространствам. В продолжение дня при ясном небе солнечное тепло, излучаясь вниз через воду, противодействует охлаждению, производимому излучением в атмосферу, в облачные дни тепловые лучи отражаются обратно облаками. В ясную ночь зимой при малой влажности воздуха или при ее отсутствии условия благоприятны для энергичного излучения тепла.

Никогда не наблюдалось ни образования шуги под жарким солнцем, ни донного льда в продолжение дня».

В разделе о «Причинах образования донного льда» Барнес пишет:

4. «Данные опыта в настоящее время достаточно велики, чтобы дать нам возможность установить два различных фактора в процессе образования этих двух видов речного льда. Во-первых, мы имеем образование шуги при непосредственном охлаждении воды, когда тепло отводится при тех или иных возмущениях, вызываемых ветром или течением через пороги. Ее образование есть результат небольшого понижения температуры воды, которое увеличивается с понижением температуры атмосферы.

5. Накопление шуги в воде является следствием перемешивания, вследствие чего каждая небольшая частица льда становится центром или ядром для дальнейшего роста.

6. Второй и большей важности причиной образования речного льда является излучение тепла, вследствие чего при ясном небе громадное количество теплоты излучается во-вне.

7. По моим сведениям, никогда не наблюдалось образования донного льда под покровом поверхностного льда. Несмотря на это, нет никакого серьезного основания, почему бы льду нельзя было образоваться в неглубокой реке при условии, что лед чист и свободен от снега, а вода течет достаточно быстро, чтобы температура на дне реки была на нуле или очень близка к нулю».

И дальше Барнес в целях объективности изложения приводит три случая нахождения донного льда под поверхностным льдом, что нами уже процитировано раньше (стр. 12—13).

Далее есть такое место:

8. «Хорошо известно также, что донный лед не образуется в облачные ночи, а шуга в такое время может образоваться».

Ряд авторов, возражая против возможности проникновения тепловых лучей в воду, не соглашались с изложенными выводами, на что Барнес отвечает так:

«ледовый баланс даже в воде при 32° Ф. (0° С), а тем более в воде переохлажденной, настолько деликатен, что количество энергии слишком малое, чтобы быть измеренным термометром, легко может служить причиной зарождения льда, который если уж образовался, будет быстро расти и дальше».

Как видим, здесь также много условного, теоретического и не подкрепленного фактами. Наоборот — в условиях русского опыта оказывается: «в 85 случаях донный лед наблюдался при ясном небе и в 39 случаях — при пасмурном».¹

¹ Из анкеты «Отчета комиссии по изучению донного льда», И. Р. Г. О., т. ХII, 1905 г., стр. 840.

данные ниже. Цитированного над образованием донного льда на р. Неве дают возможность утверждать, что

«образование донного льда не зависит от степени облачности неба» (7),

т. е. п. 8 наблюдениями не подтверждается.

В том же отчете комиссии по изучению донного льда (4) имеется прекрасная записка старожила Захарова, прожившего 30 лет на Идожском озере (малк Сухо). Захаров пишет:

«мне кажется, что ясная и пасмурная погода не имеют особого влияния на образование донного льда (свина). Мороз — это другое дело».

Дальше:

«Если раньше морозов выпадет большой снег и покроет землю вершка на 4, тогда донного льда (свина) совсем не бывает и озеро замерзает совершенно, иначе... долго не замерзает».

Еще более определенно выражает свои наблюдения по р. Ангара В. С. Траханцев (из того же отчета, стр. 382):

«Все мои наблюдения привели меня к тому, что влияние на образование донного льда имеет один только мороз; если кто замечал, что в ясные ночи шуги образуется больше, то это потому, что чем яснее ночь, тем мороз сильнее».

В записке В. А. Штольца (р. Ангара — из того же отчета, стр. 392) изложено даже следующее:

«Температура воды на поверхности с осени и всю зиму 0°, а на дне ниже; сужу потому, что производя опыты, спуская термометр на дно, наблюдал понижение температуры, но, несмотря на совершенно прозрачную воду, прочесть показание термометра не мог в виду мелких делений. Удалось прочесть только на глубине 1½ арш., где разница была на ½ градуса Реомюра. При подъеме термометра температура повыпается».

Все эти данные несколько не подтверждают взглядов Барнса на причину образования донного льда через излучение, а, наоборот, выясняют определенное влияние почвы как охладителя. Именно: появляется на берегу снег — донный лед не образуется; ближе ко дну температура воды холоднее; ясное небо не причем, важно, чтобы был мороз, тогда и в пасмурные дни донного льда много.

Точно так же и В. Я. Альтберг, ставя ряд самостоятельных опытов: 1) в темном помещении, 2) путем устройства металлического экрана внутри циркулирующей воды между поверхностью и дном и 3) закрывая цилиндр плотной металлической крышкой, в результате приходит к выводу, что «образование донного льда с успехом идет не только в пасмурную погоду, но также в совершенно закрытом и темном помещении, если температура воздуха достаточно низка» (1)

Недоказанным, по мнению Альтберга, также является эффект предполагаемого переохлаждения дна, а также не найдена та группа инфракрасных лучей, при помощи которых могло бы происходить предполагаемое излучение тепла сквозь толщу воды значительной глубины. (5)

Альтберг считает также, что согласно исследованиям Paschen'a, Rubens'a, Aschkinass'a, Яковлева и др., получение тепла дном реки в мировое пространство невозможно, и потому вопрос о необыкновенной, будто бы прозрачности воды для некоторых тепловых волн покоится на произвольных и никакими фактами не подкрепленных допущениях. (8)

Сказанного достаточно, чтобы допущения Барпеса в отношении излучения признать неубедительными, или во всяком случае нуждающимися в более серьезных доказательствах.

3. Теория В. Лохтина.

В. Лохтин, основываясь на своих наблюдениях за льдом на р. Неве и воспроизводя его в полевой лаборатории, пришел к довольно необычным выводам, именно к заключению, что донного льда нет, а сеть ледяной напос. Специального раздела в его труде (9) в виде теории нет, последовательно же он пришел к упомянутому выводу следующим образом¹:

1. «По наблюдению ниже. Цооглинского на всем протяжении реки температура воды в каждый данный момент оказалась почти одинаковой, разница между показаниями термометра не превышала 0,1 градуса, особенно при температурах около нуля. Равным образом и в разных слоях на разных глубинах она тоже в данное время оказалась одинаковой».

2. «Резюмируя в нескольких словах все то, что собрано было до сих пор по поводу вышеописанных своеобразных явлений образования льда, можно вообще сказать, что ими установлен факт существования во время морозов на дне р. Невы скопления особого вида рыхлого поздраватого льда, состоящего из мелких частиц и облепляющего находящиеся в реке предметы».

3. «Внимательно представляя себе всю картину вышеописанных странных явлений и стремясь проникнуть в их загадочную сущность, необходимо было, конечно, прежде всего найти источник происхождения донного льда и в этом отношении выяснить, образуется ли донный лед там, где его находят, другими словами — намерзает ли он прямо на подводных предметах. Если это действительно так, т. е. если подводный лед намерзает прямо там, на дне, то процесс этот очевидно не должен зависеть от качества протекающей воды, лед этот должен намерзать не только из данной речной воды, но при тех же условиях и из всякой другой, той же температуры».

Выяснение этого вопроса помощью специального герметически закрытого ведра привело к следующим заключениям:

4. «Если вода наливалась в ведро не непосредственно из реки, а была предварительно согрета, то никаких следов донного льда не получалось».

Кроме специально приспособленного ведра опускали также в реку на разные глубины и чаще всего на самое дно бутылки, чайники, ящики и проч., наполненные водою, постоявшей в комнате. И во всех этих случаях точно также не обнаружено ни малейшего присутствия хотя бы ничтожных кристалликов льда. А в то же самое время наружная поверхность опущенных предметов — ведер, бутылок и проч. — почти всегда оказывалась обильно покрытой, облепленной кристаллами ледяного напоса, иногда настолько

¹ Нумерация, вопросы и подчеркивание (разрядкой) отдельных выводов сделаны нами. (Ф. Б.)

сильно, что вместо первоначальной формы предмета получалась округленная ледяная глыба.

5. «Но результаты опытов опускания на дно реки ведра и бутылок оказывались совершенно иными, если эти сосуды были наполняемы не подогретой водой, а непосредственно той же водой реки, взятой на глубине опускания. В этом случае после вытаскивания сосудов в них оказывались не какие-либо ничтожные следы ледяных кристаллов, но прямо характерные губчатые их отложения на положенных внутрь этих сосудов предметах. Кристаллы льда очевидно вошли туда вместе с речной водой, как ее примось, и чтобы факт этот констатировать еще яснее, в то же самое время и в тех же самых местах опускались прямо в реку ветки ели, которые действительно и собирали на своих иглах тот же нанос льда, который осаждался из той же воды в ведре и бутылках».

6. «Но может быть играла роль в данном случае та разница условий, что в реке вода течет, движется, а в ведре и бутылке она стоит на месте? Чтобы уравнять и это обстоятельство, бутылки ставили также на самое быстрое течение, где они болтались так, что за сутки веревка, на которой были привязаны, иногда совсем перетиралась. Но и в этом случае результаты получались одни и тот же; подогретая вода в бутылках наноса не давала, а речная вода и в бутылках, и на контрольных ветках в реке облепляла погруженные предметы иглами ледяных кристаллов».

7. «Не раз случалось также, что ведро было наполнено водой из р. Невы и, следовательно, согласно вышеуказанным фактам должно было после своего обратного извлечения дать осадок льда. Но как раз в это время наступала оттепель и ведро оставалось в реке до возобновления морозов, а именно до тех пор, пока опускаемые в реку контрольные ветки не начинали обнаруживать снова появления осадка льда. Тогда ведро вынималось, но никаких следов льда в нем не оказывалось: оттепель растопила то, что в воде сначала было, а новых частиц на месте не образовалось».

8. «Опытами этими с полной очевидностью обнаруживается тот факт, что осадок частиц льда получается только в том случае, если вода взята непосредственно из течения р. Невы, что только эта текущая вода несет откуда то частицы льда в своей массе, как ледяной нанос, и отлагает их на погружаемых в воду предметах».

9. «Если во время сильных морозов взять пробу в порогах р. Невы у самого дна, на глубине 9 саж., то в первые моменты после извлечения вода представляется на вид мутной, желтовато-молочного цвета,

Чем ближе к поверхности реки брать пробы воды, тем меньше в ней мутн, но зато больше попадаетея крупных кристаллов ледяного наноса, на самой же поверхности оказываются уже порядочной величины пластинки...»

10. «общий вывод всех указанных многочисленных опытов был тот, что в р. Неве на дне русла образовался донного льда не происходит ни разу не было на-

блюдаемо даже в самом ничтожном количестве, хотя бы в виде отдельных частичек».

Дальше у Лохтина идет описание лабораторных опытов, которых мы коснемся позже.

Как видим, Лохтин очень вдумчиво наблюдал за природными условиями и казалось бы даже опроверг существование дошного льда.

Так ли это? Мы думаем, что далеко не так.

Во-первых, Лохтин был снабжен по всем признакам плохим инструментарием, ибо во всех журналах наблюдений мы неизбежно встречаем одну и ту же температуру воды $= -0,1^\circ$, несмотря на то, что бывало и очень холодно (-16° , -23°), и существенные оттепели ($+1,0^\circ$, $+1,5^\circ$ и больше). Какими термометрами измерялись температуры, проверены ли они где-либо — ничего неизвестно. Трудно даже установить, каким термометром (Цельсия или Реомюра) производились наблюдения, и только в конце книги в «сравнительной таблице» по заголовку видим, что температура воздуха выписана по Реомюру, причем в этой таблице неизвестно, в какие часы и в каком пункте выписанные температуры наблюдались. Если же их сравнить с текстом журнала наблюдений, то оказывается, что по пункту «Усть-Ижора» данные часто не сходятся (с 21 декабря по конец месяца и дальше), а по «селу Ивановскому» какая-то смесь температур, то близких и согласных, то не имеющих ничего общего. Во всяком случае системы и точности в температурах наблюдений нет.

Публикация упомянутых сведений составлена также беспорядочно, нет ни одного температурного графика и вообще чертежей и технических схем в книге явный недостаток. Вследствие этого зимний режим реки и отдельные места ее охарактеризовать невозможно.

Дальше: ссылка на одинаковость температуры воды с оговоркой, что и уже теряет свое доказательство, а кроме того, обращаясь к подлиннику (труду Цюнглинского «О наблюдениях над замерзанием р. Невы и исследовании закоров на ней»), находим следующие цифры (стр. 27):

В ясную морозную ночь со 2 на 3 ноября (повидимому в 1 ч. ночи)	{	Температура воздуха	$= -8,0^\circ$
		" воды на поверхности	$= -0,02^\circ \text{C}$
		" " дне	$= +0,03^\circ \text{C}$
В пасмурную ночь с 3 на 4 ноября (повидимому в 1 ч. ночи)	{	Температура воздуха	$= -7,0^\circ$
		" воды на поверхности	$= +0,03^\circ \text{C}$
		" " дне	$= +0,03^\circ \text{C}$

т. е. температура воды наблюдалась и одинаковой, и разной.

Наблюдения Цюнглинского за температурой воды проведены, по его словам, максимальным термометром Цельсия, проверенным в Главной Геофизической обсерватории.

Выводы Лохтина по п. 1 взяты у Цюнглинского, но из приведенного примера и современных сведений о температурном режиме рек мы знаем, что вопрос этот деликатный, требует очень точных и хорошо организованных наблюдений, и тем не менее абсолютного равенства температур в поперечном сечении реки часто не наблюдается. Лишь в случае полной подготовленности воды к выделению льда на дне и физические особенности воды (удельный вес, конвекция и т. п.), и непосредственные наблюдения взаимно друг другу не противоречат. Тогда лед поднимаясь со дна проносителся по всему сечению.

Обратим внимание теперь на дальнейшие пункты, которые со стороны Лохтина представляют как бы доказательство, что образования льда на

дне не может быть, а существует лишь наносный лед. Происходит это потому, что во всех перечисленных опытах так дело и обстоит: предметы облеплялись именно наносным, а не донным лед местного происхождения. Тогда все становится совершенно понятно и объяснимо, но это ни коим образом не доказывает того, что лед на дне реки вообще образоваться не может. Если Лохтин не наблюдал сам¹ и не смог поставить убедительных опытов, доказывающих возможность донного происхождения льда, то в этом и заключается его самое слабое место. Ныне никакому сомнению не подлежит вопрос о действительном образовании льда на дне в подходящих местах речного ложа, только причины его разные льда не считают одинаковыми.

Есть еще одна принципиальная неправильность в предпосылке Лохтина (п. 3), что процесс намерзания льда на дне не должен зависеть от качества притекающей воды. Ясно, что вода разного химического состава, а тем более разной температуры обладает разным режимом ледообразования. Соленая и болотная вода, например, замерзает при совершенно иных условиях, чем вода пресная.

Если же воду (какого бы состава она ни была) подогреть², то неизвестно, сколько времени потребуетея, чтобы в слабо отрицательной (а временами и положительной) температуре окружающей среды, вода в ведре или иной посудине способна была выделять внутри себя кристаллы льда. Быть может сроки выдерживания таких сосудов в реке Лохтинным были взяты очень малыми (недостаточно 1—2 суток), либо погода этому не благоприятствовала, или, наконец, вода в реке была теплее температуры ледообразования, а по реке плыл лишь транзитный лед (дальнего происхождения):

Запись 18 декабря 1904 г. так и говорит:

«Шороха внутри бутылок нет; на камнях нет почти никаких кристаллов. Пришлось покопнуть и новую прорубь».

Еще дальше:

«В два дня вода подо льдом превратилась в снежную кашу. Это показывает уже, что накопление шороха находится в зависимости от температуры воздуха и не зависит (?) от температуры воды, так как раньше при меньших морозах такого обильного образования донного льда не наблюдалось, а температура воды была та же».

Нами уже отмечалось, что температура воды в постановке Лохтина измерялась скверно, поэтому и утверждение, что накопление шороха не зависит от температуры воды, в высшей степени смелое. Все же и эти записи говорят за то, что раз нет никаких кристаллов на камнях, то нет никаких оснований ожидать их в бутылке. Ряд записей в журнале как раз объясняют то именно, что мы сказали раньше: перед 18 декабря полынья уменьшается в размерах, т. е. мы имеем наблюдения не в открытом русле, а под покровом поверхностного льда («пришлось покопнуть новую прорубь»), и забивка сечения происходит действительно на ос-

¹ Точный текст выражения Лохтина: «Общий вывод всех вышеуказанных многочисленных опытов был тот, что в р. Неве, на дне русла образования донного льда не происходит и ни разу не было наблюдаемо даже в самом пыльном количестве, хотя бы в виде отдельных частичек».

² Судя по стр. 49 и сл. книги Лохтина, бутылки наполнялись водой комнатной температуры, т. е. порядка 15 — 20° С.

ным шорохом, а в этих условиях вода не обязательно должна быть переохлажденной.

Ввиду несостоятельности утверждений Лохтина, на дальнейших полевых наблюдениях его и на выводах из них не останавливаемся.

Перейдем к лабораторным опытам.

Опыты его, очень интересные сами по себе, были поставлены в Лесном (у Ленинграда), для чего:

1. «собрали одна из дач, снабженная двумя колодцами, которые могли давать достаточное количество воды с постоянной температурой от 3 до 4°. На помосте, возвышавшемся около 1 саж. над землей, поставлены были 3 большие бочки, соединенные между собою свинцовыми трубками, посредством которых бочки могли быть по желанию соединены или разобщены. Вода накачивалась из колодцев помпой и вышускалась по трубке, длина которой могла быть удлиняема настолько, чтобы на этом пути довести охлажденные воды до нуля. Из трубки вода поступала в специально для данной цели изготовленный ящик со стеклянными стенками, позволяющими видеть все, что делается внутри.

Сверху ящик мог закрываться крышкой герметически, на случай полного разобщения ящика с наружным воздухом. Внутри ящика были камни, веревки, ветки ели и стружки. С описанным ящиком провозводились опыты всю зиму¹ при самых разнообразных условиях.

Налив ящик водой прямо из колодцев и раскрыв крышку, представляли воде в спокойном состоянии охлаждаться. Замерзание начиналось на поверхности появлением сначала вышеописанных мутных пятен, а затем и ледяной корки, причем во время этого процесса оставшаяся часть воды оставалась совершенно прозрачной и обычно даже еще не вполне успевала остынуть до нуля. При дальнейшем охлаждении начиналось намерзание льда на стеклах и на стенках,² но не на погруженных в воду предметах, причем этот намерзший на стенках лед, представлявший собою прозрачный слой, не имел ничего общего с тем явлением, о котором идет речь. Это было очевидное влияние промерзших насквозь стенок сосуда, что между прочим обнаруживалось и тем, что на общей гладкой поверхности намерзшего льда выступали бугры, соответствующие большему охлаждению на сучьях и гвоздях. Впоследствии, чтобы избавиться от промерзания ящика, его ставили в снег и оставляли под действием мороза лишь одну его верхнюю поверхность.

В других случаях ящик наполняли водой, предварительно охлажденной до нуля. Замерзание шло при этом быстрее, но никакого льда или осадка внутри воды на положенных предметах и в самой массе воды не оказалось. Иногда воду перемешивали, оставляли ее замерзнуть, взламывали лед и снова перемешивали и так далее несколько раз, и результат постоянно получался отри-

¹ 1904—1905 гг.

² Стенки ящика стеклянные; о каких еще стенках идет речь неясно; повидимому стекла были не на всем протяжении из стекла, а частично деревянные.

цательный. То же получалось и в том случае, когда воду пропускали через ящик для того, чтобы в нем было постоянное течение. Одним словом, во всех этих приемах и комбинациях, несмотря на все попытки, получить так называемый донный лед лабораторным путем внутри воды ни разу не удалось.

2. «Но зато картина тотчас же сразу на той же самой станции резко изменялась, как только опыты были видоизменены в том смысле, чтобы предоставить воде достаточную возможность иметь своей поверхностью непосредственное соприкосновение с воздухом.

С этой целью взамен устроенной в начале трубки, которая проводила воду из бочек в ящик и на своем протяжении ее постепенно охлаждала, поставлены были деревянные желоба с приблизительным уклоном вершок на сажень.¹ Желоба, расположенные в виде зигзага и образующие на пути, при переходе из одного желоба в другой каскады, были переграждены поперечными деревянными брусками, подразделявшими всю систему пути воды еще на ряд отдельных бьефов и образующими маленькие водосливы. В различных местах на протяжении желобов положены были в воду обычные еловые ветки, веревки, гвозди, камни и прочее, и сверх того поставлен ряд термометров для наблюдения охлаждения воды. Как только все приспособление было готово, пущена была из бочек по желобам вода, которая на некотором начальном протяжении своего пути не обнаруживала никаких явлений образования льда. Термометры показывали здесь температуру выше нуля. Но вот, наконец, по мере дальнейшего своего движения по желобам и постепенного остывания, вода охлаждается до нуля. На ее поверхности появляются маленькие как бы скользящие воду точки, которые сменяются с водой и благодаря своей прозрачности скрываются, совершенно ускользая в ее массе от дальнейшего наблюдения глазами. Только вынув из воды ветку, обнаруживается на ней, когда стечет вода, целая масса частичек, которые ее облепили и которые придают ей буквально тот же самый вид, какой наблюдается в опытах на р. Неве. Но при этом пристаёт только ничтожная доля этих частичек. Остальные несутся с водой дальше и скапливаются перед порогами в виде голубоватого, полупрозрачного губчатого студня. Постепенно это накапливающееся ледяное желе растет над деревянным порогом вверх, обволакивает деревянный брусок совершенно и даже скрывает внутри своей массы самое течение воды. В противоречие (?) с законами гидравлики для жидких тел вода здесь пухнет, вздымается в виде горба вверх, кипит, как говорят в Сибири. Так кипят там ручьи, выбивающиеся из подр земли на морозный воздух. По мере нарастания ледяного напоя вода перед порогом скапливается все больше, прорывает, наконец, где-либо эту рыхлую массу и уносит часть скопления дальше вниз по же-

¹ Это дает уклон $i = 0,021$.

лоу. Остальная масса, выступив со спадом воды наружу, тотчас же на воздушные быстро смерзается в ледяную корку.

Описанным приспособлением мы получили возможность лабораторным путем во всякое время, раз есть мороз, готовить и собирать куда угодно и какое угодно количество этого так называемого донного льда, который оказался не донным, а как раз наоборот, — поверхностным льдом, образующимся от соприкосновения воды с морозным воздухом и смещающимся с водой в виде ледяного наноса».

Мы нарочно привели столь подробное описание лабораторных опытов Лохтина, чтобы было ясно, как внимательно он изучал явление и как неудачно сосредоточил свое внимание на наносном льде. В этой части его лабораторные опыты целиком подчинены принципам полевых наблюдений, но он упустил из виду, что созданный им поток насколько не похож на естественное русло: ложе лотка из неизвестного материала (по всем признакам деревянное),¹ стенки стеклянные. Ничего другого, кроме поверхностного льда, в этих условиях и нельзя было ждать, а тем более когда ящик был покрыт (отеплен) снегом. Это доказывает, между прочим, еще и то обстоятельство, что не может быть зарождения внутри воды и на дне ледяных кристаллов, если охлаждать обычный поток сверху. Созданные же Лохтиным желоба-зигзаги, каскады и водосливы настолько видоизменили динамику потока, что внутренние силы жидкости (сцепление, вязкость, плотность) не могли противостоять внешним ударам и вся вода естественно смещивалась механически.

Точно также В. Я. Альтберг в своих опытах по искусственному переохлаждению воды в чане перемешивал воду специально приспособленным вентилятором. Таким образом легко можно, например, переохладить всю воду в стакане, перемешивая ее ложкой, но это никак не напоминает озера хотя бы даже при волнении.

Словом, опыты Лохтина были проведены в абсолютно непохожих на естественные свойства реки условиях, поэтому и выводы из них сюда не приложимы.

Лохтин наблюдал не только за р. Невой, но и за притоками: Тосной, Ижорой, Корчминкой и на прудах в Ланском и Колинне. Оказалось, что предметы, облепленные наносным льдом в р. Неве, растаивали в притоках и на прудах; точно также подтаивали и уменьшались в весе куски плотного льда, причем тем больше, чем глубже кусок опущен в воду. Удивительно, как не навело это Лохтина на мысль, что в теплой воде не может быть образования донного льда, и он неизбежно должен таять.² Точно также и мы на притоках р. Свири

¹ Хотя в описании этих деталей нет. Это показывает на полное отсутствие внимания к вопросу о создании действительно похожего на реку потока.

² В ряде рек и озер вода под поверхностным льдом имеет температуру всегда выше 0°, а чем глубже, тем еще теплее. В оз. Ильмень и др. температура на дне имеет +1,5° + 2,5° в придонных слоях воды, и +3 + 4° тепла в илу, что объясняется биохимическими процессами в илстых грунтах (см., напр., «Озеро Ильмень и его пойма», составил инж. А. А. Гельберг, изд. Волховстроя, 1927 г.).

и двух прудах совершенно не наблюдали донного льда, тогда как на самой р. Свири его было сверх меры.

4. Наблюдения и выводы М. Цюонглинского.

Инженеру Цюонглинскому было поручено в 1903 г.¹ произвести изыскания на р. Певе с целью исследования свойств ледяного покрова, вида его поверхности, высоты подъема воды во время зажоров и других данных (?). Он поставил очень детальные, особенно для того времени, изыскания и собрал много полезных сведений о быте реки. Никакой особой теории по донному льду он не предложил, но в числе некоторых замечаний и выводов его есть места, послужившие ряду последующих авторов для совершенно бездоказательных утверждений. Так, Цюонглинский пишет²:

«Вопрос о причинах образования донного льда еще далеко не выяснен. Некоторые ученые и наблюдатели объясняли образование его теплопроводностью почвы, вследствие которой зимний холод через почву передается дну реки, где при помощи необыкновенного² лучеиспускания теплоты вода сейчас же окружает валуны кристаллическими пластинками. Объяснение это неприменимо к явлениям, наблюдаемым на р. Певе, так как за все время наблюдений над образованием донного льда температура почвы уже на глубине 0,25 саж. не падала ниже нуля.

Что грунт дна реки не имеет температуры ниже нуля, доказывается (?) тем обстоятельством, что находящиеся в середине комьев донного льда, только что всплывших на поверхность воды, куски песку и глины оказывались совершенно талыми (?) без всяких признаков замерзания, причем донный лед только механически облетал их, не составляя с ними одного целого».

Впоследствии для ряда авторов это стало аксиомой, не требующей доказательств, причем некоторые даже не приводят мотивов, почему влияние почвы они игнорируют. Ряд авторов категорически отрицает влияние почвы, потому что, мол, глубина промерзания ее обычно не превосходит 2—3 м, а донный лед находят на глубине 6—8 и более м.

Все это верно, но нельзя же считать доказательством сведения, какие приводит Цюонглинский и ему подобные. Во-первых, если в середине комьев льда находят талый грунт, то должен прежде всего таять самый лед, иначе это будет нелогично. Но грунт внутри может показать признаки таяния только тогда, когда до него растает оболочка льда, или грунт должен болтаться внутри льда. Мы таких данных лично никогда не наблюдали.

Кроме того глазомерная, а не инструментальная оценка таких вопросов как талый грунт или лед — очень грубый прием.

Далее, пусть действительно донный лед и вкрапленный в него грунт находились в таком состоянии, но так как они найдены не на дне водоема, а всплывшими на поверхность при неизвестной температуре воды и воздуха, неизвестной погоде и т. п., то это далеко не маловажные факты. Будь

¹ К исследованиям приступлено 20 февраля 1903 г.

² Выделено разрядкой и вопросы поставлены везде нами. (Ф. Б.)

приведены эти данные, легче было бы распознать природу явления. Мы лично 19 января 1930 г. наблюдали в донном льде (втыкая в него термометр) температуру порядка $+0,02^{\circ}\text{C}$ при температуре воды около $+0,05^{\circ}\text{C}$,¹ что указывает на разрушение этого льда теплой водой.

Отсюда видим, что глазомерное решение вопроса о талом или неталом состоянии льда или грунта весьма субъективно, цифровых же данных о температуре почвы на дне и придонных слоев воды при образовании донного льда ни у кого из них нет. Следовательно и открытым стоит в данном случае вопрос о температурном градиенте придонных слоев и законе передачи холода по ложу реки через теплопроводность. Так как грунты сухие и смоченные ведут себя необычайно различно и теплопроводность их от смачивания возрастает в несколько раз, а грунты каменные имеют и без того высокие коэффициенты теплопроводности, то вопрос об отсутствии влияния ложа реки на причины образования донного льда также следует отнести к разряду недоказанных.

Приведем теперь случаи иного порядка, которые с несомненностью свидетельствуют, что почва — не маловажный фактор. Обратимся к почвоведцам.

Известно (2), что

«температура верхнего слоя земли колеблется совершенно подобно температуре воздуха, но ее суточные амплитуды значительно больше. Из наблюдений Лейста в Павловске оказалось, что максимум на поверхности почвы наступает зимой на полчаса, а летом на 2 часа раньше, чем для воздуха».

Далее:

«снег, особенно рыхлый, принадлежит к числу самых дурных проводников тепла, поэтому он служит отличной защитой земли от охлаждения» (там же).

Еще далее: по наблюдениям в Лесном институте за самый холодный период 1893 г. (с 7 по 29 января) разность между температурой «обнаженной и покрытой снегом почвы достигала до 32° » (температура обнаженной почвы = -35° , а покрытой снегом почвы = -3° (о толщине снега данных нет).

Подобного же рода данные мы находим и в труде М. Сумгина, (11) «Вечная мерзлота почвы в пределах СССР», изд. 1917 г., стр. 169 и др.

Отсюда ясно, что 1) почва способна охлаждаться сильнее окружающего воздуха; 2) почва оголенная охлаждается во много раз сильнее почвы, прикрытой снегом.

Обращаясь далее к условиям охлаждения различных почв, находим, что это зависит: а) от теплопроводности почвы и б) от теплоемкости почвы, т. е. чем больше теплопроводность почвы, тем скорее тепло (холод) уходит вниз, и чем меньше теплоемкость, тем легче почва охлаждается (меньше нужно тепловых единиц на охлаждение). Поэтому кварц, граниты, мраморы всегда охлаждаются скорее и сильнее, чем грунты обычные.

«Присутствие камней в почве увеличивает теплопроводность ее». (12)

«Как теплоемкость, так и теплопроводность

¹ Цена деления нашего термометра = $0,20^{\circ}$; оба наблюдения производились одним и тем же термометром; не ручаясь за точность абсолютных цифр, ход явления отражен правильно

почвы в сильной степени изменяется в зависимости от содержания воды в почве настолько сильно, что сравнительно с воздействием воды влияние твердых частей отступает далеко назад». (13)

Другими словами, оказывается, что замещение пор воздуха в грунте водой настолько сильно меняет условия теплопередачи, что грунты обычные и смоченные водой ведут себя слишком различно.

Что же мы имеем в указаниях Цюнглинского? Оказывается — ничего убедительного, ибо температур ложка реки вовсе не наблюдалось, а в отношении берега неизвестно даже, о каком месте и какой почве идет речь.

Один из позднейших авторов, именно Е. И. Иогансон (14), следуя ходу мысли Цюнглинского, также пытается опровергнуть предположение о передаче холода через грунт, так как в приведенной им таблице образование донного льда наблюдалось «при почти исключительно положительных температурах почвы уже на глубине 0,1 м».

Слово «почти» уже исключает доказательство, но кроме того:

- 1) опять неизвестно, о какой почве здесь идет речь;
- 2) температура почвы измерялась не на дне реки, а на берегу, причем в пункте, удаленном от места образования донного льда, больше чем на 150 м;
- 3) температура почвы измерялась не в поверхностном слое, а на глубине 0,10 м;
- 4) даже в этих условиях оказалось, что именно в день отрицательной температуры почвы (29 ноября 1923 г.) в 11 пунктах (из 18) на реке появилось сало¹.

Таким образом приведенное ниж. Иогансоном сравнение доказательством также служить не может.

Так как смоченное водой ложе реки ведет себя совершенно отлично от грунта обычного, то при отсутствии наблюдений в ложе реки нельзя доказывать температуру его, на основании температурных наблюдений на суше, а тем более в неизвестном месте, грунтах и условиях.

Если идти методом неудачных аналогий дальше, то можно было бы сказать, что донный лед образуется из воды температурой $+0,07^{\circ}\text{C}$, ибо на стр. 23 уже цитированного труда Цюнглинского приводится такое сообщение:

«7, 8 и 9 декабря при большом морозе и температуре воды $+0,07^{\circ}\text{C}$ по реке пошел сильный ледоход, во всю ширину реки. Кроме льда поверхностного, очевидно оторванного от берегов и толщина которого доходила до 1 вершка, замечалось значительное количество донного льда; 9 декабря льдины поверхностного льда исчезают и идет исключительно донный лед.

В заводи в том месте, которое непосредственно прилегает к течению, вся нижняя поверхность льда покрыта донным льдом, заключающим в себе разные предметы, поднятые со дна. Под влиянием морозов последних дней кристаллы донного льда, ближайшие к поверхности, смерзались в одну общую кристал-

¹ Понятие сала от пути и плывущего донного льда ниж. Е. И. Иогансоном в табличных сведениях не разделялось.

лическую прозрачную льдину, внутри которой замечались посторонние предметы. Такой же характер льда замечался и по всему протяжению заберегов от села Ивановского до устья р. Ижоры.

Через несколько строк дальше Цюнглинский обращает внимание на два свойства донного льда:

«1. Смерзание донного льда в прозрачные сплошные ледяные плиты под ледяным покровом. При измерении толщины скопившегося в русле реки донного льда не раз в пробитую лунку вместе с массой шороха вырывалась снизу ледяная плита в доказательство донного своего происхождения, заключающая в себе по всей массе распределенные песчинки и камешки. Очень часто песчинок было такое множество, что вся льдина имела совершенно грязный вид. Иногда приходилось вынимать из лунки вынырнувшую льдину еще не совсем сформировавшегося прозрачного льда; изнутри такой льдины в большом количестве вытекала вода, доказывая значительную ее пористость; наружная поверхность льдины была облеплена примерзающими к ней кристаллическими пластинками донного льда.

2. Неразрываемость донного льда водою. Если в ледяном покрове реки, под которым находилось много донного льда, сделать майну значительных размеров и из майны вычерпать весь донный лед, то по краям майны под льдом скопившийся шорох держится вертикальной стенкой, не выплывая в майну, несмотря на то, что в майне под влиянием напора воды образуется сильный водоворот вследствие удара воды в вертикальную стенку донного льда».

Так как по утверждению Цюнглинского (стр. 13 его труда) «температура воды в данное время во всех слоях воды одна и та же, а за сутки перед тем (5 декабря) температура воды на дне и на поверхности также $+0,07^{\circ}\text{C}$ и ледоход к вечеру совсем прекратился незаметно поднимания льдин со дна, то выходит, что: а) либо донный лед за это время образовался из воды положительной температурой, б) либо температура ложа реки, откуда донный лед всплывает, была отрицательной.

Очевидно, первое допущение (а) явно невозможное; остается согласиться со вторым (б), что и подтверждается характером последующих записей 13 декабря, когда

«при ощупывании дна багром легко было чувствовать, что оно покрыто слоем донного льда, причем даже слышно было характерное шуршание его; куски льда удавалось оторвать багром от дна и тогда они с шумом поднимались на поверхность».

«14 декабря... при температуре воды, колеблющейся между $-0,03^{\circ}$ и $+0,03^{\circ}\text{C}$... замечено еще большее количество льда на дне, так что можно предположить, что в это время вода текла как бы в ледяном русле».

Таким образом устанавливается, что в наблюдаемом пункте лед на дне формировался, несмотря на то что темпе-

ратура воды была положительной. Иного источника холода в этом случае, кроме охлажденного ложа реки, предположить невозможно, следовательно утверждение Ционглинского об отсутствии влияния почвы также потеряло силу.

Имея много других указаний Ционглинского, от цитирования их мы воздерживаемся, хотя они представляют большой интерес. Характерно только то, что «во все время производства наблюдений ни разу не выпал снег», т. е. условия охлаждения почвы в данном случае были весьма благоприятны.

5. Теория Ге-Люссака.

В хронологическом порядке теория Ге-Люссака (15) возникла позднее теории Араго (16).

Ге-Люссак считает, что лед на дне образуется от смерзания образовавшихся на поверхности ледяных плит между собою и с дном реки. Он возражает против того, что образование донного льда Араго уподобляет образованию кристаллов в соляном растворе, когда в насыщенный раствор погружают какое-нибудь угловатое тело.¹ Как же Ге-Люссак объясняет присоединение ледяных плит друг к другу и к ложу реки? Оказывается вот как:²

«Если вспомнить, что ледяные плиты появляются при морозе, то ответ является сам собою. Ледяные плиты, охлаждаясь наружной стороной ниже 0° , постоянно уносятся течением с поверхности на глубину, где вследствие своей легкости некоторое время держатся в равновесии, пока подъемная сила не сравняется с силой, погружавшей льдинки (плиты).

В этот промежуток времени, который может быть более или менее значителен, ледяные плиты при соприкосновении между собою или с препятствием на дне реки, располагаясь к поверхности встречного тела холодной, ниже 0° , стороной своей, могут заморозить весьма тонкий слой воды между льдиною и встречной поверхностью, и таким образом плиты имеют возможность смерзаться между собою и с дном реки».

Мор и последующие исследователи опровергают эту гипотезу доводом, что ледяные плиты при погружении должны были бы принять среднюю температуру всей водяной массы, а так как в массе вода и подводные предметы не охлаждаются, то кристаллы на довольно длинном пути должны принять температуру окружающей среды.

Мы считаем, что суть дела не столько в этом, сколько в том, что не найдено силы, которая заставляла бы легкие частицы (в виде льдинок) опускаться вниз и там залякориваться. В этом отношении и современная гидравлика, введя термин турбулентности потока, не дает никаких указаний, откуда в сравнительно спокойном потоке и даже стоячем водоеме (канале, озере, пруде, где донный лед находится в изобилии) могут возникать вертикаль-

¹ В русском изложении взгляды Ге-Люссака достаточно подробно описаны в работе Л. Л. Владимирова, «Образование льда на дне рек, СПб, 1904 г.

² Цитирую по Л. Л. Владимирову. Подчеркнуто (разрядкой) здесь в дальнейшем нами. (Ф. В.)

ные силы, направленные вниз. Без уяснения же этих обстоятельств остаются лишними научной базы ссылки на якобы необыкновенную склонность потока все выравнивать и перемешивать.

6. Теория Араго.

По ряду указаний в литературе Араго является основоположником первой теории по донному льду (1833 г.), несмотря на то что «первые сведения об образовании льда на дне английских рек сообщил Platt в 1705 г., указавший, что рыбаки, морякам, поселянам и мельникам это явление давно известно» (7). Оказывалось, что давность первых сообщений о донном льде уходит в глубокую старину, и только сто лет назад вопрос этот нашел серьезного исследователя. Араго упоминает о следующих реках, в которых донный лед известен: Темза, Эльба, Тайна, Рейн, Сона.

Не имея возможности воспользоваться подлинниками работ Араго, приводим ниже выдержки трудов его из описания В л а д и м и р о в а. (17)

«В своем научном обзоре Араго указывает, что при осеннем ледоходе обыкновенно задают себе вопрос: где и в какое время образуется громадное количество плавучих льдин, которые реки уносят к морям, причем эти льдины, скопляясь под арками мостов, служат часто причиной наводнений. Все соглашались, что в озере, в прудах и в каждом углублении со стоячей водой замерзание происходит с поверхности и толщина льда увеличивается затем сверху, вниз. Происходит ли то же самое и в текущей воде? Физики, по словам Араго, так полагали.

Молодчики, рыбаки, мельники напротив утверждали, что льдины появляются со дна, но их заявления мало влияли на предубежденные умы, и потребовалось свидетельство многих научных наблюдателей, чтобы заставить уверовать в реальность факта, который казалось прямо противоречит законам распространения теплоты».

«В 1780 г. при внезапно усилившихся холодах на юге Франции (при понижении температуры до -8°C) член академии Демаре заметил, что ложе реки Дёме покрылось губчатым, поздраватым льдом. Этот лед показался сперва на глубине от 0,65 до 1 м, но при продолжавшемся холоде донный лед образовывался даже в самых глубоких местах.

По наблюдениям Демаре, нарастание льдин шло от их нижних поверхностей, касавшихся дна, и сформированный лед постепенно поднимался вверх, иногда нарастая в ночь от 14 до 16 мм. Некоторые льдины, постоянно нарастая, достигали поверхности воды, образуя на течении ледяные острова. Никто, — добавляет Араго, — ранее не указывал на подобные процессы.

Затем Демаре указывает что лед нарастает равномерно при облачной погоде и малой перемене в суточной температуре воздуха. Если же днем преобладало солнце, то и нарастание донного льда приостанавливалось. Различные нарастания слоев льда после интервалов отдыха легко разделялись и папор течения отделял верхние слои от нижних. Таким образом на реке начинался ледоход.

М. Вгап в 1788 г. опуликовал несколько диссертаций, в которых устанавливал существование донного льда на р. Эльбе, называвшегося местными жителями особым названием «grundeis». Подъемом этого льда подымались на поверхность корзины (мережки) для ловли угрей и даже якоря и камни, к которым крепились цепи бакенов, что вызывало опасное для судоходства перемещение этих важных сигнальных знаков, ограждавших фарватер.

Знаменитый ботаник Клайт в 1816 г. утром после очень холодной ночи на небольшой речке Терге в широком бассейне стоячей воды, удерживаемой плотиной, заметил миллионы маленьких плавающих ледяных игл.

Келли на Рейне 11 февраля 1816 г. наблюдал образование донного льда при однообразной температуре воды 0° во всех слоях от дна до поверхности и при температуре воздуха -12°C .

М. Нуги, председатель общества натуралистов, 16 февраля 1827 г. на р. Аар наблюдал начало ледохода от поднимавшегося на поверхность донного льда в 20 м ниже моста в то время, когда выше моста от верховьев реки не было ледохода. Описанное явление продолжалось 2 часа. Температура воды на дне, откуда льдины поднимались, была 0° . От самого моста р. Аар быстро течет вниз по ложу с уклоном $20-30^{\circ}$, который в некоторых местах был сплошь покрыт камнями. Следующие наблюдения Нуги на р. Аар произвел в том же месте в 1829 г. 11 февраля р. Аар не имела признаков льда на всем протяжении; перед этим в течение многих дней температура воздуха колебалась от $+4^{\circ}$ до $+6^{\circ}\text{C}$. В ночь на 12 февраля температура воздуха быстро понизилась до -14° , и 12 февраля по реке началась сильный ледоход, хотя около берегов признаков поверхностного замерзания еще не было, следовательно нельзя было утверждать, что льдины отрывались от берегов. Выше места наблюдения опять не было ледохода; льдина всплывала ниже моста в месте, где появление их наблюдалось в 1827 г. К полудню ледяные острова начали образовываться посредине реки. 13 февраля таких островов было 23. Самые большие острова имели в диаметре около 33 м, выдерживая напор течения со скоростью 70 м в минуту. Этот поверхностный лед в виде головки гриба соединялся рыхлыми, желатинообразными массами губчатого льда, имевшими вид опрокинутых конусов, с дном реки на глубине от 3 до 4 м. Эти мягкие конуса из льда, похожего на лягушечью икру, легко протыкались палкой во всех направлениях.

М. Раггеац, профессор физики в Страсбурге, делал на Рейне наблюдения, доложенные Академии: он видел губчатый лед, поднимавшийся со дна реки при температуре воды 0° как на дне, так и на поверхности, при чем донный лед совершенно соответствовал другим льдинам, плывшим по реке. Он подверждал факт, что для избежания образования донного льда в ручье, питавшем одно вододействующее заведение, ежегодно убирался из ручья камни и прочие предметы, случайно попавшие в него.

М. Духател наблюдал донный лед на р. Сене в 1830 г.»

Из изложенного видно, что Араго обладал хорошим запасом сведений как от неискушенных в науке прибрежных жителей, так и от весьма авторитетных научных деятелей. Надо сказать, что и теперь у нас мало фактов, лучше поясняющих затронутую тему, быть может поэтому многие и продолжают отстаивать основные выводы Араго.

Владимиров считает, что теория Араго и Ге-Люссак одна и та же, так как по тому и другому лед на дне реки образуется

«от смерзания погружаемых силой течения ледяных нит между собою и с дном реки...».

Противоречие же между ними вышло потому, что Араго приравнивал образование донного льда к образованию кристаллов в соляном растворе, если в насыщенный раствор погружают какое-нибудь угловатое тело, с чем Ге-Люссак несогласен. С небольшими оговорками Владимиров принимает теорию Ге-Люссака и считает ее «блестящей».

Альтберг, наоборот, точку зрения Ге-Люссака считает не выдерживающей критики, теорию же Араго квалифицирует как более верную.

«На более верном пути стоит теория Араго, приписывающая огромную роль в этом явлении переохлаждению воды...

Араго, исходя из того, что в проточной воде вследствие перемешивания всех слоев температура воды на дне и на поверхности должна быть одинаковой, усматривает в образовании льда на выступах дна, корнях и водорослях тот же процесс, как и в случае кристаллизации пересыщенных растворов. Внесение в такой раствор постороннего тела с шероховатой поверхностью или острыми углами, как известно, ускоряет выделение кристаллов». (5)

Кто из перечисленных лиц стоит на более верном пути — сказать трудно. Нам думается, оба стоят на сомнительном пути, ибо 1) не найдено силы, которая погружает вниз более легкие частицы (лед) и в полной сохранности доставляет их ко дну и замораживает; 2) не указано причины, вследствие которой все силы переменяются, а вода переохлаждается.

Поскольку же эти главные процессы не обоснованы, сомнительное положение имеет и вся теория. Кроме того, теория противоречит действительным наблюдениям в природе. Так все лодочники, рыболовы, мельники утверждают, что льдины появляются со дна. По наблюдениям Демаре, нарастание льдин шло от нижних поверхностей. Кнайт видел большое количество ледяных нит в стоячей воде, где силы течения нет, а Нуги наблюдал ледоход от донного льда, когда нитки признаков поверхности льда еще не было. Наставать на справедливости теории, идущей вразрез с накопленными фактами, не приходится, что Араго и сделал. По сообщению Альтберга, «сам Араго не считает свое объяснение почерпывающим и отмечает, что высказанная им теория не объясняет, почему донный лед, раз образовавшись, растет только снизу, как наблюдал это Демаре».

7. Заключение по обзору теорий.

Свое изложение мы намеренно начали с рассмотрения современных, как бы наиболее совершенных теорий, и закончили первоначальными. Это делалось с целью установления подлинников тех неясностей, которых много накопилось в этом сравнительно сложном вопросе. Такой путь лежит перед каждым, желающим постигнуть какое-либо спорное положение

* не современности; пришлось по необходимости продать его и нам.

В ВУЗе, в полевой обстановке, в печати и в производственной литературе в СССР с недавних пор укрепилось определенное мнение, что общепризнанной или более верной теорией¹ по образованию донного льда является теория Альтберга. (20, 21, 14) Так написаны книги, так читаются многими лекции, касающиеся этого вопроса, под таким углом зрения ставятся полевые наблюдения. В указанных условиях выставлять какое-либо новое положение, отличное от общепринятого или общепризнанного, многими считается недопустимым.

Недавно Днепрострой выпустил книгу «Опыт строительства гидроэлектрических станций», (22) где в докладе М. В. Малышева приводится положение, что наиболее совершенную теорию построила группа ученых во главе с Барнесом. Это уже в корне меняет дело. Значит, надо ознакомиться и с его взглядами.

Углубляясь дальше, оказывается, что Барнес далеко не одинок, как это многим кажется, и о русской точке зрения за границей известно очень мало. Следовательно общепризнанной теорией ни ту, ни другую назвать нельзя. Всякому новому человеку остается либо искать более удовлетворительного объяснения спорных фактов, либо оставить вопрос открытым.

Разбираясь в накопившейся литературе, мы чем дальше, тем больше стали находить спорных мест и в такой степени неувязанных, что становится странно, как легко иногда способны люди принимать на веру совершенно голословные предложения.

Совершенно ясно и никто не отрицает, что 1) лед легче воды и 2) лед появляется из воды же от действия на нее холода (отрицательных температур).

Казалось бы, совершенно просто допустить: 1) так как поверхностный лед опускаться на дно не может, то на дне должен быть свой источник холода, благодаря чему там образуется свой лед (донный); 2) по нарушению связи с дном лед этот (донный), как более легкий, всплывает наверх.

Но вместо того чтобы допустить ясную постановку вопроса, исследователи приобретают массу всякого рода догадок, убеждая, что лед может опускаться на дно, что он даже там закоривается (зацепляется) за всякие подходящие предметы и затем уже с тяжелым грузом, в виде многопудовых цепей, камней и т. п. поднимается наверх.

Это одна группа исследователей (Ге-Люссак, Лохтин и др.).

Другие говорят то же самое, но в менее определенной форме. Например, В. Я. Альтберг в своей первой работе пишет: (1)

«Не имея возможности в своем предварительном сообщении входить в подробности этих и целого ряда других изысканий и наблюдений по этому вопросу, ² я ограничусь лишь приведенным здесь общим выводом, к которым пришли на основании наблюдений в прп. р. де... Во время образования этого (донного) льда температура воды одинакова на всех глубинах до самого дна реки».

Бездоказательная ссылка эта на одинаковость температур вначале приведена как постулат довольно осторожно.

Позднее (6) он пишет уже более определенно. В проточных водах, — говорит он, — «благодаря движению происходит непрерывное и

¹ Подчеркнуто (разрядкой) и вопросы поставлены здесь и в дальнейшем нами (Ф. Б.).

² Следует ссылка на некоторую литературу.

основательное перемешивание всех слоев, вследствие (?) чего температура воды в реках одинакова на всех глубинах. Это имеет место¹ во всякое время года и подтверждается (?) непосредственными наблюдениями, произведенными многократно в различные сезоны года и на различных реках.

«Отсюда следует, что хотя главные источники охлаждения воды также и в реках¹ действуют непосредственно лишь на верхний слой воды, однако в процессе охлаждения, благодаря только что упомянутому обстоятельству, участвуют в одинаковой степени все слои от поверхности до дна. Вследствие этого вода в реках на дне и на поверхности одновременно (?) достигает точки замерзания.

Таким характером охлаждения проточные воды обязаны и склони ч и т е л ь н о д в и ж е н и ю, перемешивающему все слои и выравнивающему их температуру».

Короче говоря, движение, или, — как теперь лнее выражаются, — турбулентность, приводит к основательному перемешиванию и охлаждению воды одновременно во всей массе.

Ну, а как же в стоячих водоемах? Ведь там движения нет.

Там должно быть волнение — говорят Альтберг.

Все это при ближайшем рассмотрении оказалось не достаточно обоснованным и допущенным иногда произвольно.

Из месячного цикла ежедневных семикратных наблюдений над температурой воды по вертикали р. Невы в июле месяце 1915 г. (23) устанавливается, что температура воды:

- 1) неодинакова по всей глубине;
- 2) в теплую погоду днем (13 часов) вода на поверхности теплее, чем ниже;
- 3) в 3 часа ночи, наоборот, вода на поверхности холоднее, чем ниже;
- 4) если день холодный (т. е. температура воздуха ниже, чем температура воды), то верхний слой воды и днем холоднее, чем внизу;
- 5) разность между температурой воды на поверхности и на глубине 2,50 м большей частью равна 0,20—0,30°, а в некоторых случаях достигает до 0,80—1,00°.

Наблюдения эти произведены на р. Неве летом у водоприемника ленинградского водопровода, неоднократно подвергавшегося закупорке донным льдом.

Специальные зимние наблюдения физика Н. В. Розе (1, 2 и 3 апреля 1915 г.) на 4 вертикалях этой же реки в том же районе также показали, что масса движущейся воды не обладает одинаковой температурой (23).

Что касается озер, то неравенство температур там наблюдается также резко, причем имеются данные не только общие, но и специально относящиеся к наблюдениям за донным льдом. (25) Из этих данных неоднократно усматривается, что температура придонных слоев воды отличается от поверхностной, причем в дни появления донного льда вода у дна холоднее, чем на поверх-

¹ Как и в стоячих водах.

ности (см. таблицу 1, составленную из материалов монографии (25 „Ладожское озеро как источник водоснабжения С.-Петербурга“).

ТАБЛИЦА 1.
Ладожское озеро.

Дата 1905 г.	Температура воды		Глубина воды в футах	Степень волнения ¹	Откуда взят материал по подлиннику
	на поверхности	у дна			
24—XI	+0,05°	+0,03°	45	2	Стр. 125 и 101
2—XII	+0,02°	0,00°		2	„ „ „ 105
	+0,05°	0,00°			
5—XII	+1,40°	+1,30°	13	1 и 0	„ 126 „ „
	+1,10°	+1,00°	18		
11—XII	0,00°	—0,01°	5	0 и 1	„ 127 „ „
16—XII	0,00°	—0,06°	1 1/2	1 и 0	„ „ „ „
19—XII	+0,05°	0,00°	30	1 и 0	„ 132 „ „
21—I	0,00°	—0,04°	1,3	Озеро покрывается льдом	

Таким образом в период донного ледообразования температура дна стоячего водоема при волнении и без него может быть ниже, чем на поверхности.

Возьмем теперь случаи волнения перед ледовыми процессами (табл. 2):

ТАБЛИЦА 2.

Дата 1905 г.	Температура воды в 7 ч. утра Общая глубина места = 12 футов			Степень волнения ¹	Откуда взят материал по подлиннику
	у поверхности	на глубине 6 футов	на глубине 9 футов		
Октябрь					
27	4,0	3,9	3,9	1—0	Стр. 97
28	3,5	3,4	3,4	1—2	„
29	3,8	3,7	3,6	1—0	„
30	3,8	3,7	3,6	0—1	„
31	3,7	3,6	3,5	1—4	„
После средней силы волнения 4 ноября (=4):					
Ноябрь					Стр. 101
5	3,2	3,2	3,0	2—1	„
6	2,9	2,9	2,6	0—3	„
Волнение средней и выше среднего (4 и 5):					
8	2,9	2,7	2,6	2	„
10	2,9	2,8	2,6	1	„
11	2,6	2,6	2,4	0	„
Наблюдения в 1 час дня:					
Декабрь					Стр. 105
5	1,4	—	1,2	1—0	„
6	1,0	—	1,0	1	„
9	0,8	—	0,7	1	„
10	1,0	—	0,7	1	„
11	0,6	—	0,6	0—1	„

¹ Волнение по девятибалльной системе, где: 9—ужасное волнение, 0—гладкая поверхность.

² В пропущенные даты наблюдений за температурой воды лет.

Таблица 2 показывает, что и при волнении о равенстве температур не может быть речи. Поэтому не ясно, откуда появилось право утверждать, что температура воды во всех слоях движущейся воды или стоячего водоема при волнении должна быть непременно одинаковой.

Судя по ходу мысли ряда уже цитированных авторов, оказывается, что в этом вопросе неверные понятия накопились постепенно путем неправильного понимания или цитирования материалов предшественников.

Так, Ячевский, подробно изучавший этот вопрос в 1904 г. относительно температур речных вод, говорит, что мы имеем чрезвычайное малое число наблюдений, а в особенности мало наблюдений, безукоризненно поставленных. (24)

Лохтин, ссылаясь на наблюдения Цонглинского, говорит, что температура воды оказалась на всем протяжении реки почти одинаковой. Сам же Цонглинский, принимая, что температура воды в определенном сечении реки во всех слоях ее одинакова, оговаривается об исключительных случаях, неточности термометров и пр.

В результате специально зимних наблюдений физика Розе в апреле 1915 г. оказалось, что температуру воды подо льдом в р. Неве нельзя считать одинаковой. Нельзя ее считать одинаковой и летом по результатам Ячевского за июль 1915 г., между тем В. Я. Альтберг в докладе от 14 декабря 1915 г. (1) уже без всяких оговорок утверждает, что температура воды одинакова на всех глубинах до самого дна реки.

Приняв без доказательств такое положение, можно, конечно, прийти к выводам, что вода, охлаждаясь сверху и будучи более легкой, чем нижние ее слои, (должна по неизвестной причине) опускаться вниз, чтобы основательно переохладить более теплые слои, затем опуститься (почему то) на самое дно и там уже начать кристаллизацию. Ничем иным такое произвольное допущение, как ссылкой на необыкновенную способность потока все перемешивать, подкрепить нельзя, а так как донный лед известен и в стоячих водоемах (морях, озерах и прудах), то в этом случае водоему приписывается волнение.

Ясно, что все это не доказательно и, следуя словам самого В. Я. Альтберга в отношении критики им теории Ге-Люссака (5), скажем, что

«как то, так и другое допущение не согласуются с тем, что известно из физики, и потому объяснение парадоксального появления льда на дне само становится настолько парадоксальным, что не выдерживает критики».

В отношении выводов Барнеса можно быть значительно короче, хоть там непонятого очень много.

1) Непонятно, почему нужно непременно и ясное небо и морозная ночь, когда для излучения в холодное мировое пространство открыта возможность и без сильного мороза.

2) Над рекой в очень холодное время всегда стоит пар, а это есть то же прикрытие. Следовательно влияние излучения в таких случаях по Барнесу должно отсутствовать, а значит открытое место на реке не должно быть фабрикой льда, т. е. выходит противоречие: чем холоднее в воздухе, тем меньше донного льда при прочих равных условиях.

3) Если бы излучение являлось основной причиной, то всякая даже не-

большая майна должна быть источником донного льда, тогда как ничего подобного в природе неизвестно.

4) Геологическое строение ложа реки или стоячего водоема по Барнесу не должно оказывать никакого значения на процесс донного ледообразования, тогда как донный лед встречается далеко не на всех грунтах, а преимущественно на каменистых.

5) Массовые наблюдения совершенно определенно подтверждают, что донный лед образуется и при ясном, и при пасмурном небе.

6) Личные наши опыты по замораживанию воды в стеклянных посудинах, открытых сверху, но с защищенным от охлаждения дном, никогда донного льда не давали, хотя и небо ясное было, и лед прозрачный, и мороз достаточный.

Таким образом ни теоретически, ни практически предположения Барнеса в отношении лучеиспускания не доказаны, а все выводы построены лишь на вере в невыясненную силу излучения.

В отношении Лохтина заслуживают внимания множество продуманных им деталей и добросовестность наблюдения за рекой, но неудачи с оборудованием (термометры), предвзятость мыслей, неправильное направление лабораторных работ — все вместе взятое привело к тому, что выводы оказались не по существу поставленной темы, ибо, наблюдая ледяной нанос (пронос льда), нельзя делать выводов о природе донного льда. Вопреки законам физики, Лохтин старался доказать, что лед, образующийся на поверхности, увлекается на дно, а как это происходит — неизвестно. Так он и пишет в заключение:¹

«Итак донного льда не существует (?). Частицы, из которых он состоит, образуются на открытых участках реки вследствие непосредственного прикосновения текучей воды с морозным воздухом. Каким именно путем образуются здесь эти микроскопические частички льда — это такая же тайна, как и всякая кристаллизация, которая здесь происходит. Входить в сущность этого остающегося для человека еще таинственным процесса не представляется возможным при современном состоянии научных знаний. И в данном случае это было бы даже излишне (?), так как здесь именно мы и приходим к той границе, которая подразделяет область явлений чистой физики от гидрологических приложений ее законов. По одну сторону от этой границы — процесс образования ледяного кристалла, как общего физического явления, по другую — увлечение ледяных кристаллов рекою в глубину (?) своих вод в виде своеобразного стремящегося подниматься вверх (?) наноса».

Чтонибудь одно: либо пусть этот ледяной нанос опускается вниз, либо вверх, но и то и другое заставляя проделывать его нельзя.

На остальных мотивировках не останавливаемся, так как сущность описываемого явления непонятна самому Лохтину.

В наблюдениях Понглицкого обращает внимание так называемое «доказательство» (?) температуры грунта на дне реки без цифровых показателей и непосредственных измерений. Путь этот также привел некоторых лиц к утверждениям неправильного свойства, и все на том

¹ Стр. 30 его книги. Вопросы и разрядка наши (Ф. В.)

основании, что на берегу, мол, грунт никогда не промерзает до той глубины, на которой находят донный лед. Дело в том, что этого и не требуется. Что такое промерзание грунта? Это — явление, связанное с замерзанием воды внутри изучаемой породы. Ну, а если почва совершенно сухая? Тогда замерзать нечему, ибо в составе почвы нет воды. Как же изменятся промерзаемость почвы в зависимости от насыщения ее влагой? Это проще всего охарактеризовать коэффициентом теплопроводности.

Обращаясь к источникам, находим, что теплопроводность почвы (K) очень сильно увеличивается в зависимости от содержания в ней влаги, а современные цифровые показатели дают вот какие цифры. (26)

кварцевый тонкий песок имеет	$K=0,05$	б. калорий $м/час.$, град.
речной песок влажностью 0% имеет	$K=0,28$	" " "
" " " " 6% " "	$K=0,97$	" " "
глинозем " " 14% " "	$K=2,00$	" " "
гранит даже без всякой влажности имеет	$K=2,70$ до 3,50	" " "

Следовательно далеко не безразлично, о какой почве, грунтах или породе идет речь и в каком состоянии они находятся. Нельзя поэтому судить о температуре придонных слоев изучаемого ложа реки на основании температурных наблюдений по другим грунтам на сухом берегу. А как известно, метеорологические станции у нас обычно выбирают для себя место посуше, подальше от воды, чтобы не затопило и не повредило льдом приборы, и никто не стремился постичь температурный режим придонных или хотя бы прибрежных слоев ложа реки.

Это неоправданное для прошлого упущение и служит камнем преткновения в вопросах охлаждения воды в реке или стоячем водоеме. Без этого немисливо постигнуть тайну образования донного льда, о которой почти у каждого из авторов идет своя особая речь, ибо немисливо увязать процесс охлаждения воды в естественном водоеме, не учтя всей совокупности факторов. Изолировать же процесс охлаждения воды от влияния ложа, по которому она течет, значит создавать не то явление, о котором идет речь.

Теория Г е-Л ю с с а к а давно опровергнута, но и он и А р а г о являются родоначальниками, можно сказать, всех последующих гипотез.

А л ь т б е р г видит причину образования донного льда в основном перемешивании всех слоев, но то же самое говорил А р а г о (стр. 34). В а р н е с видит причину охлаждения дна реки от излучения, самую же воду рассматривает как раствор молекулярного льда (тригидрол).¹ Но о растворе более просто говорил А р а г о, еще позднее (в 1892 г.) Рентген, а об излучении в 1835 г. Ф э р к х э р с о н. Все остальные исследователи с тем или иным оттенком очень часто излагают то же самое.

Таким образом навеянные вначале, не подтвержденные опытом и противоречащие физическим свойствам воды мысли дошли до нас в еще более запутанном виде, и совершенно понятные процессы оказались непонятными.

¹ См. подлинник: Н. В а г л е с, Ice Engineering, 1928 г., или М. В. М а л ы ш е в, Опыт строительства гидроэлектрических станций СССР, кн. 2, стр. 423.

II. Наши выводы, основанные на совокупности фактов.

1. Описание некоторых прежних наблюдений.

Как известно (16), лодочники, рыболовы, мельники утверждали это с длинным лет тому назад, что льдины появляются со дна. В 1780 г. член французской Академии Наук Демаре заметил, что ложе реки Деоме покрылось губчатым поздраватым льдом, причем нарастание льда шло от нижних поверхностей, касавшихся дна, а затем лед постепенно поднимался вверх, нарастая за ночь до 14—16 мм.

Браун в 1788 г. опубликовал несколько диссертаций, где устанавливает существование донного льда, которым подымались на поверхность корзины, якоря и камни.

Хуги в 1827 и 1829 гг. наблюдал на р. Аар начало ледохода от поднимавшегося на поверхность донного льда в то время, когда выше этого места не было ледохода и льдины не отрывались от берегов.

Во время своего путешествия по Сибири (31) в 1844 г. русский академик Мищенко наблюдал донный (или, как он говорит, грунтовый) лед, который играет главную роль при замерзании рек, так как поднимается со дна большими массами.

В 1880 г. доктор Рае наблюдал образование льда на дне некоторых рек в Канаде.

Hind в своем сообщении обществу канадских инженеров говорит, что донный лед наблюдался у берегов Ньюфаундленда на глубине около 21 м, причем со дна им поднимаются якоря, сети и другие предметы.

У нас в СССР подобные сведения также имеются.

По данным, полученным от рыбаков, (27) на Ладожском озере всплыла в 1889 г. цепь весом около 80 пуд. от судна, потерпевшего здесь крушение в предыдущем году.

Из докладов на съезде русских деятелей по водным путям (28) видно, что на Маринской системе со дна поднимаются разные железные предметы, в том числе фермы плотин, если толщина слоя льда так велика, что преодолевает сопротивление воды.

На р. Ангаре лед поднимает и перепосит на значительные расстояния камни, причем Щукин (17) утверждает, что в 1837 г. он видел на р. Уде близ г. Нижнеудинска камень около 1 куб. сажени,¹ принесенный донным льдом с верхних частей реки.

На то же самое явление указывает Владимирова, которому показывали на р. Свири в Сивовском пороге и Кукрушках камни не менее $\frac{1}{3}$ куб. саж., принесенные льдом.

На р. Оне и р. Волге (6) в 1928 г. в большом количестве всплыли с донным льдом телеграфные, телефонные и электрические кабели, проложенные по дну этих рек.

Не перечисляя множества других сообщений, приведем еще интересную выдержку (29) из старинного русского журнала «Друг просвещения» за 1806 г. (стр. 231) под заглавием: Чудесное явление в природе:

«Из Цилавы пишут, что 19 февраля при юго-восточном ветре, когда термометр показывал 33 градуса по Фаренгейту,² при Прусских берегах дени в море длиною в 6 тоавов, несколько лет

¹ Вес кубической сажени камня составляет около 1200—1500 пуд.

² Равно + 0,6° по Цельсию.

уже лежавшие на дне, на коих привязан был якорный поплавок, вдруг поднялись до самой поверхности воды и плавали. Кроме того, канат длиною в 30 тоазов, потонувший прошлым летом, также появился плавающим по морю паравне с водою. Наконец и большие камни со дна моря всплывали как дерево. Известие сие подписано г. Штейнком, капитаном Прусских Лоцманов при Балтийском море. Физикам надлежит изъяснить со всем своим глубокомыслием сие явление. А мы можем сказать только: не от подземного ли огня вспучено было все дно морское?? Бывшие около сего времени землетрясения в Европе делают сию догадку вероятною».

Уже из этого краткого перечня видно, что гипотезы, предпочитающие образование донного льда за счет погружения поверхностного льда или более легких частиц воды на глубину большей плотности, столь же мало обоснованы, сколь догадка, что тяжелые цепи и якоря в гавани Пиллау вспучило от подземного огня.

Нельзя подъем тяжелых предметов со дна объяснить ледяными паносами, нельзя объяснить его и переохлаждением воды в массе, особенно сверху, а следует допустить, что все это самостоятельно смерзается на дне. Тогда легче отыскать причину явления и станут понятны все пеленые процессы.

2. Условия нахождения льда на дне.

Обратимся к следующим данным:

К е h l (17) 11 февраля 1816 г. наблюдал на Рейне образование донного льда при однообразной температуре воды 0° во всех слоях от дна до поверхности и при температуре воздуха $= -12^{\circ}\text{C}$.

М. Н и g i 16 февраля 1827 г. наблюдал на р. Аар поднимающийся донный лед при температуре воды на дне, откуда льдины поднимались, равной 0° ; температура воздуха $= -14^{\circ}$. Ложе р. Аар во многих местах сплошь покрыто камнями.

М. Р а g e a u, профессор физики в Страсбурге, видел губчатый лед, поднимающийся со дна реки при температуре воды 0° как на дне, так и на поверхности. Он подтверждал факт, что для избежания образования донного льда из ручья, питавшего одно вододействующее заведение, ежегодно убирались камни и прочие предметы, случайно попавшие в него.

К и ф е р в 1887 г. в обществе канадских инженеров сообщил, что он переходил в брод мелкую реку, глубиной меньше фута, быстро протекавшую по каменистому грунту. При возвращении через 3 дня речка оказалась непроходимой от образовавшегося донного льда. Переправляясь через р. Св. Лаврентия против Монреаля в месте, где не было плавающего льда, Кифер видел, что вода, утратив свою прозрачность, имела свинцовый цвет, была мутна и густа от льда, невидимого с поверхности. Частицы льда величиной с штопальную иглу прикреплялись к веслу, располагаясь под прямым углом, точно железные опилки на магните. При таком состоянии реки, — продолжает Кифер, — вода, без сомнения, в наиболее глубоких местах наполнена до самого дна илами льда, густо и однообразно распределенными по всей ее массе и являющимися материалом образования донного льда.

Х е n ш о у (3 и 30) приводит наблюдения инженера и подрядчика Ф р а n k а Д ж и л ь б е р т а, приглашенного для углубления русла Галлопских порогов, указывающие на присутствие льда на дне. Джиль-

берт говорит, что лед покрывает дно густым губкообразным слоем, через который шест проходит с заметным препятствием.

Л е с а ж (3), описывая условия гидравлических работ на Монреальском акведуке выше Лэчинских порогов, наблюдал большие массы донного льда, прикрепившегося к камням. Повышение температуры воды отрывало всю массу льда от места ее закрепления.

М е р д ю к сообщает, что он никогда не видел донного льда на тинистом дне, а встречал его только в мелких быстрых реках с каменистым ложем.

П е т е р с о н описывает свои личные наблюдения над льдом с моста Канадской Тихоокеанской жел. дороги, когда на глубинах воды от 5 до 40 фут. дно реки было часто покрыто льдом толщиной в 2—3 фута. Для прохода в нем измерительного шеста требовалось усилие двух сильных мужчин.

По сообщению Б а р н е с а (3), донный лед растет так быстро, что в продолжение одной ночи он может достигнуть толщины 5 и более футов, причем становится настолько компактным, что зачастую бывает очень трудно пройти его наметкой. Он часто может свободно поднять со дна камни и валуны и много их уносит вниз по течению. По своей структуре донный лед бывает зернистый и пластичатый. Рассматриваемый сквозь чистую воду, он похож на сорную траву с длинными ветвями.

В отношении структуры донного льда в ирландском «Живописном обозрении р. Темзы», изданном от 1792 г., сообщается, что речники часто наблюдают ледяные плитки или бруски льда при их подъеме на поверхность; иногда в нижней стороне этих плиток бывали вкраплены камни и гравий, увлеченные со дна.

В русской литературе условия образования донного льда освещены также достаточно подробно.

М и д д е н д о р ф и О т е ф а н о в и ч (17) наблюдали отверждение льда на мерзлой почве в Сибири. На р. Таймыре, по словам Миддендорфа, береговой лед составлял, повидному, сплошную массу с льдом на дне реки. 14-го июня (год не указан) береговой и подводный лед начали отделяться от почвы. Большие льдины, как грозные чудовища, всплывали со дна среди грозного хлокотания, кружились одна возле другой, пока не приходили в равновесие, показывая при этом грунт и камни, поднятые с глубины. На р. Буреи (31) уже за несколько дней до начала образования донного льда Миддендорф нашел в дне реки на глубине 0,5 фута температуру равной 0°. Кажущаяся студенистость подводного льда потом при неизвестных обстоятельствах превращалась в настоящую ледяную массу, которая впрочем никогда, по мнению Миддендорфа, не переходит в чистый синеватый лед. При переходе вброд путешественники всегда были в опасности поскользнуться о донный лед и упасть в воду. Донный лед, по Миддендорфу, состоит из куч ледяных листов величиной до дюйма, сросших между собою во всевозможных направлениях.

В 1824 г. на р. Онон Ш у к л и н (17) видел, как во время наводнения с оглушительным шумом неслись по реке со льдом камни-кругляши до полуаршина в диаметре. Искры, наблюдаемые при ударах льдин друг о друга, объясняются присутствием в льдинах камней.

Ледяные острова образовывались на р. Ангаре в тех местах, где находились большие камни.

В своих заметках об образовании льда на дне сибирских рек Ш в а р ц указывает, что в Сибири даже реки с течением весьма тихим, напр.

р. Олекма, замерзают снизу, т. е. со дна, что, по его мнению, объясняется холодом почвы. При тщательных наблюдениях 6 декабря 1856 г. всл р. Ангара покрылась шугой, которая явно образовывалась на дне реки. Дно повсюду было покрыто льдом, забереги на много сажен вдали в реку, температура воды = $+0,80^{\circ}$.

Обручев сообщает, что структура донного льда р. Ангары представляет в воде ком полужидкой массы, в который легко засунуть руку, а по вынутии из воды масса эта значительно сокращается в объеме, замерзает и представляет ком белого, крупнозернистого оледенелого снега.

На р. Лене, по наблюдениям Стефановича, на илистом или песчаном грунте донный лед не растает. В быстрых горных притоках Чае, Чуе, Чечуе донный лед очень мешает рыболовам, законопачивая щели мержеж. Кроме того, нарастая между камнями, он настолько уменьшает емкость русла, что вода поднимается, и рыба благополучно проходит по-верх приспособлений.

С 13 по 23 октября 1897 г. уровень р. Бодайбо постепенно повысился на 36 вершков; нарастал и донный лед, сплошь заполняя дно устья реки, и сглаживая рельеф камней.

Л. Ячевский (24) в 1886 году (17—X), переправляясь на лодке через р. Ингоду, ниже впадения р. Онона, наблюдал, как в мелких прибрежных местах галька дна была закрыта серою массою донного льда, и на низовой части реки, защищаясь от шуги лодкою, молотком нащупывал и отрывал донный лед. Комья, всплывая на поверхность, независимо от губчатых масс давали и отдельные шугы.

Л. Л. Владимиров (17) наблюдал донный лед на небольшой речке Каноме (приток р. Свирь) и очень обстоятельно описал свои наблюдения на р. Свирь у т. Лодейного Поля.

На р. Неве это явление известно также давно, причем в 1904—1905 гг. инженеры Цюнгапиевский (7) и Лохтин (9) вопрос этот изучали специально и особо подробно.

Иж. Словиковский (17) наблюдал образование донного льда на р. Висле. Заведуя водоснабжением г. Варшавы, Словиковский имел затруднения от донного льда в работе машин, причем, когда температура воды падала до $+1/4^{\circ}$ R, то можно было, по его словам, предвидеть, что правильность хода машин будет нарушена после заката солнца. Нарастание ледяных кристаллов на дне реки происходит столь быстро, что иногда в течение суток образуется слой мягкой, мохоподобной ледяной массы, толщина которого доходила до 2 и более футов.

Массовые затруднения от донного льда и активное участие в изучение его, предпринятое Русским географическим обществом, (4) установили в этом вопросе некоторую систему. Было разослано 6375 специальных анкет ряду учреждений и отдельным лицам (включая Кавказ и Сибирь). Не все, правда, ответили на поставленные вопросы и не все анкеты достигли цели, но сведения от 570 корреспондентов показали, что донный лед известен во всех уголках Союза (рис. 4).

То обстоятельство, что донный лед нашли и на далеком и суровом севере, и на теплом юге, показывает, что не в суровости климата дело (вечная мерзлота, сильные морозы, продолжительная зима), так как донный лед имеется и на теплом юге, и на Кавказе, и в Туркестане, и не в паслу-чении (ясное небо) причина этого явления, так как половина случаев

(46% из 124 указаний) падает на пасмурное небо, а в каких то других обстоятельствах.

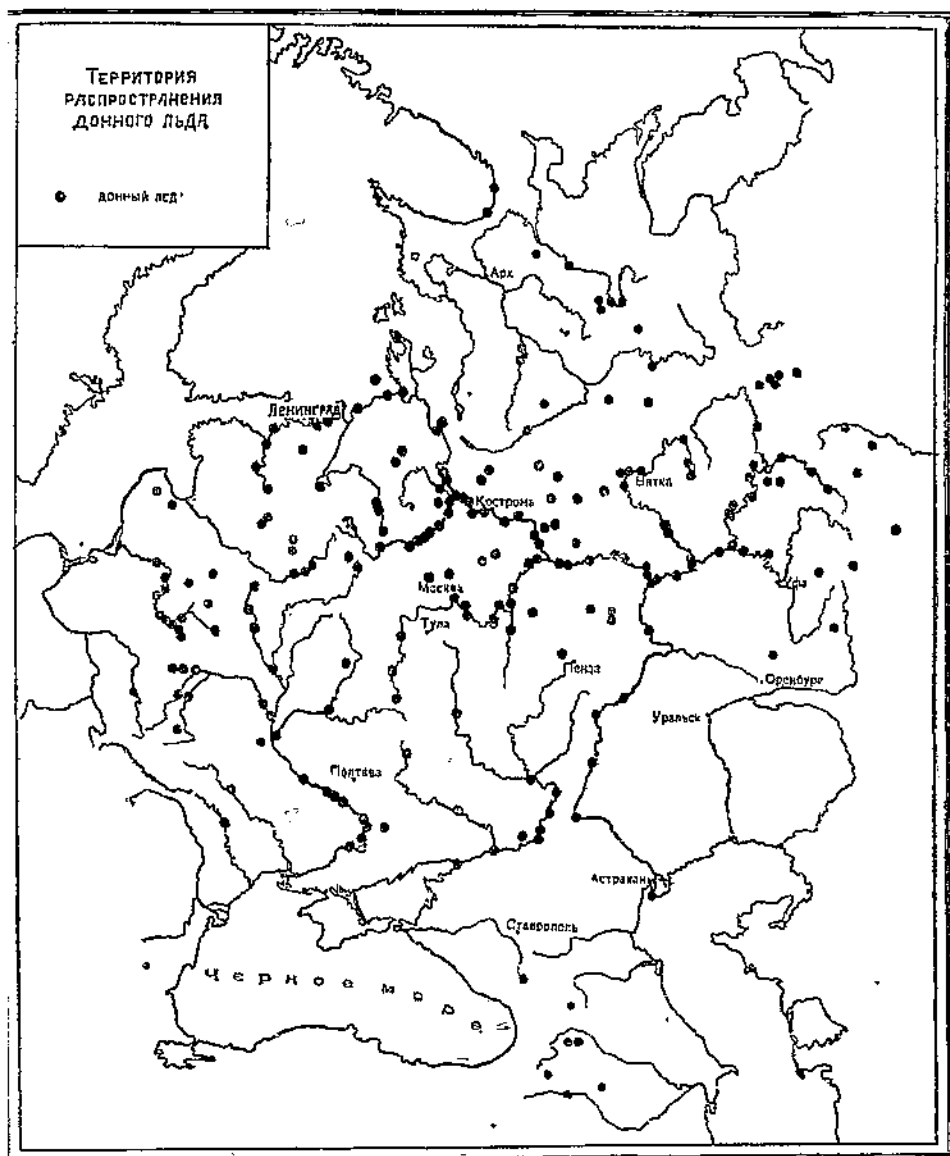


Рис. 4. Территория распространения донного льда.

Не продолжая изложения запаса накопленных характерных сведений (хотя многие из них чрезвычайно интересны), остановимся более детально на вопросе о температуре, ибо в нем лежит ключ многих недо-
разумений.

3. Более детальные сведения о температурном режиме воды и воздуха при появлении донного льда.

В прежнее время температуру воды точно измерять не всегда могли, но и сейчас в ряде случаев наблюдаются лишь случайные температуры без всякой системы: либо только поверхностные, либо только у берегов и т. п. Поэтому приходится ориентироваться комплексно и по полевому материалу, и по характеру явлений на реке.

Во-первых, важно отметить, что большая половина случаев (68% из 210 ответов) указывает на первое появление донного льда либо в тот же, либо на другой день после появления первых заберегов. Это заставляет сделать вывод, что донный лед формируется либо одновременно с заберегами, либо с некоторым опозданием. По другим ответам (21% из 210 случаев) видно, что первые признаки донного льда обнаруживаются спустя более или менее продолжительный промежуток времени после образования первых заберегов. Это заставляет допустить, что процесс охлаждения воды у берегов в этих случаях совершается скорее сверху (от воздуха), нежели снизу (со дна).

Дальше некоторые из наблюдателей отмечают по несколько раз появление заберегов, которые затем быстро исчезали; донный лед ими замечен лишь после последнего появления заберегов. Это заставляет предположить, что значительные морозы могут быстро охладить поверхностный слой воды у берегов, но они недостаточны, чтобы была охлаждена береговая зона грунта, поэтому забереги исчезали так же быстро, как и появились, ибо в массе вода еще теплая. После ряда перемежающихся морозов береговая зона воды и ложе реки охлаждаются сильнее, так что при достаточном морозе затем появляются и забереги, и донный лед.

Наши личные (Ф. Б.) наблюдения на р. Свири (32) и данные анкеты сходятся вполне: донный лед в теплой неподготовленной воде появляться не может как правило, а поверхностная пленка заберегов от крутых морозов появляется часто. В ноябре и декабре 1929 г. мы наблюдали и сфотографировали ряд заберегов на реке при температуре воды подо льдом и на фарватере значительно выше 0°.

Результаты наблюдений над температурой воды р. Свири на рабочем профиле Пиркинской гидрометрической станции за 24 ноября 1929 г. приведены в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3.

№ вертикалей	Расстояние от магистральной в м	Время наблюдений (часы-минуты)	Глубина реки в замеренных точках в м	Температура воды по С на поверхности		Состояние реки	Примечания
				I наблюд.	II наблюд.		
У левого берега	28		0,36			Забереги шир. = 1 м чисто	Температура воздуха по Ц.: в 7 час. = - 11,8° в 13 " = - 7,2°
1	38	9—30	0,90	0,7	0,6	Рябь, льда нет	Толщина снега на берегу по Пиркиным 1 см, а по метстанции Свирыстрой = 4 см
2	64	10—00	1,90	1,1	1,0		
3	86	10—13	5,45	1,2	1,1		
4	120	10—33	6,30	1,2	1,2		
5	154	10—40	6,35	1,2	1,2		
6	183	10—50	6,50	1,4	1,2		
7	222	11—00	6,05	1,2	1,2		
	256	11—10	6,10	1,2	1,1		

№ вертикалей	Расстояние от магистралей в м	Время наблюдений (часы-минуты)	Глубина реки в измеренных точках м	Температура воды по С на поверхности		Состояние реки	Примечания
				I наблюд.	II наблюд.		
У правого берега	278	11—23	4,80	1,2	1,1	Рябь, льда нет.	Забереги тем больше, чем больше заводь и тише течение.
	290	11—35	1,16	1,0	0,8		
	292	11—40	0,99		0,6		
	294	11—45	0,80		0,5		
	296	11—50	0,49		0,4		
	299	11—55	0,22		0,4		
	300	12—0	0,11			Забереги шир. = 1 м	Наблюдения явлены термометром № 184643 с погрешностью 0,2°, проверенным Гл. геофиз. обсерват.
"	300	7—00	0,11	0,3			

На следующий день морозы ослабли, температура же воды продолжала падать, причем наблюдения нами сделаны уже не только на поверхности, а по всей глубине вертикалей.

Результаты наблюдений над температурой воды на рабочем профиле Циркинской гидрометрической станции 25 ноября 1929 г. приведены в таблице 4.

ТАБЛИЦА 4.

№ вертикалей	Расстояние от магистралей в м	Время наблюдений час.-мин.	Глубина опускания термометра		Температура воды по С	Ветер	Примечания	
			Н	м				
5	188	10—10	у пов.	0,16	+ 0,9	Слаб. с левого берега	При всех наблюдениях: состояние погоды — пасмурно; состояние реки — рябь. Температура воздуха по Ц.: в 7 ч. = — 3,0° " 13 " = — 1,0° Толщина снега на берегу по метстанции Свирьстроа = 3 см Наблюдения произведены тем же термометром № 184643, что и накануне. Забереги ломаются и уплывают.	
"				0,2	+ 0,9			
				0,4	+ 0,8			
				0,6	+ 0,8			
				0,8	+ 0,8			
			у дна	6,10	+ 0,8			
6	222	11—14	у пов.	0,16	+ 0,9			Слаб. с левого берега
			0,2	+ 0,9				
			0,4	+ 0,8				
			0,6	+ 0,8				
			0,8	+ 0,8				
		у дна	5,60	+ 0,8				
7	256	12—45	у пов.	0,16	+ 0,8	Средн. с лев. берега		
			0,2	+ 0,8				
			0,4	+ 0,8				
			0,6	+ 0,8				
			0,8	+ 0,8				
		у дна	5,65	+ 0,9				
8	278	13—58	у пов.	0,16	+ 0,8			Средн. с лев. берега
			0,2	+ 0,8				
			0,4	+ 0,8				
			0,6	+ 0,8				
			0,8	+ 0,9				
		у дна	4,40	+ 0,8				
У прав. берега	300	7—00	у пов.	0,11	+ 0,6			

Отсюда ясно процесс охлаждения воды: сильными мороз в ночь с 23 на 24 ноября довольно быстро охладил прибрежный слой воды, в результате чего на поверхности появился прозрачный, тонкий кристаллический лед, толщиной 1—1,5 см. Так как продвижение холода по ложу реки запаздывает, то придонные слои не успели охладиться до нуля и температура воды у берега держится около $+0,3$ — $+0,4^{\circ}$, по чем дальше от берега и чем ближе к фарватеру, тем вода теплее.

Температурные измерения на следующий день показывают, что охлаждение по ложу реки продвинулось дальше, причем на срединных (фарватерных) вертикалях (5—6) вода сверху теплее, чем внизу. Очевидно элемент работы потока и удаленность срединных вертикалей от берегов гораздо более туго поддаются охлаждению, нежели береговые спокойные слои воды. Наконец еще очень важное обстоятельство подтверждается наблюдениями 25 ноября — это отсутствие резких изменений в наслоении температур (слабость температурного градиента). Другими словами, допущение возможности охлаждения потока снизу создает ясное представление о термической конвекции (перемешивании), вне связи с гидравлической потока, так как охлажденные внизу частицы воды, как более легкие, поднимаются вверх, а их место заступают более теплые и тяжелые частицы сверху. Получается вертикальное перемешивание воды, не вследствие движения воды, а от разности плотностей.

Дальше состояние реки носит неустойчивый характер, и только через месяц (25 декабря) температура воды у берегов приняла нулевую температуру. Поплыла шуга.¹ В полевой книжке отмечено:

«у берегов на камнях, больше с низовой части, в траве, гальке и мелком песочке лично брал в руку донный лед, имеющий в отдаленном виде мокрого снега, а вблизи и в руке он оказывается кристаллическими плитками».

На следующий день лед плывет еще гуще, кое-где уже установился ледостав, а 31 декабря — снова оттепель.

Чрезвычайно характерно, что, несмотря на наличие в дальнейшем продолжительной оттепели (с 31 декабря 1929 г. по 22 января 1930 г.) с температурой воздуха до $+1,5^{\circ}$, в прибрежной зоне воды под льдом потепления не чувствовалось.

Ничем иным, как влиянием почвы процесс объяснить нельзя и следовательно донный лед может не прекращать своего существования, даже при наличии поверхностного льда, что и подтверждается соответствующими данными (см. примечания к таблице 5).

За характерный период наблюдения приведены в табл. 5.

Достаточно подробное изложение перечисленных моментов позволяет не приводить похожих других описаний. Сделаем выводы. Они следующие:

1) Наличие разных температур воды у берегов и на срединных частях реки есть след-

¹ В своих работах мы пользовались следующей терминологией:

солом считаем снеговидную мягкую, слабую массу наподобие смоченной ваты, образовавшуюся от метели или падающего снега;

шугой имеем сморщенный донный или смешанный лед более плотного образования, находящийся на поверхности водоема;

донным льдом имеем лед, обнаруженный непосредственно на дне реки (по ложу реки).

ТАБЛИЦА 3.

Даты	Температура ¹ по С		Примечания
	воздуха	воды	
Январь			
3	-0,5	0,0	Плывет шуга целый день 0,1 ²
4	-1,6	0,0	7-00 ³ шуга плывет 0,2 10-00 " " 0,3 18-00 " " 0,4
5	+1,0	0,0	Идет снег. Плывет сало 0,5, слабое, вроде ваты и подбивается под лед.
6	-0,5	0,0	Плывет шуга 0,2
7	-0,2	0,0	" " 0,3
8	+1,6	0,0	" " 0,1
9	+1,0	0,0	Дождь. Плывет лед от заберегов.
10	+0,8	0,0	Утром идет снег хлопьями, тает. Плывет ³ очень крупный лед. В Пиркиничах ⁴ произошла подвижка льда.
11	0,0	0,0	Плывет лед 0,3 от заберегов. Изредка более крупные льдины.
12	-2,5	0,0	В связи с похолоданием снова поплыла шуга 0,1—0,2.
13	+0,5	0,0	В Пиркиничах по льду ходить опасно и толщина льда измеряется с трудом.
14	-1,0	0,0	Плывет шуга 0,1
15	0,0	0,0	" " 0,3
16	+1,5	0,0	Шуга 0,2. В Пиркиничах работать на реке, опасно, в виду тонкого льда (8—13 см) и разъедания его водой.
17	0,0	0,0	В 10-00 плывет тонкая шуга 0,1—0,2 и подбивается под лед. Более детально заснят план конца острова; на камнях мелких и крупных очень хорошо виден донный лед.
18	-4,5	0,0	Шуга плывет 0,3—0,4 и подбивается под лед.

Примечания к дате 18 января:

Ниже перемычек образовался ледяной островок („пятра“) ⁵ площадью со 8 × 4 м, который несмотря на значительные скорости, не сдвигается с места.

¹ Температура воздуха обозначена в 7 час. утра, а температура воды в 1 час. дня. Измерялась температура воды в 3—5 метрах от берега. Цена деления водного термометра = 0,2°.

² Видимое пространство реки, занятое шугой, оценивалось по десятибалльной системе: 1,0 — сплошное закрытие шугой, 0,0 — шуга не плывет совсем. В теплую и со слабыми морозами погоду шуга плывет исключительно донного происхождения; при сильных морозах — смесь донного и поверхностного образования.

³ Условные обозначения времени: 7 час. 00 мин. и т. д.

⁴ Село Пиркиничи расположено в 6 км ниже описываемого места наблюдений. Там 29 декабря 1929 г. установился ледостав, который не нарушался целую зиму, исключая описываемой подвижки 10 января.

⁵ Пятрой называется ледяной островок, закрепившийся на дне своим основанием и постепенно выросший до поверхности воды. Строение его аморфное, вида всплывшего донного льда (шуги).

Образцы шуги, пойманные в разных местах, имеют вкрапления камешков, песку, глины и ила.

Около профиля +100 м. выше оси плотины видно много вынырывающего из воды донного льда эдшей фабрикации, что и наблюдается у берегов. Метров на 25 выше профиля +100 и еще дальше проходящие льдины сильно разворачивают прибрежный донный лед, так что потом его плывет сразу значительно больше.

Метров на 100 выше профиля +1000, у берега обнаружен донный лед как при отсутствии течения, так и при скоростях порядка 0,20—0,30 м/сек. Лежит он на бедо-ватой глине, заиленной траве и на других смежных грунтах. Совершенно отчетливо видно, что кругом камня донным льдом покрыто все, а самый верх камня донным льдом не покрыт.

Метров на 200 выше профиля +1000, еще более ясно видно, что под тонким кристаллическим льдом за берегов поверх камней (их много здесь) донного льда нет, а со всех боков и на соседнем песчано-глинистом грунте донный лед лежит своего рода торосами, т. е. тонкими плиточками толщиной примерно 0,25 мм, вверх режущей гранью. Когда тронешь палкой донный лед, то он всплывает под поверхностный нехотя, т. е. удельный вес его близок к 1, но чуть-чуть меньше. Лед этот совершенно прозрачен и сливается с окружающим грунтом и только при очень близком и внимательном рассмотрении обнаружены подробности. Другими словами, прозрачность этого донного льда равна прозрачности воды и только при особых условиях освещения, или при взятии льда из воды, или если лед в виде шуги плывет и воз-вышается над уровнем воды, то эти плиточки становятся белыми, напоминающими издала снег.

Еще более внимательно рассматривая камни, видно, что с боков у них эти торосы расположены в различных направлениях вокруг и около. Вблизи берега полная тишина, течения нет и не было никакого затирания льда. Камни к земле примерзли, но оторвать можно. Глубина воды здесь от 0 у берега углубляется до 0,50 м на расстоянии одного метра от берега. Схематически зарисовка сделана на рис. 3.

ствие работы потока и запоздалого продвижения холода по периметру ложа реки.

2) В каждой точке, вертикали температура приблизительно одинакова вследствие хорошей конвекционной способности воды при охлаждении ее снизу.

3) Должна быть в достаточной степени, длительная предварительная подготовка реки, чтобы охладилась не только вода, но и ложе реки. В этих условиях малейшее понижение температуры воздуха чувствительно сказывается на появлении донного льда.

4) В условиях достаточного воздействия холода, ложе реки может быть в такой степени охлаждено, что лед на дне остается закрепленным, несмотря на потепление в воздухе.

4. Точные наблюдения за температурой воды в период появления донного льда.

Такие наблюдения известны из работы Б у б е н д е л (36) в 1892 г. на р. Эльбе у Гамбурга (табл. 6). Температура воды измерялась на двух горизонтах: на глубине 1 м от поверхности воды и вплотную у дна. Точность отсчетов по термометру = 0,01°.

В морозные дни наблюдаются следующие температуры (таблица 6):

ТАБЛИЦА 6.

Даты 1892 г.	Темпе- ратура воздуха ¹ С°	Температура воды ² С°		Сила (м/сек) и направле- ние ветра	Примечания
		на 1 м ниже по- верхности	вплотную у дна ³		
Январь					
16	— 7,4 — 7,2	+ 0,06 0,01	+ 0,01 0,01	ВЮВ 7,8 " 7,4	} На реке снежное са- ло. После полудня у берегов плывет шуга
17	— 5,9 — 6,1	— 0,08	— 0,02	" 6,8 В 6,4	
18	— 8,2 — 4,6	0,05 0,04	0,02 0,02	ВЮВ 10,5 " — 9,3	} У берегов узкая по- лоса заберегов
19	— 7,7 — 5,0	+ 0,02 0,13	+ 0,02 0,03	ВЮВ 6,4 В 10,7	
20	— 7,6 — 6,4	0,03 0,08	0,00 0,02	ВЮВ 7,4 В 6,8	} Утром кристаллы дон- ного льда покрывают трос опущенного тер- мометра и сетку. Пос- ле полудня на сетке льда меньше
21	— 9,6 — 10,7	0,00 0,08	0,00 0,00	ВЮВ 4,5 ВЮВ 6,2	
22	— 13,1 — 8,6	0,00 0,06	0,01 0,02	ЮЮВ 2,1 ЮЮВ 3,5	} Лед у берегов смер- зается
23	— 0,5 + 2,2	0,05 0,08	0,02 0,07	ЗСЗ 13,7 СЗ 5,8	
В дальнейшем наступило потепление и шуга появилась снова, 17—II.					
Февраль					
17	— 8,1 — 5,6	0,05 —	0,05 —	ЮЗ 4,1 ЮЗ 4,1	} Шуга
18	— 5,7 — 4,8	0,05 —	0,04 —	ЮЮЗ 7,6 ЮЮВ 12,8	
19	— 6,1 — 2,7	0,07 0,07	0,04 0,04	ЮЗ 8,2 ЮЮВ 3,1	} Шуги много, по бе- регам смерзается
20	— 1,6 + 1,1	0,04 0,07	0,02 0,04	В 11,7 ЮЗ 9,0	
					Дождь. Шуги мало.. Дождь. Шуги много

Дальше снова оттепель. После 26 февраля наблюдений нет.

Как видим, температуры воды у дна здесь, как пра-
вило, всегда ниже, чем у поверхности. Обратно, при
потеплении температурная стратификация ме-
няется, и более теплая вода Бубендеем наблюдалась у дна.

Данные о потеплении настолько характерны, что мы приводим также
их в таблице 7⁴.

¹ Температуры воздуха обозначают средние значения за период с 15 ч. предыдущего дня по
1 ч. утра последующего и с 9 ч. утра по 15 ч. того же дня.

² Температуры воды измерялись 2 раза в день: в 9 ч. утра и в 3 ч. дня.

³ Глубина реки в месте наблюдений составляет от 4 до 8 м в зависимости от перемены уровня
воды в реке.

⁴ Разделение таблиц по периодам погоды произвело намц. (Ф. Б.)

ТАБЛИЦА 7.

Даты 1992 г.	Темпе- ратура воздуха С°	Температура воды С°		Сила (м/сек) и направле- ние ветра	Примечания
		на 1 м ниже по- верхности	высотную у дна		
Переменяющийся период					
Январь					
24	— 0,6 + 0,5	— + 0,04	— + 0,02	ЮВ 4,5 ЗЮЗ 4,5	Ледоход
25	+ 1,2 — 0,8	0,04 0,05	0,03 0,06	" 3,3 " 5,3	"
Теплая погода					
26	+ 1,4 + 1,2	0,06 0,07	0,06 0,06	СЗ 6,0 ЗСЗ 4,7	"
27	+ 1,0 + 1,8	0,06 —	0,07 —	ЮЗ 5,6 ЮЮЗ 6,0	"
28	+ 3,0 + 3,9	0,07 —	0,08 —	СЗ 9,9 З ЮЗ 9,3	Дождь, льда плывет меньше
29	+ 3,5 + 6,1	0,08 —	0,11 —	ЗСЗ 15,4 " 17,6	" много
30	+ 7,0 + 8,2	0,10 —	0,15 —	З 13,2 " 15,8	Река покрыта плыву- щим льдом
31	+ 5,0 + 4,7	— —	— —	ЗСЗ 12,1 СЗ 16,1	—
Февраль					
1	+ 2,2 + 5,2	0,06 —	0,07 —	ЮЮЗ 8,6 " 9,7	Река покрыта плыву- щим льдом
2	+ 5,0 + 4,1	0,32 —	0,41 —	ЮЗ 12,6 ЮЮЗ 20,2	—
3	+ 1,8 + 2,7	0,14 —	0,15 —	" 10,7 ЗЮЗ 9,1	Льда плывет меньше
4	+ 0,9 + 1,8	0,34 —	0,40 —	ССЗ 5,8 ЗСЗ 5,6	Единичные куски плы- вущего льда
5	+ 0,9 + 2,3	0,68 —	0,72 —	ЗЮЗ 9,3 " 6,0	Плывущего льда нет
6	+ 1,9 + 3,3	— —	— —	З 7,8 ЗСЗ 4,7	Река свободна от льда
7	+ 1,5 + 3,3	— —	— —	ЗСЗ 6,0 ЗЮЗ 2,1	"
8	+ 1,6 + 0,8	1,25 —	1,30 —	ВЮВ, 5,6 В 6,0	"
Кратковременное похолодание					
9	— 1,9 — 1,6	— —	— —	С 3,7 ССЗ 1,8	"
10	— 1,3 — 0,6	0,91 —	0,94 —	ЮЮЗ 11,3 " 12,2	Снегопад

Даты 1892 г.	Темпе- ратура воздуха С°	Температура воды С°		Сила (м/сек) и направле- ние ветра		Примечания
		на 1 м. ниже по- верхности	вплотную у дна			
Теплая погода						
Февраль						
11	+ 2,1 + 4,6	0,90 —	0,91 —	ЗСЗ 8,4 З 6,8		Льда нет
12	+ 5,3 + 5,5	1,36 —	1,41 —	СЗ 16,1 ЗСЗ 17,1		"
13	+ 2,8 + 2,6	1,72 —	1,74 —	СЗ 9,7 ССЗ 11,7		"
14	+ 0,4 + 1,1	— —	— —	СЗ 6,6 ССЗ 8,2		"
Похолодание						
15	— 1,6 — 2,4	1,08 —	1,11 —	С 2,9 ССВ 5,8		"
16	— 4,3 — 5,8	0,54 —	0,59 —	" 5,8 " 7,0		"

Из обеих таблиц видно, что температура воды у дна, закономерно отражает температуру воздуха с некоторым запозданием. В перемежающийся период — напластование температур переходное. Вообще же явно наблюдается следующее соотношение: когда в воздухе теплая погода, теплее становится и у дна; когда температура воздуха опускается ниже 0°, у дна становится холоднее, чем на поверхности воды.

5. Донный лед в массе воды с положительной температурой.

Очевидно лед появляется в реке или в стоячем водоеме только тогда, когда температура воды пресной близка к 0°, а температура воды соленой несколько ниже 0°. В зависимости от химического состава воды температура ледообразования также варьирует. Незвестны случаи, чтобы лед образовывался из воды, температура которой выше 0°, но известны случаи, когда в массе вода имеет положительную температуру, тем не менее лед по реке плывет. Объясняется это очень просто: такой лед не образуется из данной воды положительной температуры, а плывут его запасы из других мест.

Однако не только в этом дело. Имеются совершенно определенные наблюдения, что лед находился на дне реки в то время, когда вода в массе имела положительную температуру. Из перечисленных ранее примеров (стр. 44) и литературы (35 и 33) мы знаем такие случаи на Ангаре, которые наблюдали Шварц и Шукин, а позднее Грауман, на

р. Эмбе в 1892 г., Бубендей (24 и 36),¹ на р. Неве (4)² на Приладожском канале (7).³

В ряде трудов есть очень хорошие описания подобного рода явлений, но далеко не все из авторов в состоянии приводить цифровые данные. К числу последних относятся, например, такого рода поучительные описания (28):⁴

I «Дело было в 1884 г. осенью на р. Енисее около Милусинска. Погода стояла целый день светлая, холодная, но не морозная; под вечер солнце скрылось за окружающие горы. Подъехав в лодке к Тагарскому острову, где р. Енисей разделяется на рукава, дно же каменистое, он вместе с несколькими сопровождающими его лицами, людьми интеллигентными, заметил характерное образование льда на камнях. Комки льда отрывались от времени до времени, всплывали на поверхность и тут же на глазах таяли. Это так заинтересовало всех присутствовавших, что они долго оставались, наблюдая необыкновенное явление».

II «Я хотел сказать несколько слов по поводу наблюдений, произведенных на р. Нарове.

В этом году (1903) в начале декабря, когда наступили сильные морозы, мы делали промеры глубин в порожистой части и встретились с таким явлением: ледоход по реке уже прекратился и весь участок покрылся льдом. В порожистой части плыло очень мало сала. Между тем промеры показывали, что известковая плита, образующая дно реки, покрыта салом,⁵ а намерзший на ней лед — рыхлого строения как уноминалось здесь, и довольно большой толщины.

Было замечено нами и такое явление. Против того места, где жила наша партия изыскателей, в русле реки, в порожистой части, находится большой камень. Этот камень на поверхности воды не обмерз. Между тем при промерах оказалось, что основание его ниже уровня воды покрыто также гущею игольчатого льда. Когда наступила оттепель, то со дна реки поднялся диск льда, окружавший внизу камень, который имеет коническую форму. Этот диск оставившая наверху и представлял как бы кольцо, вертевшееся около вершины камня, пока диск не разорвался и не унесся вниз».

Так докладывали на съезде русских деятелей по водным путям в 1904 г. инж. Б а л и ц к и й (I) про известные ему наблюдения инж. В е н ц к о в с к о г о и инж. К е н и г (II) — про свои наблюдения на р. Нарове.

Совершенно очевидно, что лед не мог бы держаться на дне, если бы последнее не было как следует подморожено; иначе лед снизу оторвется весь сразу и дальнейшее всплывание его прекратится. В случае диска из льда на камне, который обмерз только снизу — это видно особенно наглядно. Кроме того всплывание льда со дна наблюдается не несколько мгновений и даже не несколько часов, а иногда несколько суток.

Путем многочисленных расспросов местного населения на р. Свири

¹ Стр. 74 труда Нечевского и стр. 4—6 статьи Бубендея.

² Стр. 332 трудов коммисии.

³ Стр. 28 труда Пюгглицкого.

⁴ Стр. 43 и 47 дополнений к трудам X съезда русских деятелей по водным путям.

⁵ Под салом здесь подразумевается донный лед. (Ф. В.)

и личных наблюдений мы убедились, что всплывание донного льда может иметь место несколько дней подряд, причем ледоход от него бывает иногда даже гуще, чем при морозах. Местные жители так и считают: когда после холодов наступит потепление, шуга поплывет сильно. Так как верхние слои воды в этих условиях непрерывно отепляются, то ценности шуги в такое время нет; она имеет вид размягченного, скомканного, помятого снега. В некоторых же случаях попадаются и затвердевшие плиточки льда.

На р. Ангаре (35) в условиях теплой воды и низких температур воздуха лед на дне встречается не только аморфный, но и плотный, к чему настолько привыкли и непытали его, что на перевозках употребляют окованные железом и оканчивающиеся острием шесты, чтобы они при втыкании не скользили по льду.

Итак вывод:

Несмотря на то, что лед из теплой воды образоваться не может, лед на дне встречается, и значительные запасы его расходуются постепенно при продолжительной температуре воды в общей массе. Эти запасы расходуются не мгновенно, а длительно, что указывает на значительную смерзаемость и сцепление льда с дном. Такое положение возможно только тогда, если ложе реки само в достаточной мере сильно для этого охлаждено.

6. Причины появления холода на дне водоема.

Какие же условия благоприятствуют продвижению холода по дну?

На этот вопрос ответим следующим образом:

1. Ложе реки должно состоять из пород хорошей теплопроводности.
2. Ложе реки должно быть хорошо увлажнено, потому что это сильно повышает коэффициент теплопроводности.
3. Процесс охлаждения должен иметь длительную первоначальную подготовку, потому что заряды холода извне не могут сразу преодолеть сопротивление теплых подводных частей ложа реки.
4. Земля по берегам должна быть как можно больше оголена, так как защитное действие снега сильно затрудняет, а иногда и вовсе парализует продвижение холода внутрь.

Влияние этих условий совершенно явственно заметно во всех случаях образования донного льда.

Обратимся к пояснительным примерам.

Все теоретики и наблюдатели утверждают, что донный лед особо интенсивно образуется на камнях. Иначе и не могло быть, так как каменное ложе реки обладает исключительно хорошим коэффициентом теплопроводности ($2,50-3,50 \frac{\text{б. кал.}}{\text{м. час. } ^\circ\text{C}}$). Породы глинистые, заплывные, песчаные обладают гораздо более пониженным коэффициентом теплопроводности, поэтому и донный лед на них бывает гораздо реже.

Об увлажнении ложа водоема говорить не приходится, так как оно постоянно находится в таком состоянии. Для прибрежной зоны грунта (выше уреза воды) увлажнение осуществляется выпадением дождей или таянием снега.

Длительная подготовка, перемежающиеся оттепели и отсутствие снегового покрова всегда сопутствуют характерным случаям донного ледообразования, что видно не только из наших наблюдений, но и из всех других. Разница лишь та, что мы следили за этими факторами, а другие ими пренебрегали и даже не включали иногда в описание. Пришлось восстанавливать обстановку условий ледообразования по данным обсерватории и отдельным фразам. Приведем несколько случаев.

В ночь с 13 на 14 декабря 1914 г. (стиль новый) закупорился бывший с.-петербургский водопровод. Оставшаяся на несколько дней без воды бывшая столица приняла ряд мер для обследования этого явления. Показания водолазов (23) установили, что в глубоких местах р. Невы донный лед наблюдался на две слои около аршина. Ход погоды в точности напоминает изложенное выше: в октябре — первые заморозки, в начале, середине и конце ноября — их повторение, затем снова оттепель, 2 декабря слабый мороз ($t_{\min} = -2,3^\circ$), 12 и 13 декабря чуть сильнее ($t_{\min} = -4,0^\circ$ и $-5,5^\circ$), и в ночь на 14 декабря — полная закупорка ($t_{\min} = -5,5^\circ$). Увлажнение почвы обильное, причем 10 декабря дождь 9,5 мм. Снега совершенно нет.

В ночь с 11 на 12 декабря 1928 г. из-за полной забивки решеток остановилась Волховская гидроустановка (22 и 37). Анализ этой аварии подтверждает то же самое: в октябре — первые заморозки, в ноябре — два периода заморозков, затем оттепель и при очень слабой отрицательной температуре воздуха (11—XII $t_{\text{ср}} = -1,7^\circ$; 12—XII $t_{\text{ср}} = -3,1^\circ$) — полная закупорка решеток. Снега совершенно не было.¹

В аналогичных условиях закупориваются решетки у водоподводящих сооружений закавказских гидроустановок, о чем сведения собраны мною лично при поездке туда в январе 1931 г. Ряд неопубликованных данных мной получен от изыскательских организаций Урала, а также от моих слушателей на докладах.

Несколько вкрапленных, или как бы случайно оброненных фраз об отсутствии снега, оттепелих и неустойчивой погоде имеется и у авторов, удивлявшихся этому явлению. Приводим часть их.

Преподаватель физики в г. Нижнеудинске Н. Покровский (38) отметил, что на р. Уде конец осени и начало зимы были теплые, а донный лед все же образовался.

Л. Л. Владимиров (17 и 18) наблюдал за рр. Свирью и Каномой в 1902 г. Описывая особо интенсивные случаи, он сообщает, что ледоход и донный лед появился при отсутствии снега по берегам.

М. В. Малышев (22), описывая условия затруднений от донного льда в Закавказье (ЗАГЭС), отмечает, что в 1928—1929 гг., несмотря на то, что зима была исключительно холодной, образование пути было вялое. Явление это совершенно понятно, так как в эту зиму было очень много снега (по его словам: «зима была исключительно холодная, ... с обильным снегопадом»).

Наконец, уже одно то обстоятельство, что донный лед в изобилии находится в южных частях СССР, на Кавказе и в Туркестане, где основная характеристика климата зимой — перемежающиеся оттепели, становится совершенно ясно, что приведенные факторы очень важны. Следовательно климат района и геологию русла игнорировать никак нельзя.

¹ Сообщено автору лично инж. Г. К. Поттером. Кроме того отсутствие снега понятно и потому, что за сутки до аварии была оттепель (9/XII $t_{\text{ср}} = +0,6^\circ$).

7. Условия, благоприятствующие появлению льда на дне.

На основании уже изложенного достаточно их только перечислить:

1. Ложе реки должно состоять из пород хорошей теплопроводности, т. е. пород каменных: гранитов, песчаников, известняков и т. п. Чем меньше теплопроводность составляющих ложе реки пород, тем труднее образоваться донному льду.

2. Прибрежная береговая зона должна быть достаточно увлажнена, чтобы поры грунта вместо дурного проводника тепла (воздуха) были замещены более хорошим (водой).¹

3. Земля по берегам должна быть возможно меньше покрыта снегом, так как наличие сильно его затрудняет проникновение холода в грунт.

4. Должна быть длительная предварительная подготовка в охлаждении почвы и воды, чтобы заряды холода извне смогли быстрее преодолевать сопротивление теплых частей водоема.

5. Должны быть достаточные отрицательные температуры воздуха и их продолжительность.

6. Должно быть возможно больше непокрытого поверхностным льдом пространства, чтобы совместное действие охлаждения воды сверху и подвода холода по донному ложу реки скорее охладило воду в массе.

7. Должно быть возможно более продолжительное действие ветра, чтобы процесс охлаждения верхних слоев водоема совершался более надежно. Следует отметить, однако, что наличие ветра иногда затрудняет ледообразование, так как уже охлажденная поверхностная и прибрежная вода может перемешиваться с глубокими запасами теплой воды и таким образом появление обоих видов льда оттягивается, либо становится совершенно невозможным (в озерах и местах глубоких, с большими запасами теплой воды).

8. Работа потока должна быть возможно меньше, так как тогда не будет за этот счет отенления воды.

9. Должно быть возможно меньше запасов грунтовых или иного происхождения теплых вод.

Отсюда ясно, что наблюдать явления, бороться с донным льдом и предупреждать опасность от него надо комплексно, с учетом многих факторов, а не односторонне, как это практиковалось в прошлом.

Способы борьбы с донным льдом в соответствии с нашими взглядами мы будем излагать особо.

Март 1931 г

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.

(В порядке упоминания).

1. В. И. Альтберг. Исследованию донного льда в лабораторных и в природных условиях, «Геофизический сборник», т. III, вып. I, 1916 г. и вып. II, 1917.

¹ Коэффициент теплопроводности воды в 25 раз больше, чем воздуха. И. Д. Краевич Курс физики, 1917 г., стр. 219. Нэтте, Справочная книга, 1909 г., ч. I, стр. 294 и др.

2. Д. А. Лачинов, Основы метеорологии и климатологии, СПб, 1895. на стр. 58.
3. H. Vagne, Ice Engineering, 1928.
4. Отчет комиссии по изучению донного льда, «Изв. П. Р.Г.О.», т. XLI, СПб., 1905.
5. В. Я. Альтберг, Новое о природе донного льда, «Изв. Рос. Гидр. Инст.», № 1 — 3, 1931.
6. В. Я. Альтберг, Донный лед и перспективы борьбы с ним, «Климат и погода», № 6 (21), № 6 (1928).
7. М. Ф. Ционглинский, О наблюдениях над замерзанием р. Невы и исследованных заборов на ней, СПб, 1905.
8. В. Я. Альтберг, О донном льде, «Природа», № 1 — 3, Л. 1925.
9. В. М. Лохтин, Ледяной напос и зимние затопы на р. Неве, СПб, 1906.
10. А. А. Гельфер, Озеро Пя́зьмень и его пойма, издание Волховстроя.
11. М. Сумгин, Вечная мерзлота почвы в пределах СССР. 1917.
12. З. Г. Лоске, Сельскохозяйственная метеорология, 1913.
13. Г. А. С. Пауцене основы культуры болот, 1930.
14. Е. П. Ногансон, Зимний режим р. Волхова и оз. Пя́зьмень, 1927.
15. Gai-Lussac, Annales de Chimie et de Physique, 1836.
16. A. G. Vago, Notices scientifiques, Annuaire du Bureau de Longitudes, 1833.
- 17. Л. Л. Владимиров, Образование льда на дне рек, явления ледохода от всплывания донного льда, СПб, 1904.
18. Л. Л. Владимиров, Новые понятия о процессах замерзания рек и об образовании зимних затопов льда, СПб. 1907.
19. Л. Л. Владимиров, О возможности удлинить период навигации и предупредить образование подводных затопов льда на р. Неве, СПб, 1904.
20. М. А. Велikanов, Гидрология суши, М. 1925.
21. С. А. Советов, Курс общей гидрологии, Л. 1929.
22. М. В. Мамышев, Особые виды льда (донный и луга) и способы борьбы с ними в гидроэлектрических станциях, «Опыт строительства гидроэлектрических станций СССР», кн. 2, М. 1930.
23. Л. А. Ячевский, Материалы по вопросу об изучении условий образования донного льда, «Гидрох. вестн.», № 4, 1915.
24. Л. А. Ячевский, К вопросу об образовании речного льда и его влиянии на скульптуру берегов, СПб, 1904.
25. Ладокское озеро как источник водоснабжения г. С.-Петербурга, Часть физико-географическая, 1910.
26. А. М. Ондъс, Техническая физика, 1930.
27. А. А. Куницынский, Донный лед, его роль и значение в водном деле, «Водное дело», № 2, 1907.
28. Труды X съезда русских деятелей по водным путям и дополнения к ним, СПб, 1905.
29. «Друг просвещения», июль 1806.
30. Henschaу Geo H., The Natural of frazil and the Prevention of ist action of causing, Transactions of the Canadian society of Civil Engineering, 1887.
31. А. Миддендорф, Путешествие на Север и Восток Сибири, СПб, 1862, т. III, ч. I.
32. Ф. П. Бидиц, Зимний режим р. Свири у перемычек и меры борьбы с ним при ледоходе, 1930 г. (рукопись, в Службе Оповещений Сви́рьстроя).
33. Л. Ф. Грауман, К вопросу об образовании донного льда и некоторые указания о пользовании водою для гидравлических двигателей, Причпы декабрьских наводнений г. Иркутска, «Золото и платина», 1907, № 20.
34. В. А. Обручев, Наши сведения об образовании Ангарского и Байкальского льда, «Изв. Вост. Сиб. Отд. ПРГО», т. XXII, № 4, 1892.
35. Шуккин, Образование льда на дне р. Ангары и других рек Восточной Сибири, «Отечественные записки», СПб., 1846.
36. I. F. Bubeney, Die Temperatur des fliessenden Wassers zur Zeit der Eisbildung, «Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie», 1894, H. 1.
37. Г. К. Лоттер и В. Н. Вальман, Донный лед на р. Волхове в зиму 1928/29 г., «Материалы по исследованию р. Волхова и его бассейна, вып. XXIV, 1929.
38. Н. Покровский, На наблюдениях над донным льдом, «Климат и погода», № 2 (17), стр. 43—46. Год в отписке не упомянут, повидимому, 1927 г.

К ВОПРОСУ О ПРОПУСКЕ ЛЬДА ЧЕРЕЗ ПЛОТИНЫ.

1. Назначение ширины и разбивка в плане ледопропускных отверстий.

При проектировании речных сооружений на реках со значительным ледоходом постоянно встают вопросы о допустимости устройства раздельных быков на водосливе с суммарной шириной ледопропускного фронта, необходимой для беззаторного пропуска льда, а также с минимально допустимой шириной отдельных пролетов сооружений. То или иное разрешение вопроса о суммарной величине водосбросного фронта обычно оказывает решающее влияние на расположение сооружения.

Особенное значение этот вопрос имеет для речных гидростанций, где в случае признания необходимости устройства значительной ширины ледосбросного фронта иногда приходится располагать здание станции под углом к оси плотины. Это обычно оказывается менее выгодным, чем прямолинейное расположение как по условиям экономическим, так и эксплуатационным (неудобный выход воды из здания), или образовывать между берегом и зданием «карман», который необходимо защищать ото льда. Во многих случаях при устройстве плотины значительной длины приходилось идти на расположение здания станции, частично или полностью в искусственной выемке берега, что также удорожает сооружение.

То или иное разрешение вопроса о минимально допустимой ширине отдельных пролетов часто оказывает решающее влияние на конструкцию сооружения.

Большинство авторитетных гидротехников Сев. Америки считали, что при устройстве плотины на реках со значительным ледоходом единственным решением, гарантирующим беззаторный пропуск льда, является устройство глухих водосливов, т. е. водосливов, не разделенных быками и соответственно не имеющих затворов на гребне (за исключением узких рек, где ширина пролета плотины может быть примерно равна ширине реки выше плотины).¹ В соответствии с этим большинство плотин в Сев. Америке, построенные до 1908—1912 гг., имеют глухие водосливы.

Находясь, повидимому, под влиянием старой американской «школы» и опасаясь весьма тяжелого ледохода и возможностей затворов на плотине, вследствие устройства раздельных быков, строители Волховской гидростанции также применили глухой водослив длиной 210 м, что со-

¹ См. литературу в конце статьи.

ставляет приблизительно 84% от ширины по зеркалу воды в верхнем бьефе сооружения вблизи плотины. Толщина переливающегося слоя во время весеннего паводка на Волховской плотине равна 2—2,25 м.

Как показывает шестилетний опыт эксплуатации Волховской плотины, опасения весьма тяжелого ледохода не оправдались, так как к плотине подходит сильно размягченный лед, ломающийся у начала кривой спада водослива. Размеры отдельных льдин в плане невелики. Отдельные глыбы рыхлого льда толщиной 4—4,5 м задерживаются на гребне плотины вследствие недостатка глубины воды, но быстро ломаются и сбрасываются в нижний бьеф.

В связи с этим устройство на Волхове глухого водослива в настоящее время является общепризнанной ошибкой, вполне понятной, учитывая, что Волховская гидростанция была первым опытом крупного гидростроительства в СССР. В строящейся в настоящее время гидростанции на р. Свири, расположенной вблизи от Волховской гидростанции и близкой к ней по условиям и типу, уже учтен изложенный опыт эксплуатации Волховской станции; плотина на Свири устроена со щитами на гребне (стр. 64).

Как известно, основными недостатками глухого водослива являются:

1) Повышение горизонта верхнего бьефа над нормальным подпорным при пропуске паводка, в связи с чем должны быть повышены остальные сооружения, а также увеличена (иногда очень значительно) отчуждаемая площадь выше плотины, подвергающаяся затоплению.

При наличии затворов на гребне водослива можно пропускать паводок, не повышая горизонта верхнего бьефа (или повышая его незначительно), в связи с чем часто сказывается выгодным поднять нормальный подпорный горизонт и тем самым увеличить напор и соответственно выработку гидростанции. Так, например, при повышении нормального подпорного горизонта Волховской гидростанции на 2,25 м, что свободно можно было бы сделать при отказе от глухого водослива и устройстве промежуточных бычков и затворов на гребне, напор и выработка гидростанции увеличилась бы на 18—20%.

2) Устройство же донных водоспусков, рассчитанных на большой расход, обычно весьма осложняет и удорожает сооружение и все равно не позволяет пропустить ледоход.

Вследствие изложенных недостатков глухих водосливов при развитии крупного гидроэнергетического строительства как в Сев. Америке (с 1910 г.), так и в Европе (несколько ранее) во многих случаях на реках со значительным ледоходом стали отказываться от устройства глухих водосливов, причем опыт эксплуатации показывает полную благополучность работы этих сооружений. Ниже приводится ряд примеров подобных сооружений.

Практике неизвестны случаи затворов льда на гребне плотины, происходящие вследствие сжатия сечения разделными быками.

В настоящее время может считаться установленным, что устройство глухих водосливных плотин при гидростанциях может быть оправдано только в случае:

1) нежелательности или недопустимости из-за строительных условий (ненадежность основания сооружения и т. п.) повышения нормального подпорного горизонта до отметки, при которой происходит максимальный паводок;

2) нежелательности и недопустимости постоянного затопления площадей, затопляемых при проходе максимального паводка через глущую плотину;

3) образования непосредственно выше сооружения больших заторов и зажоров, при прорыве которых к плотине могут подходить с большей скоростью громадные глыбы льда, причем трудно обеспечить надлежащее сопротивление быков ударам этих глыб. Отметим, что это может иметь место лишь в исключительных случаях.

Во всех иных случаях следует избегать устройства глухого водослива.

Второй важнейший вопрос — о назначении суммарной величины ледосброшенного фронта — вряд ли может быть разрешен теоретически и вполне объективно.

Укажем, как пример, что в эскизном проекте Свирской гидростанции (1926 г.) суммарная длина ледосброшенного фронта была принята равной 132 м, в техническом проекте (1927 г.) — 210 м, а в исполняемом проекте — 174 м. При этом во всех случаях составители проекта руководствовались именно соображениями о пропуске ледохода.

Единственный более или менее объективный критерий для назначения ширины ледосброшенного фронта может быть применен в том случае, если ширина реки в естественном состоянии не отличается резко от ширины зеркала подпертого бьефа. Именно в том случае, если выше сооружения конфигурация русла в плане такая, при которой узкий участок (шириною b_1) находится непосредственно ниже широкого (шириною b_2), причем заторов не происходит, можно назначить ширину ледосброшенного фронта (B_1) равной

$$B_1 = B_2 \cdot \frac{b_1}{b_2},$$

где B_2 — ширина по зеркалу подпертого бьефа выше плотины.

Так, например, на р. Свири выше строящейся плотины имеют место следующие соотношения ширины русла (таблица 1).

ТАБЛИЦА 1.

Верста по реке от истока	Ширина русла b_1 м	Ширина русла непосредственно выше плотины b_2 м	$\frac{b_1}{b_2}$
96	90	200	0,45
116	100	250	0,40
117	120	200	0,60
121	130	250	0,52
		В среднем	0,50

Ширина по зеркалу подпертого бьефа непосредственно выше плотины (расположенной на 343 км):

$$B_2 = 340 \text{ м.}$$

Тогда: $B_1 = 340 \cdot 0,50 = 170 \text{ м.}$

Как видим, при принятой в исполняемом проекте ширине B_1 , равной 174 м, можно иметь известную уверенность в беззаторном проходе льда через плотину.

Некоторые выводы о необходимой ширине ледобросного фронта плотин можно сделать из сопоставления ширины ледобросного фронта и зеркала воды выше плотины на благополучно работающих сооружениях на реках со значительным ледоходом. Ниже в таблицах 2—5 приводятся эти данные по ряду сооружений.

ТАБЛИЦА 2.

Сев. Америка

№ п/п.	Наименование плотины и реки	Суммарная ширина ледобросного фронта B_1 м	Ширина по зеркалу воды выше плотины B_2 м	$\frac{B_1}{B_2}$	Система затворов и размеры пролетов
1	Кеокукская на р. Миссиссипи	1087	1500	0,72	119 плоских щитов по 9,14 м
2	На р. Висконсин	370	540	0,68	Секторные
3	Истонская на р. Якима	19,5	30	0,65	1 спускающ. сегмент типа „Друм“, длиной 19,5 м
4	На водопаде Чиппева у г. Миннеаполиса	159	245	0,65	13 сегментов по 12,2 м
5	Кальдервуд на р. Тенесси	118,5	230	0,51	18 плоских щитов по 6,6 м
6	Речестер на р. Зумбро	135	270	0,49	Глухой водослив
7	Старвед-Рок на р. Иллинойс	192	390	0,49	10 сегментов по 18,3 м и 1,9 м
8	Вильсонская на р. Тенесси	678	1520	0,45	58 плоских по 11,7 м
9	Иордан на р. Куза	317	720	0,44	17 плоских щитов по 9,14 м и глухой водослив 162 м

Из приведенных данных можно сделать следующие заключения:

1) На реках со значительным ледоходом беззатворный проход льда происходит при отношении $\frac{B_1}{B_2} = 0,45$ и выше, причем в отдельных случаях

беззатворный проход происходит и при $\frac{B_1}{B_2} = 0,30$.

2) В большинстве благополучно работающих плотин при гидростанциях на реках со значительным ледоходом $\frac{B_1}{B_2} = 0,45$ до 0,70, в среднем 0,55.

Следующим серьезным вопросом при проектировании сооружений на реках со значительным ледоходом является вопрос о минимально допустимой величине пролета между отдельными быками. Как общее положение можно установить, что пролет может быть не больше максимального размера льдин во время весеннего ледохода. Однако применительно к плотинам определить эту величину льдин весьма затруднительно, так как

размеры льдин с образованием подпорного бьефа обычно увеличиваются сравнительно с естественным режимом.

За последние годы в связи с осуществлением ряда затворов весьма значительных пролетов в некоторых случаях из опасения заторов льда на плотине считают необходимым идти на весьма значительные пролеты

ТАБЛИЦА 3.
Скандинавские страны

№ п/п.	Наименование плотины и реки	Суммарная ширина ледосброшенного фронта B_1 м	Ширина по зеркалу воды выше плотины B_2 м	$\frac{B_1}{B_2}$	Система затворов и размеры пролетов
1	Ранаасфосс на р. Верхний Гломмен	145	200	0,72	2 сектора 50,0 и один валец 45 м
2	Кваренсфеден	158,3	260	0,60	3 сегмента по 5,90, 4 плоских щита по 14 м и мелкие плоские щиты спертые на съемные стоки 28 м, 2 плоских щита по 10 м и один 11,0 м
3	Лила-Эдет на р. Гота-Эльф	80	150	0,53	2 вальца по 22 м 3 плоских щита по 9,0 м и ледоспускные пролеты с плоскими щитами 2,3 и 4 м
4	Аарлифссен на р. Типпштром	39,3	85	0,46	2 вальцовых затвора по 15 и 18,0 м и 1 плоский 6,3 м
5	Рена	25	55	0,45	Автом. клапаны затворы 2 по 8,6 и 2 по 3,9 м
6	Моркфосс-Сольбергфосс на р. Гломмен	60	175	0,34	3 вальца по 20 м
7	Форхувудфорсен на р. Дальэльф	51	180	0,28	3 вальца по 17 м
8	Хаммарфорсен	65	250	0,26	1 сектор 20 м, 3 плоских щита по 15 м

плотин. В таблице 6 приводятся примеры плотин значительных пролетов (выше 280 м), которые вызваны опасением заторов льда на плотине.

Однако опыт эксплуатации сооружений на реках с сильным ледоходом показывает необоснованность таких больших пролетов с точки зрения опасности заторов льда. Весьма многие сооружения на таких реках имеют пролеты, меньшие максимальных размеров льдин, однако, заторы льдин на плотине не образуются, так как подошедшая к плотине большая льдина

ТАБЛИЦА 4.
Германия и Швейцария

№ п/п.	Наименование плотины и реки	Суммарная ширина ледо- сбросного фронта B_1 м	Ширина по зеркалу воды выше плотины B_2 м	$\frac{B_1}{B_2}$	Система затворов и размеры про- летов
1	Средний Изар'	68	85	0,80	4 двойных плоских щита по 17,0 м
2,	Ауссиг на р.Эльбе	96	140	0,68	4 двойных плоских щита по 24 м
3	Маннкур на р. Майн	101,2	160	0,67	Вальцовые затворы по 30,6 м и один 30 м
4	Кахлетская на р. Дунае	150	270	0,55	6 двойных плоских щитов по 35 м
5	Вонсдорф на р. Алле	31,5	60	0,52	2 пролета Дахвер по 15,75 м
6	Боберсдорф на р. Бобер	44,52	91	0,49	2 сегмента по 22,25 м
7	Бременская на р. Везер	108	250	0,43	2 сектора по 108 м
8	Эйххт на р. Сале	25	57	0,35	2 сегмента по 10,0 м и 2 плоских по 2,5 м

ТАБЛИЦА 5.
Строящиеся крупные плотины

№ п/п.	Наименование плотины и реки	Суммарная ширина ледо- сбросного фронта B_1 м	Ширина по зеркалу воды выше плотины B_2 м	$\frac{B_1}{B_2}$	Система затворов и размеры про- летов
1	Шенонская	76	140	0,54	Двойные плоские щиты: 4 по 10 м и 2 по 18 м
2	Рибург-Шверштадт на р. Рейн	96	220	0,44	4 двойных плоских щита по 24 м
3	Днепровская	610	1200	0,65	Плоские щиты 47 по 13 м и 2 по 17,5
4	Свирская	174	340	0,52	Плоские щиты 5 по 20,5 м, 3 по 13,5 м и 1 сегмент 32 м

ломается под напором идущих сверху льдин и проходит в отверстие сооружения. Задержки льдин у плотины обычно длятся в течение нескольких минут и не вызывают сколько нибудь заметного повышения горизонта.

ТАБЛИЦА 6.

№ п/п	Название плотины	Река и страна	Тип затвора	Ширина пролета в свету м
1	Савдерхилен	Тирес, Норвегия	Валец	28
2	Сваельгфос	Тинн, Норвегия	"	28
3	Райзерн	Одер, Германия	Сегмент	30
4	Свирская № 3, проект 1927 г.	Свирь, СССР	Валец	30
5	Рочестер	Генезеек, Сев. Америка	Сегмент	30,48
6	Дейсфорс	Кларэльфен, Швеция	Валец	32
7	Сколленборг	Нуммедальслаген, Норвегия	"	34
8	Ранаасфосс	Гломмен, Норвегия	Сегмент Валец	50 и 45

ТАБЛИЦА 7.

№ п/п	Название плотины	Река и страна	Тип затвора	Ширина максимального пролета в свету м
1	Кеокук	Миссиссиппи, Сев. Америка	Плоский подъемн.	9,14
2	Лагука	Колорадо, Сев. Америка	Валец	9,14
3	Иордан	Куза, Сев. Америка	Плоский подъемн.	9,14
4	Хемсс Недре	Моррум, Швеция	Валец	10,0
5	Скогаби	Лаган, Швеция	"	10,0
6	Жадкин	Колорадо, Сев. Америка	Плоский подъемн.	10,65
7	Порью	Люле-Эльф, Швеция	Валец	12
8	Миннеаполис	Чиппева, Сев. Америка	Сегмент	12,2
9	Изле-Малинь	Сагэней, Сев. Америка	Плоский подъемн.	12,5
10	Кваренсфеден	Дальф-Эльф, Швеция	Плоский	14
11	Чиппева	Ниагара, Сев. Америка	Плоский подъемн.	14,5
12	Солт Сен-Мари	Сен-Мари, Сев. Америка	"	14,5
13	Ваттингфос	Нуммедальслаген, Норвегия	"	15,0
14	Бернхарт Исланд	Сев. Америка	"	15,2
15	Лаке Супериор	Миссури, Сев. Америка	Валец	15,5
16	Або	Кумо-Эльф, Финляндия	"	17
17	Форхундфорсен	Даль-Эльф, Швеция	"	17
18	Эисокоски	Вуохсон	"	18
19	Аарлифосс	Тинн, Норвегия	"	18,0
20	Старвед-Рок	Иллинойс, Сев. Америка	Сегмент	18,3
21	Хальмштадт	Ниссан, Швеция	Валец	18,40
22	Моркфос-Сольгбергфосс	Нуммедальслаген, Норвегия	"	20,0
23	Ингерсис	Киммене-Эльф, Финляндия	"	20,0
24	Эльфкарлебен	Даль-Эльф, Швеция	"	20,0
25	Трольхэттен	Гота-Эльф, Швеция	"	20,0
26	Бруфос	Нуммедальслаген, Норвегия	"	20,0
27	Немеланд	Отра, Норвегия	"	20,0
28	"	Нуммедальслаген	"	20,0
29	Вамма	Гломмен, Норвегия	"	20,0
30	Бьернеборг	Кумо-Эльф, Финляндия	"	20,0
31	Каммерфорсен	Швеция	Сектор	20
32	Войкка	Киммене-Эльф, Финляндия	Валец	20,8

В таблице 7 приводятся некоторые примеры олагодолучно работолующих плотин с сильным ледоходом и имеющих пролеты средних размеров (от 10 до 20 м).

Приведенные примеры позволяют утверждать, что на реках с тяжелым ледоходом вполне обеспечивает беззаторный пропуск льда ширина пролетов от 10 до 20 м (в зависимости от ширины реки и размеров льдин). На увеличение пролетов сверх 20 м следует идти лишь в случае исключительно тяжелого ледохода (например ледоход рр. Енисей, Оби и т. п.), а также в тех случаях, когда это сказывается рациональным по другим причинам. На проходившем в 1906 г. в Австралии конкурсе на проекты затворов плотин для рек с тяжелым ледоходом ширина пролета была установлена: для рек равнинных 25 м, для горных — 15 м.

В большинстве современных плотин на реках с тяжелым ледоходом ширина пролетов равна 15—20 м.

Отметим, что по совету шведской экспертизы (Wattenbyggnadbyran) в строящейся ныне Свирской плотине основные ледопропускные пролеты имеют 20,5 м (перекрываемые плоскими затворами). В Днепровской плотине по первоначальному проекту была предположена ширина пролетов 24,0 м. Американская экспертиза (полковник Н. Соопер) (4) предлагала принять ширину пролетов не более 18,0 м. По исполняемому проекту ширина пролетов принята 13,0 м.

В том случае, когда ледопропускные пролеты располагаются не по всей длине плотины, желательно учесть следующие положения в отношении расположения пролетов:

- 1) ледопропускные пролеты желательно располагать в пределах стрежня реки;
- 2) если сооружение расположено на изгибе реки, то ледопропускные пролеты желательно располагать у вознугото берега;
- 3) при расположении при плотине гидростанции ледопропускные пролеты следует располагать в части плотины, отдаленной от гидростанции (за исключением специальных ледоспусков, предназначенных для сброса льда, идущего вдоль ледозащитной стенки или вабральной балки станции; об этом см. ниже).

2. Назначение толщины переливающегося слоя в ледопропускных отворетиях плотин.

Ледоходы обычно происходят при значительных расходах воды. вследствие чего заторы вызывают резкое повышение горизонта воды выше плотины, опасность чего как для самой плотины, так и для выше лежащих местностей очевидна. Во избежание заторов льда на гребне плотины следует всемерно избегать толщины переливающегося во время ледохода слоя воды, меньшего максимальной толщины льда.

В тех случаях, когда ледоход начинается при горизонте воды в верхнем бьефе, не обеспечивающем достаточной толщины переливающегося слоя, приходится на некоторое время задерживать пропуск льда, накапливая воду выше сооружения для подъема горизонта до необходимой высоты. Отметим, например, что к этому приему предложено прибегать на строящейся Свирской плотине (5).

Считая этот прием вполне допустимым, мы все же полагаем, что расчетная толщина на гребне плотины при расчетном горизонте пропуска

ледохода должна быть больше максимальной толщины льда. Конечно, при установлении максимальной толщины льда следует рассчитывать на основной ледяной покров, так как отдельные глыбы, достигающие весьма значительной толщины (например, на Волховской плотине они достигали толщины 4,5 м), не могут быть опасны в смысле заторов льда на гребне. Лыдины эти обычно имеют малую площадь и после незначительной задержки на гребне плотины переливаются через него под давлением следующих за ними льдин.

Принимая необходимый запас от нижней поверхности льда при сливе до гребня плотины в 20% от толщины льда (как это предлагал проф. Н. Н. Павловский в своем докладе по проекту Свиерской плотины (5)), получим, что минимальная толщина переливающегося слоя на гребне плотины при сбросе льда должна быть:

$$h_{\min} = 0,9 l + 0,2 l = 1,1 l,$$

где l — максимальная толщина льда.

Принимая по данным С т е а г е т а (6), что минимальная толщина переливающегося слоя в пределах гребня водосливной плотины, практического профиля равна

$$h = 0,65 H,$$

где H — гидростатический напор на водосливе, имеем, что

$$H_{\min} = \frac{1,1}{0,65} = 1,70 l_{\max}$$

Для рек севера СССР при $l_{\max} = 1,20$ м

$$H_{\min} = 1,70 \cdot 1,20 = 2,05 \text{ м} \cong 2,1 \text{ м.}$$

Для рек средней части СССР при $l_{\max} = 1,0$ м

$$H_{\min} = 1,70 \cdot 1,0 = 1,7 \text{ м.}$$

Во избежание неравномерного прохода льда по длине ледопропускного фронта весьма желательно иметь равную водопропускную способность единицы длины плотины на всем протяжении ледобросного фронта. Исходя из этого, нежелательно устраивать в пределах ледобросного фронта отдельные глубокие отверстия, а также донные водоспуски со значительным расходом воды. Глубокие отверстия, если таковые признаются необходимыми для пропуска топляков, опорожнения водохранилища или по производственным условиям, лучше всего располагать в пределах аванкамеры (как это, например, сделано на Волховской станции).

Резкая неравномерность пропускной способности плотины в пределах ледобросного фронта может вызвать скопление льда в одном месте и затор льда у плотины. Отметим, что на это обстоятельство указывали и эксперты по проекту Свиерской плотины проф. Н. Н. Павловский (5), проф. Р о ж д е с т в е н с к и й (5) и проф. М. Е. К о р р е (7).

3. Специальные ледопропускные отверстия.

Специальные ледопропускные отверстия при гидростанции в реке устраиваются двух родов: 1) в пределах ледопропускного фронта плотины и 2) в пределах аванкамеры.

Ледопропускные отверстия первого рода обычно предназначаются для сброса мелкого льда, идущего вдоль заграждения аванкамеры или скапливающегося у забальной балки станции (при отсутствии заграждения аванкамеры). Такие специальные ледоспуски устраиваются редко, так как обычно эта часть льда пропускается через нормальный пролет плотины, примыкающей к зданию станции.

Устройство указанного специального ледоспуска может быть оправдано только при следующих условиях:

1) если затворы плотины не позволяют производить сброс льда поверх затворов;

2) если потеря воды в конце ледохода, происходящая благодаря полному освобождению ближайшего к станции пролета плотины, вызывает потерю энергии, т. е. за этот период сбросный расход менее расхода, пропускаемого этим пролетом при полном его открытии;

3) если за этот период ледохода признается возможным не сбрасывать льда через пролеты плотины за исключением крайнего, примыкающего к станции (где скапливается лед, идущий вдоль заграждения или искусственно отводимый от решеток), причем эти пролеты закрыты.

При указанных условиях (и только при них) может оказаться рациональным устройство у станции специального ледопускного пролета плотины, отличающегося от остальных размерами (обычно он делается менее остальных пролетов) и перекрываемого обычно затвором, позволяющим сбрасывать лед поверх его (с малыми потерями воды).

Ниже в таблице 8 приводим величины пролетов некоторых подобных ледоспусков в существующих и проектируемых сооружениях.

ТАБЛИЦА 8.

№ по порядку	Плотина и река	Ширина пролета ледоспуска м
1	Эйххт на р. Саале...	$2 \times 2,5$
2	Р. Зумбро у г. Рочестера	2,7
3	Лила-Эдет на р. Гога-Эльф	2, 3, и 4
4	Аарлифоссен	6,3
5	Вильсонская на р. Тенесси	8,0
6	Старвед-Рок на р. Иллинойс	9,0
7	Свирская	32

Проф. A. L u d i n (8) рекомендует назначить ширину ледосброса в 10—15 м.

По поводу ледоспуска Свирской гидростанции необходимо отметить, что вначале предлагалось устроить его пролеты в 13 м. Увеличение ширины до 32 м сделано по совету шведской экспертизы Wattenbyggnadsbyrån.

На Днепровской станции специальных ледоспусков у здания не устроено. Отметим, что эксперт ЦЭСа проф. В. А. Васильев настаивал на устройстве у здания Днепровской станции ледопускного пролета, перекрываемого секторным затвором.

Совершенно особая конструкция ледоспуска применена на гидростан-

ции Кембе на р. Рейн (заканчивается постройкой). Здесь ледоспуски устроены в самом здании станции между генераторами и турбинами. Решетка не возвышается до горизонта воды и лед может быть сброшен по каналам шириною 4,75 м путем открытия щита, могущего работать автоматически. Вследствие устройства специальной боковой галереи турбина доступна для осмотра. Вал турбины защищен от ударов льда металлическим цилиндрическим футляром.

Конструкция запроектирована по патенту пнж. Rene Koeschlin и фирмы Lacher Co. По отзывам этой фирмы такой тип станции обходится земногом дорожке станции обычного типа с ледоспуском. Преимущество станции такого типа — легкий отвод от решеток льда, сора и плавающих тел. Очевидно, что такая конструкция применима лишь при сравнительно малом ледоходе, так как в противном случае потребовался бы ледоспуск значительной ширины, перекрываемые затвором другого типа. Кроме того при этом было бы трудно надлежаще предохранить вал от ударов льдин.

Ледопронусные отверстия 2-го рода, устраиваемые в пределах аванкамеры, служат исключительно для очистки от льда самой аванкамеры, а также для отвода льда и топликов от решеток гидростанции. Устройство таких ледоспусков практикуется весьма редко, так как обычно считают возможным оставлять таять лед в аванкамере.

Полковник Н. Соорег при своей экспертизе Днепровской станции (4) указывал, что ему известны 4—5 гидростанций Сев. Америки, имеющих подобные ледоспуски, однако ими обычно не пользуются. Однако для Днепровской станции Н. Соорег рекомендовал на всякий случай иметь такой ледоспуск с южной стороны станции. Н. Соорег отменял ничтожную стоимость этого устройства. В исполняемом проекте Днепровской станции указанного ледоспуска не устраивается.

Отметим также, что на Холтвудской гидростанции на р. Сускеханне был устроен подобный ледоспуск в аванкамере между зданием и левобережным устоем. После непродолжительного пользования этим ледоспуском его закрыли бетонной стенкой, на площадке которой устроили трансформаторы.

Мы считаем, что устройство подобных ледоспусков в аванкамере может быть оправдано лишь в том случае, если ледоспуск является одновременно и глубоким водосливным пролетом (которые, как указано выше, по условиям подхода к плотине льда лучше всего располагать в аванкамере, так это сделано, например на Волховской станции).

4. Уменьшение размеров льдин, ударяющихся о сооружение.

Общие положения. Уменьшение размеров льдин производится как для уменьшения силы удара льдины о сооружение и статического давления при нажиме льдины значительной площади, так и во избежание заторов льда в пролетах сооружения (моста, плотины и т. п.). В том случае, когда площадь подлежащего пропуску ледяного покрова велика, иногда практикуют разлом ледяного покрова по всей его площади. Когда же выше сооружения находится значительная площадь ледяного покрова, разламывают лишь на небольшом протяжении выше сооружения (обычно не более 1 км). При этом учитывается, что чем больший путь прошел лед тем меньше размер льдин. Необходимо, однако, указать, что на больших реках севера и средней полосы СССР весьма часто

льдины значительной площади проходят десятки километров не разламываясь. Поэтому в некоторых случаях прибегают к разламыванию льда на плаву, что позволяет избежать излишней работы по разламыванию тех участков ледяного покрова, которые естественно бы разломались при вскрытии на опасные мелкие льдины. Кроме того, при этом способе могут быть уменьшены размеры льдин, пришедших из отдаленных выше лежащих участков реки.

Уменьшение размеров льдин производится следующими основными способами:

1) ледорезами;

2) искусственным разламыванием: а) пешнями, ломами, б) взрывным способом, в) химическим способом, г) парходами, ледоколами.

Уменьшение размеров льдин ледорезами имеет то преимущество, что кроме разбивки льда при надлежаще поставленном ледорезе получается и защита сооружения с направлением льдин в его пролеты. Однако, для того чтобы капитальное сооружение не испытывало удара льдин, необходимо устройство ледореза отдельного от сооружения, а это согласно вышеизложенному может быть выгодно только в случае деревянных ледорезов, применимых лишь при небольших высотах. Кроме того, отдельно стоящие ледорезы стесняют поток и ухудшают гидравлические условия прохода воды через сооружения.

Вследствие указанных выше причин в современных капитальных сооружениях (за исключением деревянных) ледорезы обычно устраиваются совмещенные с быками, являясь их передней частью. В этом случае ледорез, разламывая льдину и способствуя ее надлежащему направлению, не предотвращает сооружение от удара.

Поэтому при наличии совмещенных с быком ледорезов в случае сильного ледохода иногда прибегают к искусственному разламыванию льда.

При наличии отдельно стоящих ледорезов искусственное разламывание льдин практикуют лишь при сильных ледоходах, несущих льдины очень большой площади.

Уменьшение размеров льдин ручным путем с помощью ломов, пешней и т. п. находит себе применение лишь при необходимости сброса сравнительно тонкого ледяного покрова (до 0,5 м) из водоемов малой площади (маленькие пруды на речках, аванкамеры водоприемов и т. п.). Наиболее часто этот способ применяют при мелких деревянных плотинах с постоянными стойками, для которых опасны удары льдин даже малого размера.

В исключительных случаях расколку льда на крупных реках производят вручную во время ледохода. Для этого команды рабочих на больших лодках мощной конструкции («дубы») находятся выше сооружения на 1—2 км и, зацепляясь багром за большую льдину, высаживаются на нее и ломают ее на плаву. Хотя этот способ и обладает указанными выше преимуществами разбивки льдин на плаву, но очень опасен и отнюдь не может быть рекомендован.

Уменьшение размеров льдин взрывным путем практикуется на больших реках с сильным ледоходом. Здесь существуют два способа:

1) Разламывание ледяного поля взрывами до ледохода посредством взрыва мелких зарядов пороха, динамита, пироксилина и т. п. (или за

последнее время термита), закладываемых на некотором расстоянии друг от друга по линиям, разделяющим ледяное поле на определенные участки. При этом ледяное поле обычно не разламывается на отдельные льдины непосредственно взрывом, а только ослабляется по отдельным линиям, по которым и разламывается при первой подвижке.

Способ этот, требуя значительного расхода взрывчатых материалов, весьма дорог и, кроме того, позволяет разбивать ледяной покров только на сравнительно крупные льдины и лишь на небольшом протяжении выше сооружения. Применяя этот способ, мы не предотвращаем сооружения от удара крупных льдин, пришедших с более или менее отдаленных вышележащих участков реки.

Вследствие указанных недостатков способ этот применяется для уменьшения размеров льдин крайне редко. Им пользуются преимущественно для борьбы с заторами льда.¹

2) Разламывание путем взрыва отдельно плывущих льдин применяется сравнительно часто и должно быть признано наиболее дешевым и эффективным способом уменьшения размеров льдин. При этом практикуется в общем тот же прием, что и при ручной разбивке льдин на плаву. Только вместо высаживания команды на льдину здесь на нее бросают с лодки мелкий взрывчатый снаряд (обычно проксилиновую шашку).

Обладая всеми указанными выше преимуществами уменьшения размеров льдин на плаву, способ этот не угрожает той опасностью для рабочих, какая имеется при ручной разломке льдин на плаву.

Уменьшение размеров льдин химическим путем. При уменьшении размеров льдин ледяное поле перед ледоходом протраивается по границам, разделяющим его на ряд более или менее крупных участков. Способ этот практикуется крайне редко, так как обладает всеми указанными выше недостатками способа уменьшения размеров льдин путем взрыва ледяного поля до ледохода и обходится повидимому еще дороже.

Уменьшение размеров льдин с помощью ледокола. Способ этот только в самые последние годы (11, 12, 13) начали применять к речным сооружениям. Заключается он в том, что перед ледоходом ледяной покров на некотором протяжении выше сооружения разламывается одним или несколькими ледоколами на отдельные участки. Этим избегаются наводнения на сооружение ледяного поля значительных размеров, а также до некоторой степени предотвращается удар крупных льдин из частей ледяного поля, близких к сооружению и не успевших размельчиться за время своего пути. В виду же практической невозможности разрезки ледяного поля при значительной длине водоема или реки выше сооружения, указанный способ также не исключает возможности ударов больших льдин, пришедших из отдельных вышележащих участков.

Нам известен только один пример специального применения ледоколов для уменьшения размеров льдин перед сооружением.² Именно этот прием практикуется с 1929 г. на недавно построенной Казлесской гидроэлектростанции на р. Дунае. (14)

¹ Вопрос борьбы с заторами и зажорами должен представлять тему специального труда и в настоящей работе не рассматривается.

² В Германии широко практикуется разломка льда ледоколами для борьбы с заторами льда.

Там используются два ледокола «Кахлет» и «Хаккельштейн». Основные характеристики ледохода «Кахлет»:

Длина	30,55 м
Ширина по пиллау	6,50 м
Осадка при баласте	2,60 м
Водоизмещение	150 т
Нормальная мощность двигателя	250 инд. л. с.
Максимальная возможная мощность двигателя при перегрузке	350 л. с.
Толщина брони	18 мм

Скорость движения ледокола:

В самом прочном льде, при толщине до 1,0 м	60—100 м/час
(с помощью в исключительных случаях второго ледокола)	
в обычном кристаллическом льде	200—300 м/час
в слабом льде, толщ. 10—15 см.	3 км/час.

На Кахлетской гидростанции ледоколы работают до области выклинивания подпора, причем результат работы ледоколов признается настолько успешным, что в ближайшее время предполагается приобрести третий ледокол.

Рекомендуемые способы уменьшения размеров льдин. 1) Разломка ледяного покрова до ледохода практически возможна на сравнительно небольшом протяжении выше сооружения, что до некоторой степени предотвращает подвигание большого ледяного поля на сооружение, но не позволяет избежать ударов больших льдин, пришедших с отдаленных участков реки. Вследствие этого при весьма сильном ледоходе и при сооружении, не приспособленном к восприятию ударов больших льдин, ограничиваются разломкой льда до ледохода лишь в случае малой протяженности реки или водосема выше плотины.

2) В противном случае на ряду с такой разломкой льда, производимой на небольшом участке выше сооружения, следует применять разбивку отдельных крупных льдин на плаву.

3) Наиболее удобным способом разбивки ледяного поля до ледохода является, повидимому, разбивка с помощью ледоколов.

4) При невозможности применения ледоколов следует прибегать при толстом льде к разбивке путем взрывов, а при сравнительно тонком льде (до 0,50 м) — к разбивке ручным путем.

5) Наиболее дешевым и эффективным способом разбивки крупных льдин на плаву является взрывной способ.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ.

1. W. L. Sibert — Устройство плотины на реках при больших намеренных расхода воды и сильных ледоходах для возможности одновременного удовлетворения интересов судоходства и промышленности, Труды XI Международного судоходного конгресса, т. III, СПб, 1908 г.

2. В. Т. Б о в и н, — Наблюдение весеннего наводка 1926 г. на Волховстрое, Материалы к проекту И. Г. Александрова) III вып., изд. Днепровского строительства, Москва, 1927 г.

3. Основные задания для проектирования плотины гидростанции Свирь № 3, 1927 г. (Рукопись).

4. Материалы по экспертизе американской фирмы Хью Л. Кувер и К°. Предварительная экспертиза проекта Днепровской гидроэлектрической станции, Приложение XIII, 1926 г., Ленинград.

5. Журнал № 7 от 4/VII 1927 г. заседания гидротехнической комиссии по рассмотрению Свирского проекта (Рукопись).
6. W. P. Greager, — Engineering for Masonry dams, London, 1929 г.
7. Отзыв члена П. Э. С. проф. М. Е. Кнорре по проекту сооружения № 3 на р. Свирь, 1927 г. (Рукопись).
8. A. Ludin, — Die Wasserkräfte, I B., Berlin, 1925.
9. Die Rheinwerk kems. Die Wasserkraft, 1926 г., № 4.
10. Н. Г. Александров, В. Р. Викторов, Т. П. Марецкая, — Отчет об осмотре гидроэлектрических станций и заводов в САСШ (Рукопись).
11. D. Rushmore and E. Lof, Hydroelectric Power station, London, 1917.
12. Рундо; — Применение ледоколов на внутренних водных путях.
13. G ö r z und B u c h g e i s t e r, — Der Eisbrecherwesen im Deutschen Reich, Berlin, 1900.
14. К. Н е т з е л, — Eisbildung und Eisebekämpfung im Donnauskachlet bei Passau, Wasserkraft und Wasserwirtschaft, 1929, Heft 13—14.
15. Д. Д. Н е е л о в, — Устройство плотин, ч. II, СПб, 1884 г.

ЗИМНИЙ РЕЖИМ Р. СВИРИ.

(по исследованиям, произведенным Свирским строительством
в 1928 — 1930 гг.).

1. Общие соображения.

Зимний режим водных потоков, охватывающий три главнейших периода жизни реки, а именно: замерзание, пребывание под льдом и вскрытие, приобретает не только на разных реках, но даже на отдельных участках одной и той же реки своеобразные местные особенности в зависимости от того или иного географического положения потока, климатических условий бассейна, морфологии и гидравлических свойств русла. Вследствие длительности зимних периодов и значительных изменений режима, вызываемых в потоках процессами замерзания и освобождения от ледяного покрова, зимние явления в условиях северных широт приобретают исключительно важное значение. Это в особенности справедливо в отношении рек, пригодных для промышленной утилизации гидравлической энергии, на которых значительные паводки и вызываемые ими скорости препятствуют установлению стационарного ледяного покрова, вследствие чего является переохлаждение воды в реке, сопровождаемое выделением донного льда и образованием в русле потока зазорных узлов. Отмеченные обстоятельства в связи с прекращением поверхностного стока и переходом рек на грунтовое питание придают зимним периодам особо тревожный характер как в смысле возможности временного падения мощности гидросиловой установки вследствие закупорки русла реки или подводящих ее устройств шугой, так и в отношении безопасности самых сооружений от повреждения их движущимися ледяными массами.

Несмотря, однако, на такое исключительное значение, изучению зимнего режима на большинстве наших рек до последнего времени уделялось весьма мало внимания, так как они эксплуатировались главным образом в судоходных отношениях. Лишь за последние 10—15 лет в связи с мощным развитием строительства гидросиловых установок вопросы зимнего режима в исследованиях водных объектов заняли подобающее им место.

Река Свирь в этом отношении не представляет исключения. Поэтому изучение зимнего режима на ней за прошлые годы по необходимости приходится базировать лишь на записях водомерных постов Северо-западного управления внутренних водных путей с длительным циклом наблюдений, охватывающих период с 1902 г., а на двух постах (Вознесенье, Сермакса) даже с 1881 г., по настоящее время. Основанные исключительно для обслуживания интересов судоходства эти посты в большинстве случаев

освещают зимний режим не во всех характерных для реки участках. Последнее обстоятельство в связи с недостаточно четкой и однообразной номенклатурой отдельных явлений зимнего быта и модификаций льда на разных постах делает в настоящее время затруднительным, а во многих случаях и невозможным, выяснение по этим материалам целого ряда вопросов, крайне важных с точки зрения правильного проектирования сооружений на р. Свирь.

2. Основные задачи зимних исследований на р. Свирь.

В целях наиболее полного и всестороннего освещения этих вопросов Отделом изысканий и отчуждений Свирского строительства были организованы специальные исследования зимнего режима р. Свирь на всем ее протяжении, которые должны были выяснить общие условия ледового режима р. Свирь в бытовом состоянии и возможные изменения его как во время постройки подпорных сооружений, так и в период эксплуатации установки. Разработанная в соответствии с указанными задачами программа исследований предусматривала стационарные наблюдения в течение круглой зимы на целом ряде водомерных постов, периодические маршрутные обследования по всей длине реки один раз в месяц и стационарные комплексные наблюдения в течение всей зимы на трех наиболее ответственных участках рек: 1) в истоке р. Свирь из Онежского озера, 2) на Поповом плесе на 109—111 км от истока и 3) в районе сооружения № 3 на 143 км.

Стационарные наблюдения в створах водомерных постов и периодические маршрутные обследования рек на всем ее протяжении имели целью изучение общих условий ледового режима р. Свирь: времени установления ледяного покрова и ледохода в разных ее участках, толщины льда и снега, мест образования майн, их размеров, мест завязывания наиболее крупных зажорных узлов донного льда, глубины залегания в них шуги, мест образования заторов кристаллического льда при ледоходах, размеров ледяных полей и толщины льда при ледоходах и т. п.

Комплексные стационарные наблюдения в истоке р. Свирь из Онежского озера, кроме обычных вопросов о времени и характере ледостава и ледохода, толщины и структуры ледяного покрова должны были выяснить: 1) условия образования в истоке майны и по возможности связь ее размеров с температурными условиями и 2) количество озерного льда, поступающего в р. Свирь, дальность его распространения и опасность для гидротехнических сооружений как во время постройки, так и после поднятия подпора в период эксплуатации установки.

Попов плес, расположенный на 109—111 км от истока, между порогами Кезоручей и Курманом, представляет собою впадину значительной глубины (до 25 м). Находясь у подножия группы крупных порогов (Яблонский, Медведский, Сиговский и Ольховский), незамерзающих вследствие значительных скоростей даже в самые суровые зимы, этот плес с медленным течением является коллектором, в котором задерживается большое количество донного льда, образующегося на вышеуказанных порогах. Смерзаясь с поверхностным ледяным покровом, донный лед в Поповом плесе обычно образует плотный зажорный узел. Стационарные наблюдения в этом пункте имели целью выяснить, в какой мере указанный зажор препятствует выносу донного льда с вышележащих порогов в верхний бьеф сооружения № 3 и не будет ли он представлять опасности в не-

риоды эксплуатации в смысле забития водопроводящих устройств, вызывая перебои в работе установки.

Низовая группа зажорных узлов, образующихся в пределах строящегося сооружения № 3 и являющихся результатом деятельности, главным образом, порогов ниже Попова плеса, приобрела особый интерес для Свирского строительства с осени 1929 г. в связи с установкой перемычек, стеснявших живое сечение реки более чем на 50%. Тревога за непрерывность и безопасность работ, производящихся за означенными перемычками и всецело зависящих от их целостности и незыблемости, явилась основной причиной организации систематических зимних исследований в пределах сооружений № 3.

На ряду с перечисленными выше задачами, непосредственно связанными с правильным проектированием и постройкой гидротехнических сооружений, поставленные исследования должны были по мере возможности выяснить также ряд вопросов, связанных с судоходством, в частности о возможном влиянии подбора от плотин на длительность навигации.

3. Краткое описание программы и произведенных работ.

От этого краткого изложения общих задач зимних исследований на р. Свирь перейдем к более подробному описанию программы и фактически произведенных работ, а затем и тех выводов, которые на основании этих исследований могут быть в настоящее время сделаны.

а) Стационарные наблюдения на водомерных постах. Как уже указывалось выше, в зимние периоды на некоторых водомерных постах, кроме общих наблюдений над уровнем воды, были организованы наблюдения над ледовым и температурным режимом. Эти наблюдения были начаты зимой 1927—1928 гг. Производились они в 18 наиболее характерных пунктах реки не реже четырех раз в месяц и состояли в измерении: общей толщины льда между его верхней и нижней поверхностями, толщины верхнего непрозрачного снегового льда, толщины плотного кристаллического льда, толщины лунки, если таковая имелась в створе, толщины снегового покрова на льду, расстояния воды от верхней и нижней кромок льда и глубины воды в лунке.

Указанные измерения производились в двух лунках, из которых одна располагалась у берега, а другая — посредине реки. Лунки пробивались каждый раз на новом месте по одной и той же линии поперечного профиля, располагаемого по возможности выше или ниже имеющихся полыней. При наличии водной прослойки между двумя слоями льда отмечалась как общая толщина льда, так и отдельно толщина верхней и нижней прослоек и слоя воды. Положение лунок, в которых производились измерения относительно сваи водомерного поста, отмечалось расстоянием от берега по створу поста, а также расстоянием от этого створа вверх или вниз по течению. Все эти сведения вместе с затруженными, встретившимися при измерениях, а также замечаниями наблюдателя заносились в журнал установленной формы, образец которого приведен (стр. 94) в приложении, помещенном в конце статьи.

Кроме этих собственно ледомерных измерений, в указанных пунктах велись наблюдения над началом образования льда на реке, появлением заберегов, плывучим льдом, его видом, плановыми размерами и толщиной льдин, скоростью их передвижения, интенсивностью нарастания ледяного покрова, видом его поверхности, размерами близлежащих майн, зазорами донного льда, оттаиванием ледяного покрова от берегов, всеми

его подвижками, местоположением, размерами и временем образования и исчезновения заторов при ледоходе, образованием наледей и т. п.

б) Маршрутные исследования имели своей целью освещение зимнего режима в промежуточных между водомерными постами участках реки и производились ежемесячными периодическими объездами в течение всего зимнего периода со времени образования устойчивого ледяного покрова и до первых подвижек. С этой целью р. Свирь была подразделена на три примерно одинаковых по длине участка: верховой — от истока из Онежского озера до устья р. Пидьмы на 67 км; средний — от устья р. Пидьмы до устья р. Мандроги на 133 км, и низовой — от устья р. Мандроги до впадения в Ладожское озеро на 220 км от истока. Периодические объезды этих участков производились персоналом соответствующих гидрометрических станций в общие для всех участков начальные сроки. Состав и объем наблюдений во время маршрутных объездов был установлен тот же, что и при стационарных исследованиях на водомерных постах. Результаты обследования заносились в маршрутную поверстную ведомость, образец которой приведен в приложении № 2 (стр. 95).

Местоположение майн и незамерзающих мест и их плановое очертание, как правило, снималось глазомерной съемкой или поперечниками, а также фиксировалось фотографическими снимками. Ледомерные профили по возможности закреплялись на месте деревянными сваями и местоположение их схематически зарисовывалось, чтобы при последующих объездах их легче было обнаружить.

Личу, ведущему маршрутные наблюдения, вменялись в обязанность просмотр и контроль записей водомерных и специально зимних наблюдений у всех водомерщиков с соответствующей отметкой об этом в журналах. Благодаря такому периодическому контролю и инструктированию наблюдателей, результаты исследований получали достаточную надежность и полноту.

Как показали произведенные в 1928—1930 гг. (рис. 1) рекогносцировочные обследования, на р. Свири наблюдаются четыре наиболее крупных группы заморов донного льда: 1) в плесе между Сухим и Остречинским порогами (20—45 км), 2) в плесе между Остречинским и Пидемским порогами (55—70 км), 3) между Ольховским порогом и Курманом (102—110 км) и 4) ниже Крестовского порога (125—145 км). Все эти заморные узлы формируются донным льдом, образующимся в расположенных выше незамерзающих порогах. Из этих заморов особого внимания заслуживает узел, ежегодно образующийся в так называемом Поповом плесе (109—111 км), являющемся глубоким озерком (до 25 м) между порогами Кезоручей и Курманом. Здесь скопится значительное количество донного льда, который, смерзаясь, образует род барьера, сильно затрудняющего выход донному льду с лежащих выше порогов в нижний бьеф.

в) Комплексные стационарные исследования в истоке р. Свири. Кроме уже описанных выше стационарных исследований над ледовым режимом, в истоке р. Свири были поставлены наблюдения над калориметрическим балансом, изменением размеров и вида майны, ежегодно здесь образующейся вследствие развешающего действия на ледяной покров теплой озерной воды, а также над величиной и направлением скоростей течения, влияющих на втягивание озерного льда в реку. Эти наблюдения были произведены по ряду поперечных профилей, разбитых в юго-западной оконечности Онежского озера.

По данным этих исследований, начатых зимой 1929—1930 гг. и повто-

ряемых ежегодно, дно Свирской губы представляет собою довольно правильную корытообразную форму. Начало русловой впадины р. Свири становится заметным, начиная от линии, соединяющей м. Стеклозное на правом берегу с м. Рыбачские избушки на левом, и отсюда постепенно переходит в отчетливо выраженное русло реки с наибольшими глубинами у правого берега. В пределах этого бара и истока р. Свири были разбиты восемь поперечников с шестью постоянными вертикалями на каждом, на которых в течение всей зимы велись термометрические наблюдения. Температуры на каждой вертикали измерялись ежедневно термометрами с ценою деления в $0,2^{\circ}$ С в точках через каждый метр по высоте вертикали, а также в придонном слое ложа губы и истока.

Как показали эти наблюдения, температура воды постепенно падает по мере удаления от дна, причем придонный слой грунта дает температуру, несколько повышенную (на $0,2^{\circ}$ С) сравнительно с соприкасающимся с ним слоем воды. Твердость грунта не позволила исследовать распределение температуры в более глубоких слоях ложа, однако и полученные данные с достаточной определенностью говорят о восполнении тепла, теряемого в зимние периоды верхними слоями воды при соприкосновении с морозным воздухом, запасами, аккумулярованными озерной водой и ложем в течение теплых летних периодов.

Для изучения жизни майны, ежегодно образующейся в истоке, производились периодические инструментальные съемки ее границ. Эти наблюдения показали, что замерзание верховьев р. Свири происходит почти одновременно с губой, причем сплошного ледяного покрова на участке реки при истоке из озера почти никогда не бывает. Обычно здесь образуются две майны: одна в расстоянии около одного километра от истока, а другая несколько ниже у м. Карьежка (4 км от истока). Размеры этих майн в значительной степени зависят от температурных условий предзимья. Образующийся на этом участке ледяной покров обычно очень слабый и только против м. Карьежка имеет некоторое утолщение в течение короткого периода.

Через две-три недели после установления ледостава ледяной покров под действием теплой озерной воды начинает разрушаться и майны, постепенно удлиняясь, сливаются в одну. Образовавшийся полинья продолжает расти, распространяясь, главным образом, вниз по течению и в значительно меньшей степени в сторону озера. Усиление морозов в эти периоды сопровождается лишь небольшим сокращением незамерзающей площади вследствие образования закраин тонкого льда, исчезающих при ослаблении морозов.

ТАБЛИЦА 1.

Дата	Площадь майны в км ²	Дата	Площадь майны в км ²
1929 г.		1930 г.	
21/II	0,0143	21—22/III	0,2880*
27/II	0,0181	28/III	0,9411
7/III	0,0799	1/IV	0,6217
26/III	0,2918	7/IV	1,0523
12/IV	0,5941	16/IV	2,2640
24/IV	0,6854		
8/V	1,1882		
11/V	3,0875		

в таблице 1 даны величины незамерзающей площади майны в истоке р. Свири, в части, располагающейся в озере, по измерениям во вторую половину зимы 1929—1930 гг. Из этой таблицы усматривается медленное нарастание озерной части полены.

Наличие незамерзающих майн в истоке р. Свири в связи с порожистостью верхового участка реки является причиной образования значительного количества донного льда, который сносится течением вниз и задерживается в плесовых участках с тихим течением между 12 и 25 км и 50—55 км, создавая закупорку русла и вызывая довольно значительный подпор, достигающий у села Иванькова от 1,5 до 2 м, а у м. Кар-Наволоки и Вотачево — от 0,50 до 0,75 м. Подпор этот, однако, на уровнях самого Онежского озера совсем не сказывается благодаря значительной площади зеркала, достигающей 9700 км².

Изучение направления и величины скоростей в баре Онежского озера указало на постепенное затухание течения по мере удаления вглубь озера. На створе маяков Коровинец-Куликов скорости течения ниже предельной чувствительности вертушки, на створе Стёклянное — Рыбачьи избышки максимальные скорости достигают уже величины 0,20 м/сек, увеличиваясь далее в устье реки у Вознесенской пристани до 0,40 м/сек. Незначительность скоростей, зафиксированных на баре, и недалекое распространение их вглубь озера дают все основания считать незначительным влияние их на втягивание льда из озера в реку.

г) Комплексные стационарные исследования на Поповом плесе. Как уже указывалось выше, ледовые исследования, организованные во вторую половину зимы 1928—1929 гг. на Поповом плесе,

имели своей целью выяснить, какова глубина залегания в нем шуги и насколько задерживает плес проникновение донного льда с лежащих выше порогов в верхний бьеф сооружения № 3. Программой работ предусматривалось также производство периодических промеров шуги на 18 поперечных профилях, расположенных в пределах двухкилометрового участка плеса.

На намеченных профилях были разбиты промерные точки в количестве 6—9 на профиле. Значительная толщина плотно смерзшейся шуги вызвала первоначально опасения в возможности пробить ее обычными способами — подвешенным к тросу грузом, в виду чего для работ был изготовлен буровой инструмент. В процессе работ удалось, однако, выработать достаточно удовлетворительный и быстрый способ пробития и промера шуги, не прибегая к буру. Для этого была использована полоса железа AB (рис. 2) квадратного сечения 5×5 см, длиной 1,0 м и весом около 16 кг. Концы этой полосы были заострены и снабжены отверстиями для прикрепления к ней двух концов C и D стального троса. Работа производилась следующим образом: штанга AB ставилась в вертикальное по-



Рис. 2. Приспособление для пробивки шуги.

ложение концом *A* вниз, что достигалось натягиванием троса *D* и опусканием другого его конца *C*. Поднимая и опуская лом на тросе *D*, постепенно пробивалась шуга, и лом опускался до дна. По разметкам троса *D* определялась глубина сечения в пробитом месте. Для получения толщин слоя шуги лом приводился в горизонтальное положение, что достигалось подтягиванием троса *C* до совпадения одноименных разметок на обоих тросах. В таком горизонтальном положении лом поднимался до соприкосновения с нижней поверхностью шуги и по разметкам тросов определялась глубина погружения лома.

Одновременно с промерами глубины залегания шуги были поставлены наблюдения над количеством шуги, проносимой рекой в майнах выше Попова плеса и ниже его, для качественной оценки задерживающей роли означенного плеса прониканию шуги в верхний бьеф сооружения № 3. Проведенные измерения зазора в Поповом плесе показали, что шуга залегает здесь икотной массой толщиной до 18 м. Основное ядро зазора, располагающееся в пределах средней части плеса, где имеется небольшое уширение русла, стойко держится в течение всей зимы почти до самого ледохода, не обнаруживая значительных изменений, ни своей конфигурации, ни размеров. От этого главного ядра наблюдается постепенное уменьшение количества шуги как вверх, так и вниз по течению, причем эти части зазора обнаруживают меньшую стойкость, изменяясь в течение зимы как в отношении формы, так и в отношении размеров. Забитость русла реки шугой в отдельных профилях достигала 84% площади живого сечения (рис. 8).

Вследствие меньшего удельного веса шуги сравнительно с водой, скопленный в зазоре донный лед производит давление снизу на поверхностный ледяной покров, и последний получает выпуклую форму, как показывает рис. 3. Это же давление снизу в связи с регеляцией является причиной примерзания донного льда к поверхностному и значительного уплотнения всего зазорного узла. Некоторую удобоподвижность зазор сохраняет только в хвостовых своих частях, где шуга залегает небольшой толщиной, а также на нижней границе соприкосновения зазора с водой, где давление от всплывания донного льда незначительно.

Общий объем зазора в Поповом плесе по измерениям в середине февраля 1929 г. достигал $4 \times 10^6 \text{ м}^3$. Последующие замеры указали на рост зазорного накопа до конца марта, когда его объем достиг $4,8 \times 10^6 \text{ м}^3$. С 26 марта в связи с некоторым потеплением отмечено небольшое рассасывание зазора, объем которого однако не падал ниже $4,0 \times 10^6 \text{ м}^3$ до 7 мая, т. е. почти до самого вскрытия, отмеченного на Поповом плесе в означенном году 10 мая. Аналогичная картина состояния зазора наблюдалась и в 1930 г.

Для выяснения задерживающей роли зазора в Поповом плесе прониканию донного льда в верхний бьеф сооружения № 3 были организованы глазомерные наблюдения количества шуги, проносимой в майнах выше и ниже зазора, которое оценивалось по пятибальной системе. Эти наблюдения указали, что почти весь донный лед, поступающий с лежащих выше порогов, оседал в Поповом плесе и вниз выносилось лишь очень незначительное его количество, главным образом при потеплениях температуры воздуха. Более значительное количество шуги проносилось вниз лишь в предзимье при отсутствии на Поповом плесе поверхностного ледяного покрова, являющегося фактором, способствующим формированию в означенном плесе зазора.

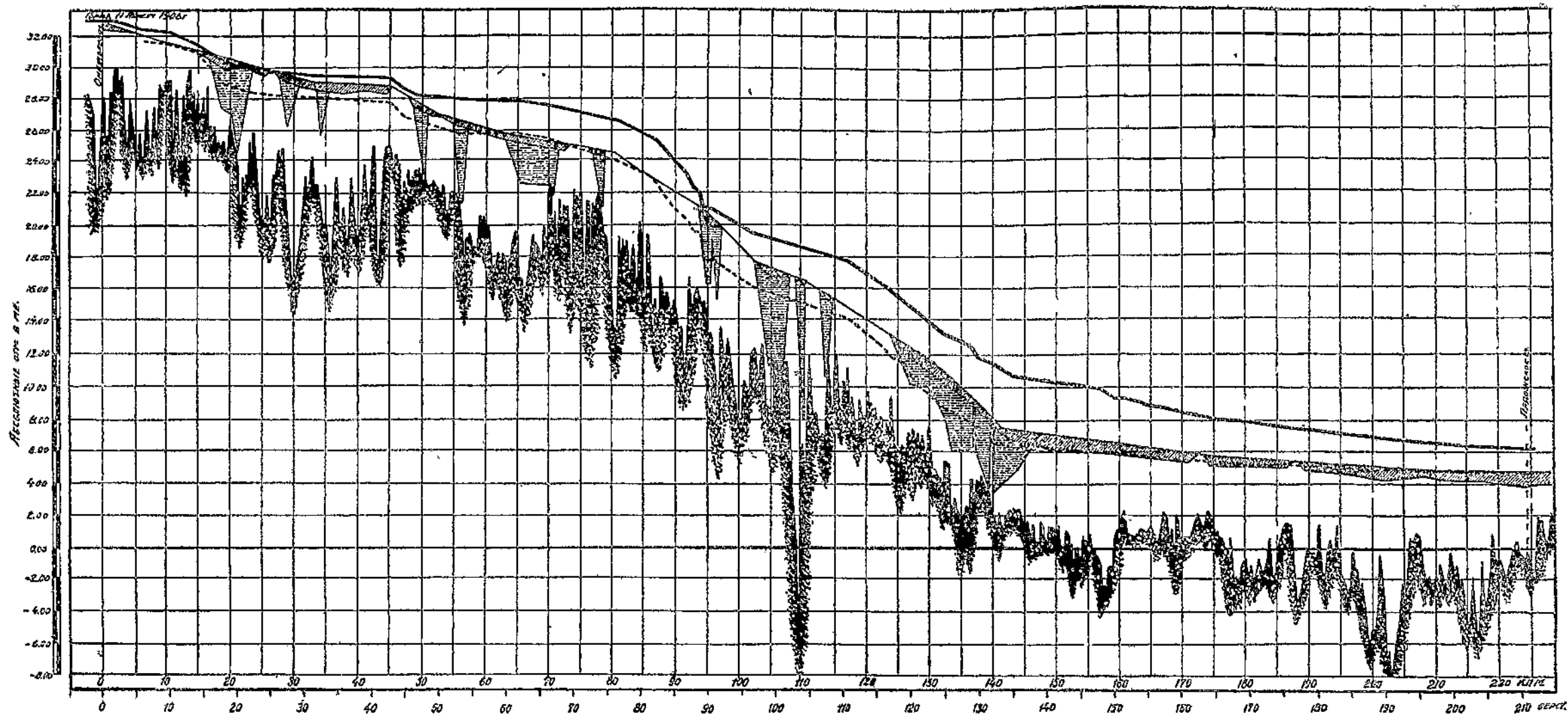


Рис. 1. Продольный профиль р. Свири.

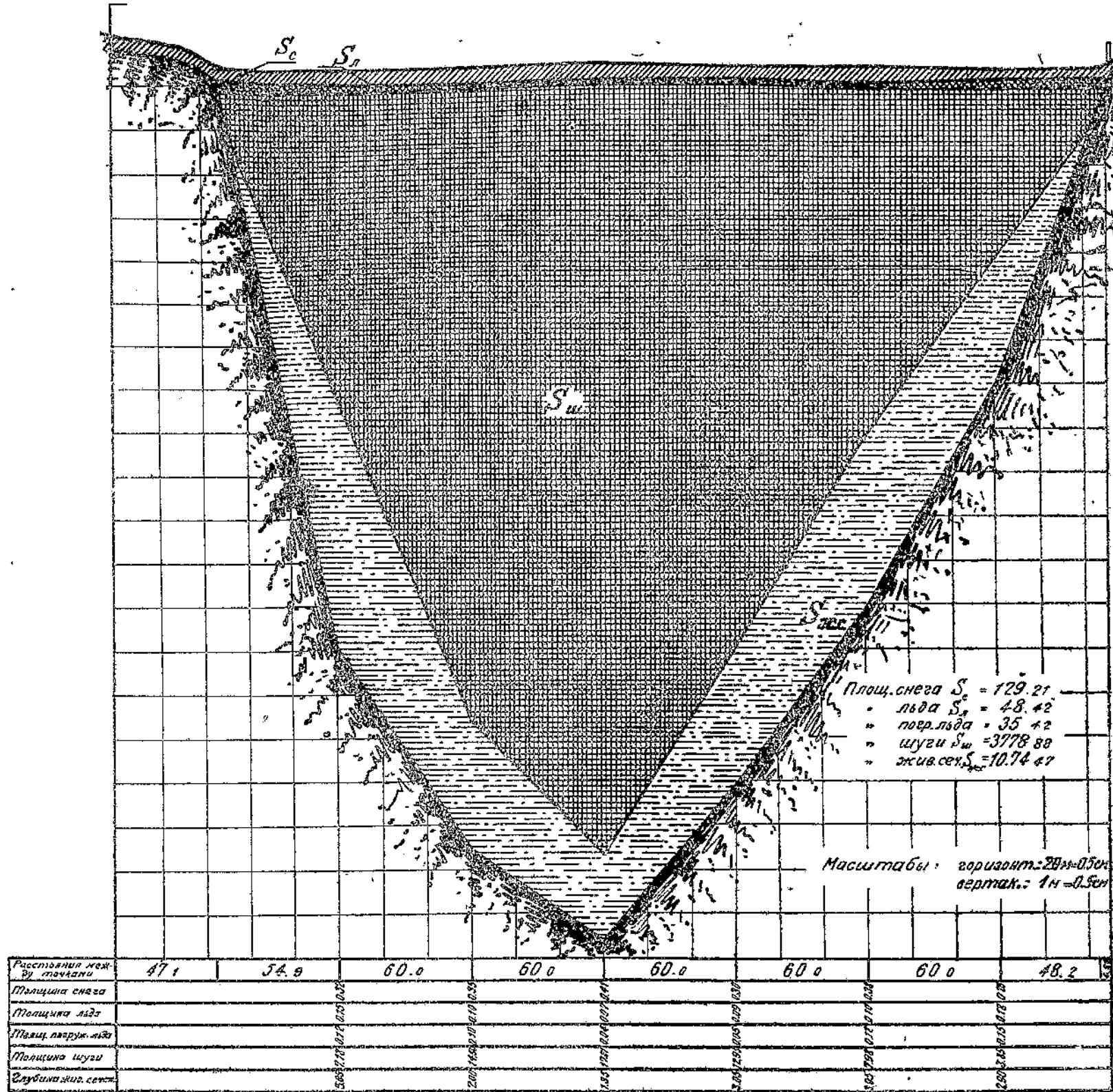


Рис. 3. Поперечный профиль р. Свири на 110 км от истока (Погов плес).

Благоустройство
 малым гидро-
 делах Погов
 воды в Погов
 ностью Погов
 километрах
 ных узлах
 татом де
 жений
 в самом
 д) К
 в рай
 следован
 своей це
 загорно
 ное его
 воды. Н
 плесе, и
 на 13 по
 небольш
 шугой в
 достигал
 нения, ч
 остающе
 может в
 перемыш
 оправда
 отличаю
 Исключ
 в 1929
 поверхн
 шей вол
 при про
 щина л
 в район
 тогда к
 Как
 в течени
 значени
 ниям и
 щее и
 до пол
 происх
 тепла с
 своей
 процес
 покров
 В ук
 холоди
 изведе
 регам

Благодаря значительной глубине закорного нагона в Поповом плесе, замерзающего в плотный барьер с поверхностным льдом, и сравнительно малым глубинам на расположенном ниже пороге Курмичи—ледоход в пределах Попова плеса в значительной степени зависит от подъема горизонта воды в р. Свирь. Последний же обусловлен главным образом питоиспавностью половодья р. Вижинки, впадающей в р. Свирь на несколько километров ниже Попова плеса. Таким образом, низовая группа закорных узлов, образующихся в пределах сооружения № 3, является результатом деятельности главным образом незамерзающих порогов, расположенных ниже Попова плеса, который участвует в их формировании лишь в самом начале зимы до образования на нем поверхностного льда.

д) Комплексные стационарные исследования проводились в районе постройки сооружения. Стационарные исследования зимнего режима в пределах постройки сооружения № 3 имели своей целью изучение условий образования, развития и рассасывания закорного узла, образующегося ежегодно в означенном месте, и возможное его влияние на прочность перемычки и на повышение горизонтов воды. Наблюдения носили в общем тот же характер, что и на Поповом плесе, и сводились к периодическим промерам ледяного покрова и шуги на 13 поперечных профилях. Река Свирь в районе постройки разделяется небольшим островом Негежа на два рукава. До возведения перемычки лугой забивался то левый, то правый рукав, причем размер забития достигал 50% полного живого сечения реки. Возникли некоторые сомнения, что после закрытия левого рукава перемычкой степень забития остающейся свободной части реки в пределах перемычки увеличится и может вызвать значительные повышения горизонтов у верховой части перемычки. Как показали последующие измерения, эти опасения не оправдались, и условия нарастания зазора выше и ниже перемычки мало отличаются от естественных.

Исключительная сила весеннего ледохода, отмеченная на р. Свирь в 1929 г., объясняется суровой зимой, способствовавшей образованию поверхностного льда значительной мощности, и дружной весной, вызвавшей вследствие питоиспавного роста уровней преждевременный ледоход при прочном еще ледяном покрове. Действительно, максимальная толщина ледяного покрова по измерениям в означенную зиму достигала в районе сооружения № 3 и сопредельных с ним участков 0,80—1,00 м, тогда как в предшествовавшие зимы она не превышала 0,50—0,80 м.

Как известно, толщина поверхностного льда, постепенно нарастая в течение зимы, достигает в наших климатических условиях максимального значения обычно в марте. С этого момента благодаря наступающим оттепелям наблюдается сначала медленное, а затем постепенно увеличивающееся утонение ледяного покрова, который к моменту ледохода теряет до половины своей наибольшей за зиму толщины. Параллельно с этим происходит процесс перерождения льда, изменяющего под действием тепла свою структуру и теряющего значительную часть первоначальной своей прочности. Чем значительнее эти подготовительные к ледоходу процессы, тем облегченнее происходит освобождение реки от ледяного покрова.

В указанную зиму подготовительные процессы на р. Свирь вследствие холодной весны почти совсем не получили развития. Действительно, произведенные непосредственно перед вскрытием реки промеры на реке и по берегам после окончания ледохода указали, что лед сохранил свою наиболь-

ную первоначальную толщину в 0,80—1,00 м, структура и прочность его к моменту ледохода также почти не изменилась, о чем свидетельствуют переправы по льду, существовавшие во многих местах р. Свирь даже в день первой подвижки. Отмеченные обстоятельства явились главной причиной значительной заторной деятельности и разрушительных эффектов, потребовавшихся в 1929 г. для освобождения реки от льда.

Обращаясь от этих общих соображений к более детальному описанию ледохода 1929 г., необходимо прежде всего отметить, что начало подъема уровня на р. Свирь в районе сооружения № 3 обозначилось с вечера 5 мая. К утру 9 мая общий подъем горизонтов на реке достиг около 1,50 м и в связи с этим были зарегистрированы первые подвижки на 137 км (129 версте), на 143 км (134 версте) у острова Негежмы и на 149 км (141 версте) у с. Пиркиничи. Сплошной ледоход выше строительства начался 10 мая, а ниже — 11 мая — рано утром. Окончательное очищение реки от льда происходило в разных участках в разное время, причем сверху ледоход закончился утром 11 мая, на строительстве — около 15 мая, в Пиркиничах — 16 мая. При этом последние дни лед шел исключительно обвалный с берегов и благодаря высокой температуре (температура воды около 6°) быстро таял по пути, не уходя далеко.

Для характеристики силы ледохода можно отметить следующие подробности:

1) В районе 138—143 км (130—135 версты) после ледохода встречались береговые нагромождения в 8—9 слоев поверхностного льда, достигавшие высоты в 8—10 м при той же ширине.

2) Ниже 149 км (141 версты) имеющаяся здесь пойму покрыта полоса льда около 200 м шириной, при длине в 1,6 км и общей толщине до 6 м.

3) Отдельные льдины, встречавшиеся на берегу после ледохода, достигали длины 8 м при ширине до 5 м и толщине в среднем от 0,8 до 1 м.

4) Оба берега реки, подвергшиеся действию значительных распоров от льда, получили во многих местах заметную деформацию в виде срезов и смещений. Наиболее крупные из этих повреждений берега следующие:

а) на левом берегу р. Свирь на 144 км (135,2 версте) в Клинцовой Каре льдом вышерло холм земли высотой до 3 м и общим объемом до 50—60 м³;

б) на 141 км (132,2 версте) в отгороде Ясянена льдом вспахало полосу длиной около 10 м, шириной 3 м и глубиной до 1,5 м.

5) Много пастосов и сооружений получили значительные повреждения, так, например:

а) в дер. Семеновщина на 149 км (140 версте) снята льдом и прижата к соседнему дому изба гр. Громовой;

б) в большей или меньшей степени повреждены ледоходом постройки в Харьевщине, Пиркиничах, Ивановщине;

в) пристань в Важицах и Лодыном Поле сильно помята, причем несколько погнуты тройные кусты свай;

г) телефонная линия во многих местах совершенно разрушена на расстоянии нескольких километров. По словам монтеров, давлением льда перерваны новые телефонные столбы толщиной до 32 см. Встречаются по берегам такой же толщины березы, сложенные льдом.

д) На рижевой пристани строительства обнаружен погнутый ледоходом железный уголок № 12.

Измерения температуры льда на разной глубине от поверхности. Вопрос о нормах давления ледяного покрова на гидротехнические сооружения при температурных деформациях, также крайне интересовавший проектное бюро строительства, упирался, с одной стороны, в неисследованность колебаний температуры льда, а с другой — в зависимость ее от атмосферной температуры. Ввиду этого на р. Свирь на 75 км, в районе работ Мятусовской гидрометрической станции, были организованы со второй половины зимы

1928—1929 гг. специальные измерения температуры льда на разной глубине. Толщина кристаллического льда в намеченном для наблюдений месте ко времени начала измерений (17 марта 1929 г.) достигала 0,51 м при глубине снега на его поверхности в 0,40 м. В лед были втоплены три почвенных термометра с погружением ртутного шарика на глубину 0,05 м, 0,25 м и 0,50 м, и по ним ежедневно трехкратно производились измерения температуры, законченные 4 мая, в виду слабого состояния льда и образования воды у термометров. Эти наблюдения были возобновлены 18 февраля 1930 г. при толщине льда 0,36 м и снеговом покрове 0,08 м. Термометры были установлены на глубине 0,05, 0,30 и 0,36 м. Наблюдения были прекращены 11 апреля в виду слабости льда.

Произведенные термометрические измерения указали на существование известной синхронности кривых хода температуры льда и воздуха с небольшой сдвижкой экстремных значений во времени. Эти отставания максимальной и минимальной температуры льда от соответствующих для воздуха тем значительней, чем глубже расположена точка наблюдения от поверхности льда. Амплитуда колебания температуры уменьшается по мере углубления в толщу льда. Так, например в 1929 г., при изменении температуры воздуха до $-19,2^{\circ}\text{C}$ температура льда на глубине 0,05 м от поверхности падала до $-8,2^{\circ}$; на глубине 0,25 м падение температуры льда не превышало $-5,6^{\circ}$, а на глубине 0,50 м — всего $-2,1^{\circ}$. В 1930 г. при изменении температуры воздуха до $-22,5^{\circ}$ температура ледяного покрова на глубине 0,05 м падала до $-10,7^{\circ}$, на глубине же 0,36 м падение температуры не превышало $-3,8^{\circ}$. Значительное понижение температуры льда получалось лишь при длительном стоянии морозов, кратковременные же понижения температуры воздуха в течение одной ночи почти не отражались на показаниях термометров, втопленных в лед.

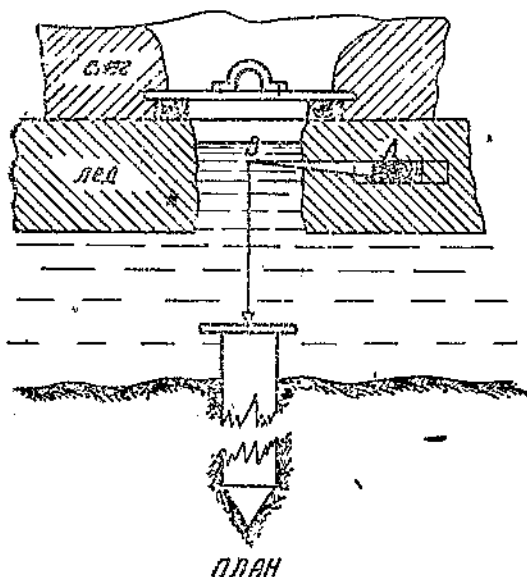
Попытки получения зависимости между температурами воздуха и льда на разных глубинах не дали удовлетворительного результата. Изучение распределения температуры льда по глубине вертикали показало, что эпюры имеют форму, весьма схожую с формой скоростных кривых, с расположением средней температуры на глубине 0,5—0,6 толщины льда.

Параллельно с изучением температуры льда были организованы наблюдения над расширением и сжатием ледяного покрова. Для этих наблюдений был выбран участок у левого берега Свирской губы Онежского озера между мысом Коровинец и Вознесенской пристанью. В толщу льда был втоплен стержень-указатель, острый конец которого выходил в прорубь (рис. 4). В дно русла, в месте расположения проруби, была забита свая, к которой прибита доска, разделенная на квадраты размерами по 0,01 м в стороне. Каждый квадрат имел свою нумерацию. Отвес, опускавшийся с конца стержня, показывал местоположение острия и его перемещение по доске. Наблюдения по указанному прибору производились два раза в сутки в течение второй половины марта 1929 г. Эти измерения указали на существование перемещений ледяного покрова в разных направлениях, причем размах этих перемещений проходил в пределах до 2—3 см. Во избежание замерзания прорубь закрывалась деревянной крышкой, забрасываемой поверх слоем снега.

Второй способ определения перемещений ледяного покрова — посредством двух вех, втопленных в лед и засекаемых теодолитом с двух концов базиса, разбитого на берегу, не дал определенного ответа на вопрос о величине деформаций ледяного покрова. Причиной этого была

недостаточная точность нониуса горизонтального лимба теодолита, бывшего в распоряжении гидрометрического отряда, благодаря чему ошибка в определении координат засекаемых вех была больше наблюдавшихся перемещений ледяного поля.

Произведенные измерения показали, что средняя температура ледяного покрова за время наблюдений, как указывалось выше, менялась в пределах от 0° до $-5,6^{\circ}$. Учитывая более суровые зимы, возможные в климатических условиях р. Свирь, можно предполагать, что в бесснежные или малоснежные зимы средняя температура льда может упасть до -12° и даже до -15°C . Коэффициент кубического расширения льда на 1°C , по исследованиям Струве (1845 г.), Плюккера и Гейслера (1852 г.), Петтерсона (1883 г.), Эндрыуса (1885 г.) и Никольса (1889 г.), получился равным от 0,0001585



до 0,000168 или в среднем может быть принят равным 0,00016, следовательно коэффициент линейного расширения будет равен 0,000053. При этих условиях общее расширение слоя льда длиной в 1 км при изменении его температуры на 15 градусов выравняется в 0,79 м. Полученная цифра очень близка к приводимым в труде Barnes'a «Ice Engineering» результатам аналогичных данных американских исследователей давления

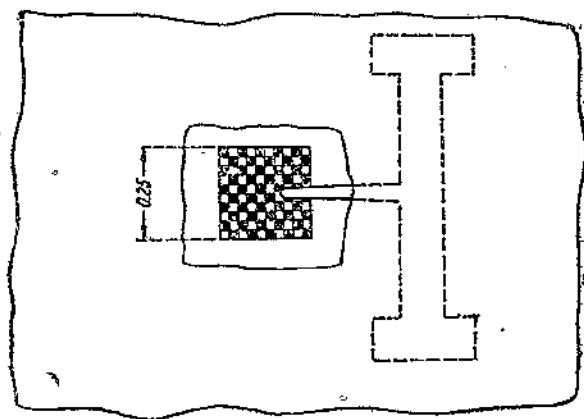


Рис. 4. Схема устройства для наблюдения над расширением и сжатием ледяного покрова.

льда на гидротехнические сооружения Соуфера и Бёрдслея (E. R. Beardsley).

Полученная довольно значительная цифра перемещения ледяного поля размерами в 1 км, зависящая от температурных изменений, находится на первый взгляд в противоречии с приведенными выше наблюдениями над фактическими деформациями ледяного покрова, давшими в истоке р. Свирь из Онежского озера величину порядка 2—3 см. Противоречие это объясняется повидимому тем, что ледяной покров водосмов

вследствие сопротивления берегов не может свободно расширяться, поэтому большая часть температурных деформаций поглощается «грядками» или «морщинами», и трещинами ледяного поля. Такие гряды наблюдаются на всех значительных озерах в теплые периоды, следующие за холодными. Они действуют наподобие расширительных швов, поднимаясь и пропускаясь вместе с расширением и сжатием ледяного покрова, причем размер их обычно увеличивается от берегов к центру озера. Вследствие наличия таких гряд, поглощающих большую часть температурной деформации, перемещения ледяного покрова по краям поля не могут быть значительны, что и отмечено наблюдениями в истоке р. Свирь.

Наличие температурных гряд в ледяном покрове озер отмечено американским исследователем Соузером в его исследованиях некоторых озер штата Мэн, произведенных в зиму 1910 г.¹ Такие же гряды наблюдались на озерах Ильмень и Воже. Плановая форма этих гряд зависит от конфигурации озера: на оз. Ильмене гряда обычно имеет форму замкнутой кривой, тянущейся параллельно берегам; на оз. Воже, имеющем вытянутую форму, гряда располагается по середине озера, параллельно береговой линии вытянутых сторон озера.

4. Некоторые выводы по зимнему режиму р. Свирь.

а) Общие соображения и сравнительные данные о времени вскрытия и замерзания р. Свирь и р. Волхова. Произведенные в течение двух полных зимних периодов 1928—1929 и 1929—1930 гг. исследования позволяют уже в настоящее время сделать некоторые общие выводы по вопросам, интересовавшим как проектировщиков, так и строителей свирских гидросиловых и гидротехнических сооружений. Одним из таких вопросов является вопрос о длительности осенних и весенних ледоходов и количестве льда, транспортируемого рекой в эти периоды как в естественном состоянии, так и после постройки водоподпорных сооружений. От того или иного ответа на поставленный вопрос зависит правильное назначение размеров водопропускных отверстий в перемычках и в плотине, а также в не меньшей степени и календарный план строительных работ.

Как показала однодневная нивелировка, продольный профиль верха р. Свирь состоит из большого числа различных по уклону участков со скоростями, изменяющимися в весьма значительных пределах. Благодаря отмеченному обстоятельству замерзание на р. Свирь происходит не дружно. В то время как некоторые плесовые участки уже покрыты льдом, другие, с более бурным течением, остаются еще долго открытыми, а некоторые не покрываются льдом в течение всей зимы.

В таких условиях определение длительности весеннего и осеннего ледоходов, ледостава и навигационного периода было бы неправильно производить по наблюдениям указанных явлений в порожистых, незамерзающих участках. Более характерными для поставленной цели являются пункты, расположенные в плесовых участках с относительно медленным течением, в которых условия замерзания зависят преимущественно от климатических условий места и которые являются диктующими в смысле навигационных сроков для всей реки.

Такими пунктами для р. Свирь являются водомерные посты Сермакса

¹ H. Barnes, Ice Engineering, стр. 46—54.

и Лодейное Поле, а для Онежского озера — Петрозаводск. По данным водомерных наблюдений появление первого сала на р. Свири отмечается почти одновременно на всей реке, в среднем около 9—15 ноября по новому стилю, при очень пестрой по времени картине окончательного замерзания между 22 ноября и 15 декабря. Последнее обстоятельство, как уже указывалось выше, является следствием различия скоростей в отдельных секциях р. Свири, благодаря чему формирование устойчивого ледяного покрова на участках со значительными скоростями затрудняется и запаздывает, а местами и вовсе не наступает в течение всей зимы (порог Медведевский, Ситовец и др.)

Нормальный срок окончательного замерзания для р. Свири, по данным водомерных постов плесовых участков Сермакса и Лодейное Поле, определяется датой 22—24 ноября, что почти в точности совпадает с аналогичным сроком окончательного замерзания р. Волхова у Гостинополья и Новой Ладогги (24 ноября и соответственно 26 ноября). В это же время устанавливается прочный ледяной покров и на многих других плесовых участках р. Свири, находящихся приблизительно в одинаковых условиях в отношении скоростей (Попов плес, плес между 53 и 74 км и целый ряд более мелких участков). Между этими частями со сплошным ледяным покровом располагаются участки, которые замерзают или позже указанного срока, или совсем не замерзают, в зависимости от той или иной скорости на них. В этих незамерзших секциях реки, в течение всего времени их открытия, движется лед, отрывающийся от кромок ледяного покрова и шуга, которые и регистрируются водомерными наблюдателями как осенний ледоход. Эти ледоходы на отдельных участках реки нельзя смешивать со сплошными осенними ледоходами, наблюдаемыми на реках в некоторые годы, когда переход от лета к зиме сопровождается длительным периодом перемежающихся оттепелей и заморозков, недостаточных для установления ледяного покрова даже на плесовых участках, но могущих вызвать переохлаждение всей массы воды в реке, обращаемой в этом случае на всем своем протяжении в источник образования донного льда.

В бассейне р. Свири вследствие суровости климата (средняя температура ноября месяца — $2,4^{\circ}$, декабря — $7,6^{\circ}$) такие длительные чередования морозов и оттепелей в осенний период наблюдаются в исключительные годы. В этом отношении р. Свирь может быть признана более благоприятной, чем многие реки южных широт, где период установления поверхностного льда ежегодно значительно растягивается вследствие мягкости предзимья.

б) Влияние Онежского льда на ледоходы р. Свири. Переходя от этих общих соображений к конкретному выяснению количества льда, транспортируемого рекой, необходимо прежде всего остановиться на роли р. Свири в разгрузке Онежского озера от льда.

Онежское озеро занимает огромную площадь в 9700 км^2 . Если бы ледяной покров со всей этой поверхности поступал в реку, то гидротехнические сооружения на р. Свири подвергались бы значительной опасности и необходимо было бы соответствующим образом запроектировать их, чтобы избежать задержек льда перед ними. Однако узкая полоса зеркала р. Свири в истоке ее из озера, не превышающая в наиболее суженном месте горловины 200 м, в связи с незначительными скоростями течения в истоке, достигающими всего $0,40\text{—}0,50 \text{ м/сек}$, обладает совершенно недостаточной пропускной способностью для транспор-

ровки всего озерного льда. Действительно, даже при самых благоприятных условиях — если бы лед все время поступал из озера сплошной, непрерывной лентой во всю ширину реки — максимальная пропускная способность р. Свири не превысила бы от 6,9 до 8,6 км² в сутки. При средней длительности ледоходного периода, определяемого по данным Вознесенского водомерного поста в 32 суток (от 14 апреля по 16 мая), максимальные возможные участия р. Свири в разгрузке Онежского озера от льда достигало бы всего от 220 до 276 км² или от 2,3 до 2,8% полной поверхности озера.

И самая конфигурация юго-западной оконечности Онежского озера вместе с двумя довольно глубоко вдающимися в озеро косами — у мыса Куликова и мыса Новый нос — частично препятствует прониканию озерного льда в р. Свирь. Это обстоятельство в связи с направлением господствующих во время ледохода ветров (апрель, май) и отмеченными выше незначительными по величине и затухающими вблизи от истока реки скоростями течения, создает условия, далеко не благоприятные для вытягивания озерного льда в реку, и отводит, таким образом, р. Свири в разгрузке озера от льда весьма скромную роль.

Фактические наблюдения в истоке р. Свири над поступлением озерного льда, начатые весной 1929 г. и повторенные весной 1930 г., показали, что лед из озера идет далеко не сплошной полосой, и часто в ледоходе наблюдаются длительные перерывы. Так, например весной 1929 г. при общей длительности ледоходного периода из озера в 20 суток было отмечено четыре дня с полным отсутствием ледохода; в 1930 г. при длительности ледохода в 26 суток зафиксировано двадцать дней без ледохода.

Общее количество озерного льда, поступившего в р. Свирь за весь весенний ледоход 1929 г., определилось по этим наблюдениям в 37,3 км², или около 0,4% полной поверхности Онежского озера. В 1930 г. количество озерного льда не превышало 5,8 км², или 0,06% поверхности озера. При средней толщине плывущего льда в 1929 г. в 0,4 м, а в 1930 г. в 0,10 м, полный объем льда составлял таким образом $14,9 \times 10^6$ м³ и соответственно $0,6 \times 10^6$ м³. Скорость движений льда, определявшаяся по засечкам на створах, равнялась у левого берега 0,25—0,30 м/сек, в середине реки 0,50—0,60 м/сек, и у правого берега 0,40—0,50 м/сек. При движении льда сплошной массой скорость не превышала 0,35—0,40 м/сек.

Указанное небольшое количество озерного льда, фактически поступающего в р. Свирь из озера, не заходит далеко в реку, так как частично нагромождается на верхние луды, останавливающие его дальнейшее распространение, частично разбивается на порогах и тает в верховом участке реки, только в исключительные годы достигая Подпорожья (95 км от истока). Это усматривается из записей водомерных постов о времени ледохода. Онежское озеро освобождается от льда в среднем около 19 мая. При проникании озерного льда далеко в реку окончательное очищение ее отмечалось бы водомерщиками также около указанного времени. Между тем такое позднее очищение от льда наблюдается лишь в верховом участке от пристани Вознесенье до Мятусова (82 км), где происходит поступление озерного льда в реку. На всем же остальном протяжении река очищается от льда на три недели раньше, а именно, около 30 апреля.

В низовом конце верхового участка у с. Мятусова прохождение более

позднего озерного льда наблюдается только в исключительные годы, а ниже указанного пункта озерный лед никогда водомерщиками не отмечался. Причиной этого обстоятельства является слабость озерного льда, успевающего вследствие позднего выхода в реку в значительной степени изменить всю структуру и обращающегося под действием солнечной теплоты в хрупкую, легко ломающуюся на мелкие части массу. Попадая в таком ослабленном состоянии в реку, озерный лед разбивается на порцистых участках на мелкие части, быстро таящие в нагретой воде.

в) Сравнительное количество льда, которое транспортируется рекой к местам сооружений. Таким образом при определении количества льда, транспортируемого рекой к местам проектируемых на р. Свири сооружений № 2 и 3, можно не принимать в расчет озерный лед, учитывая лишь площадь и толщину ледяного покрова самой р. Свири, выше означенных сооружений перед ледоходом.

Общая длина р. Свири выше сооружения № 2 равна 97 км, а до сооружения № 3 — 145 км при средней ширине около 250 м. Из этой площади необходимо исключить следующие незамерзающие участки: 1) голый участок, примыкающий к Онежскому озеру длиной 35 км (от 0 до 35 км), на котором поверхностный лед под влиянием развешающего действия теплой озерной воды исчезает до ледохода; 2) участок длиной 2 км у Остречинского порога (46—48 км); 3) участок длиной 3 км у Пидемского порога (72—75 км); 4) участок длиной 3 км у Яблонского порога (82—85 км); 5) участок длиной 3 км у Медведцекого порога (87—90 км); 6) участок длиной 2 км у Сиговского порога (95—97 км); 7) участок длиной 7 км у порогов Ольховец, Петручей и Рабиновые луды (100—106 км); 8) участок длиной 2 км у Кезоручья (111—112 км); 9) участок длиной 10 км у порогов Железный, Степановщина, Уланский, Карелка и Толстой (114—125 км). Таким образом общая длина ледяного поля р. Свири на участке выше сооружения № 2 к моменту ледохода составит $97 - 48 = 49$ км, а для сооружения № 3 $145 - 48 - 19 = 78$ км. При средней ширине реки в 250 м это даст общую площадь поверхностного льда, поступающего к сооружению № 2, в $12,2$ км², а к сооружению № 3 — в $19,5$ км².

Для оценки этих цифр приведем аналогичные данные по р. Волхову. Протяжение верхового участка р. Волхова от истока из оз. Ильмень до гидросиловой установки достигает 198 км при длине не участвующих в весеннем ледоходе частей реки в 85 км. Таким образом лед к месту сооружения поступает с участка протяжением около 113 км, что при средней ширине реки около 250 м дает площадь $28,2$ км². Эта цифра почти в 2,5 раза превышает размер ледяного поля, поступающего на р. Свири к сооружению № 2, и в 1,5 раза больше соответствующей цифры для сооружения № 3.

Переходя к сравнительной оценке толщины льда при ледоходе, необходимо отметить, что температурные условия в бассейне р. Свири являются более суровыми, чем на р. Волхове. Действительно, средняя многолетняя зимняя температура (ноябрь — март) для р. Волхова составляет $-5,9^{\circ}$, а для Свири $-6,9^{\circ}$ по С. В соответствии с этим лед на р. Свири достигает несколько большей толщины, чем на р. Волхове. Так, например, в 1927 г. толщина ледяного покрова в

зимние месяцы в плесовых участках колебалась в следующих пределах (таблица 2):

ТАБЛИЦА 2

Наименование реки	Январь	Февраль	Март
р. Свирь	53	68	80
р. Волхов	38	51	60

Учитывая это обстоятельство, общую массу поверхностного льда, транспортируемого р. Свирью к месту сооружения № 3, можно считать во всяком случае не больше, чем на р. Волхове, а к сооружению № 2 — значительно меньше. Если к этому добавить, что длительность весеннего ледохода на р. Свири — вследствие большей извилистости ее, наличия крутых поворотов, значительного числа островов, сужений русла, порогов и луд, задерживающих лед — достигнет в среднем 5—6 суток, в то время как Волхов освобождается от льда в течение 2—3 суток, то можно признать, что условия весеннего ледохода в бытовых условиях на р. Свири для сооружения № 2 более легкие, а для сооружения № 3 во всяком случае не тяжелее, чем на р. Волхове.

г) О возможном влиянии подпора от плотин на ледостав, ледоход и длительность навигации. Сооружение на р. Свири гидросиловых установок с подпором горизонтов от плотин несколько видоизменит вышеописанный бытовой характер ледового режима. Изменение коснется главным образом незамерзающих в естественном состоянии участков реки. Эти участки в отношении скоростей перейдут в число плесовых участков со сравнительно медленным течением, на которых ледяной покров будет устанавливаться одновременно с нижним бьефом сооружения № 3, т. е. около 24 ноября. Таким образом наличие плотин увеличит лишь длину плесовых участков р. Свири и не окажет влияния на срок замерзания, а следовательно и на конец навигации.

Что касается времени первой подвижки и весеннего ледохода, то в этом отношении ожидать значительных изменений также не приходится по следующим соображениям. Подпор от плотин, уменьшив скорости течения, создаст более благоприятные условия для скорейшего образования поверхностного льда в верхних бьефах плотин, причем возможно некоторое утолщение ледяного покрова по сравнению с наблюдающимся в естественных бытовых условиях. Однако, в противовес этому в связи с перекрытием порогов и их замерзанием надо ожидать если не полного прекращения, то во всяком случае значительного уменьшения образования донного льда и зажоров. Уменьшение же зажорных накопов в отдельных участках реки должно несомненно благоприятно отразиться на весенних ледоходах как вследствие уменьшения толщин шуги, так и вследствие более слабого смерзания ее с поверхностным льдом. Последнее объясняется регеляцией донного льда, прижимаемого давлением снизу к ледяному покрову: чем донного льда под ледяным покровом скопится меньше, тем слабее давление его снизу вверх и тем слабее смерзание и общее уплотнение зажорного узла.

Весенний ледоход на р. Свири обуславливается главным образом

подъемом воды, поступающей из плавнейших ее притоков. Благодаря этому подъему лед отрывается от берегов и дна и сносится течением вниз. Так как участок р. Свири ниже сооружения № 3 остается в естественных условиях, то ледоход на нем будет протекать нормально. Ледоход верхнего бьефа этого сооружения зависит в значительной степени от половодья р. Важники, дающей до $600 \text{ м}^3/\text{сек}$ расхода, которым и производится отрыв ледяного поля от берегов, подъем и снос его вниз по течению. Величина подпора от плотины у устья р. Важники достигает $1,25 \text{ м}$, однако вследствие значительного уклона р. Важники этот подпор не распространяется далеко, выклиниваясь вблизи ее устья. Таким образом режим р. Важники как в смысле расходов, так и в смысле уровней не потерпит от подпора сколько-нибудь ощутительных перемен, и поэтому нет достаточных оснований ожидать изменений времени ледохода на р. Свири между сооружением № 2 и 3. Наличие секторного затвора плоских щитов на плотине позволит сбросить лед с верхнего бьефа непосредственно вслед за очищением нижнего бьефа, которое будет происходить как в естественных бытовых условиях.

Отрывание, подъем и снос ледяного покрова верхнего бьефа сооружения № 2 производится полой водой впадающих в эту часть р. Свири притоков, из которых наиболее существенную роль играет р. Ивина, дающая весной до $800 \text{ м}^3/\text{сек}$. Подпор у устья р. Ивины достигает уже значительной величины (до 4 м), и распространение его вверх вследствие малого уклона устьевых участков р. Ивины довольно значительно. Однако это обстоятельство не отразится на режиме расходов р. Ивины, так как расходы эти зависят лишь от температурных условий весны. Здесь сброс льда можно будет произвести также непосредственно после очищения нижнего бьефа.

Таким образом р. Свирь в отношении времени замерзания и очищения от ледяного покрова и длительности навигации будет всецело зависеть от устьевых участков. Он останется в естественном бытовом состоянии и будет попрежнему играть роль диктующего в смысле навигационных сроков.

Общее количество поверхностного льда, которое будет транспортироваться рекой к плотинам, несколько превысит количество его в естественном состоянии. Это увеличение произойдет за счет возможного утолщения ледяного покрова и замерзания целого ряда порогов, которые в настоящее время вследствие значительных скоростей течения остаются открытыми в течение всего зимнего периода. Однако указанное увеличение площади ледяного покрова не будет значительным, так как коснется главным образом майн среднего течения р. Свири, общее протяжение которых не превышает 32 км . Что же касается верхового участка в истоке р. Свири из Онежского озера, то участок этот длиной 35 км попрежнему будет оставаться к моменту ледохода открытым, так как отсутствие здесь ледяного покрова является результатом разъедающего действия теплой озерной воды, которая будет аналогичным образом действовать и после поднятия подпора плотинной сооружения № 2.

Отмеченное выше небольшое увеличение количества поверхностного льда будет в значительной степени компенсироваться соответственным уменьшением количества дриного льда, вырабатываемого рекой. Таким образом постройка на р. Свири подпорных сооружений должна изменить условия ледового режима скорее в благоприятную сторону, чем наоборот.

д) Движение лед на р. Свири не его опасность для

строющихся сооружений. Незначительные скорости течения в плесовых участках, как уже указывалось выше, являются факторами, чрезвычайно благоприятными для быстрого формирования стационарного ледяного покрова. Что же касается порожистых частей реки, то они в зависимости от тех или иных скоростей покрываются льдом или позже, или остаются открытыми в течение всего зимнего периода. Эти незамерзающие части водной поверхности, соприкасаясь с морозным воздухом, испытывают беспрерывное охлаждение, которое вследствие интенсивного перемешивания струй передается всей водной массе, несомой рекой. Результатом является переохлаждение воды, начинающей выделять кристаллы донного льда, который наблюдается во всей толще потока. Этот выкристаллизовавшийся лед заносится в расположенные ниже покрытые льдом участки с тихим течением и здесь вследствие своего удельного веса, меньшего единицы, всплывает и удерживается под нижней поверхностью ледяного покрова, иногда смерзаясь с последним. Нарастая здесь в объеме, донный лед создает препятствие свободному течению потока, вызывает тем самым повышение уровней в лежащих выше участках реки.

Количество донного льда, вырабатываемого рекой в отдельных ее секциях, зависит от размера незамерзающей ее поверхности, по которой происходит соприкосновение воды с морозным воздухом, и температуры последнего. В бытовых условиях на р. Свири вырабатывается обычно значительное количество донного льда. Благодаря чередованию незамерзающих порогов и перекатов с плесовыми участками донный лед на р. Свири фабрикуется в нескольких местах и относится течением вниз, задерживаясь в местах с малыми скоростями. В этом отношении р. Свирь благоприятно отличается от р. Волхова, на котором имелся лишь один крупный незамерзающий перепад на Гостинопольских порогах. В соответствии с указанным отличием главные массы донного льда на р. Волхове сосредоточивались в одном месте — у подножия Гостинопольских порогов, образуя здесь мощный накоп донного льда общей емкостью в разные годы от $5,6 \times 10^6$ до $22,6 \times 10^6$ м³/см. («Материалы по исследованию р. Волхова и его бассейна», выш. XVIII, стр. 196.)

После сооружения Свирских установок главные группы порогов, будучи перекрыты подпорным горизонтом, начнут покрываться ледяным покровом одновременно с плесовыми участками и поэтому не будут представлять особой опасности в смысле возможности образования значительного количества донного льда. Исключение представит лишь верховой участок у истока р. Свири из Онежского озера, который и после подъема подпора сооружением № 2 будет большую часть зимы оставаться открытым вследствие разрушения поверхностного льда теплой озерной водой, как это наблюдается и в настоящее время. Поэтому есть основание опасаться частичной закупорки русла реки образующимся здесь донным льдом и падения расходов, подаваемых рекой из озера к установкам. Такие закупорки русла наблюдались несколько раз в естественных условиях и возможность образования их не исключена и в будущем при эксплуатации станции. В виду этого дадим краткое описание этого явления, зафиксированного в зимний период 1930—1931 гг.

Зимний период 1930—1931 гг. на р. Свири был отмечен значительным снижением бытовых расходов в отдельных участках реки вследствие закупорки русла потока скоплениями донного льда. Так, замеры расходов, произведенные в декабре 1930 г. и январе 1931 г. гидрометриче-

скими станциями, дали следующие результаты, расположенные в хронологическом порядке (таблица 3).

ТАБЛИЦА 3.

№ по порядку	Время определения расхода	Расходы воды в м ³ /сек			Примечание
		Пирки-нич	Матусово	Вознесе-нье	
	1930 г.				
1	18 ноября	742	—	—	Первые явления зим-ного режима на реке Свири в виде шуги, заберегов и т. п. отме-чены 22 ноября; окон-чательное замерзание 14—16 декабря.
2	5 декабря	—	—	665	
3	6 "	—	772	—	
4	10 "	—	650	—	
5	16 "	385	—	—	
6	19 "	—	—	123	
7	23 "	143	—	221	
8	26 "	—	—	315	
9	30 "	367	—	363	
	1931 г.				
10	2 января	425	428	451	
11	6 "	—	479	—	

Как усматривается из этих данных, после 10 декабря в Пиркиничях и Вознесеньи отмечено временное падение расходов, снизившихся с 650—750 м³/сек до 123—143 м³/сек вследствие образования зажорных закупорок русла. С 26 декабря наблюдается постепенное увеличение расходов вследствие рассасывания зажорных узлов. К началу января 1931 г. расходы по всей длине реки выровнялись, достигнув нормальной величины 400—450 м³/сек.

Приведенные выше наименьшие расходы р. Свири являются мини-мальными за все время наблюдения.

Аналогичная закупорка отдельных участков реки скоплениями доп-ного льда была зафиксирована гидрометрическими измерениями в зим-ний период 1920—1921 г., давшими результаты, приведенные в таблице 4.

ТАБЛИЦА 4.

№ по-рядку	Время определения расхода	Расход воды в м ³ /сек	
		Вознесенье	Пиркинич
	1920 г.		
1	12 октября	—	479
2	22 ноября	419	—
3	7 декабря	327	—
4	8 "	271	—
5	27 "	—	181
6	30 "	199	—
	1921 г.		
7	10 января	246	—
8	11 "	—	256
9	17 "	272	—
10	18 "	—	274
11	25 "	—	315
12	4 февраля	312	—
13	10 "	329	334
14	17 "	322	—
15	25 "	—	346

Как видно из этой таблицы, расходы р. Свири у Ширкианчей и Вознесенья обнаружили временное снижение с 400—450 м³/сек в начале ноября до 181—199 м³/сек в конце декабря с последующим восстановлением их до нормальной величины в конце января 1921 г.

Других случаев закупорки русла реки закупорными льдами и значительного уменьшения вследствие этого бытовых расходов реки непосредственными измерениями расходов за время с 1919—1922 гг. и с 1926—1930 гг. обнаружено не было. Поскольку же можно судить по водомерным данным за 1901—1930 гг., такие закупорки несомненно имели место значительно чаще. Так, есть основание полагать что подобные явления происходили в зимы следующих годов: 1901, 1907, 1912, 1920, 1930. Однако вследствие отсутствия в зимние периоды функциональной зависимости между расходами и высотой уровня определить соответствующие расходы воды в отдельных секциях реки не представляется возможным.

После постройки сооружения № 2 аналогичные явления закупорки истока р. Свири скоплениями донного льда несомненно будут продолжаться, так как майна в истоке реки будет попрежнему образовываться и при подпиртом бьефе, вследствие разъедающего действия на ледяной покров теплой озерной воды. А наличие майны вызовет образование донного льда, который и является причиной закупорки русла. Однако, учитывая меньшие скорости в истоке при подпиртом состоянии реки, можно полагать, что размер майны несколько уменьшится. Это обстоятельство в связи с значительными глубинами, которые установятся на реке после необходимых судоходных расчисток на величину 3—4 м от дна реки и подпора от плотины, дают основания ожидать некоторого смягчения степени наблюдающихся в естественных условиях стеснений русла шугой при эксплуатации станции.

Заключение.

Изложенный выше анализ зимнего режима указывает, что ледовые условия на р. Свири хотя и могут считаться достаточно серьезными, однако, как показывает опыт р. Волхова, особой опасности для гидротехнических сооружений в условиях эксплуатации представлять не будут. В отношении бесперебойной работы гидросиловых установок некоторые опасения вызывает закупорка русла в верховом участке р. Свири донным льдом и вследствие этого временное снижение расходов, подаваемых рекой к установкам.

Наиболее серьезной опасностью для работы станции явятся, однако, затяжные осенние периоды с перемежающейся сменой оттепелей и заморозков, недостаточных для образования стационарного ледяного покрова, но могущих вызвать переохлаждение всей массы воды в реке, которая обращается в этом случае на всем своем протяжении в источник выделения донного льда. Такие периоды в бассейне р. Свири наблюдаются хотя и редко, но возможность их вполне реальна. В виду этого станции должны быть так запроектированы, чтобы допускали возможность успешной борьбы с закупоркой водоподводящих устройств.

ОТДЕЛ ИЗЫСКАНИЙ СВИРСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ВЕДОМОСТЬ

для записи ледомерных наблюдений

Год _____ месяца _____

Река (канал, озеро) _____

Место расположения поста _____

Километр от истока _____

Округ _____

Отметки условные
над уровнем Балтийского моря

Репера водомерн. поста _____ м

Нуля _____ "

Сван № _____ "

" № _____ "

" № _____ "

" № _____ "

" № _____ "

№ по порядку	Наименование наблюдений	" " "число		" " "число		" " "число		" " "число	
		№ сван	возв. воды над сваней	№ сван	возв. воды над сваней	№ сван	возв. воды над сваней	№ сван	возв. воды над сваней
1	Отсчет уровня воды								
2	Температура воздуха по С°								
3	Температура воды по С°								
		Лунка близ берега	Лунка посредине реки	Лунка близ берега	Лунка посредине реки	Лунка близ берега	Лунка посредине реки	Лунка близ берега	Лунка посредине реки
	Расстояние до лунки от сван № _____ водомерного поста в м (приблизительно)								
5	Время наблюд. (часы)								
6	Толщина мягкого снега над ледяным покровом в см								
7а	Отсчет по ледомерной рейке в см Защитив поперечной планкой рейки за нижнюю поверхность плотного льда								
б									
в									
г									
д	Отсчет поперечной планкой рейки за нижнюю поверхность льда								
8	Глубина воды в лунке в м								
9	Описание поверхности ледяного покрова (ровный, изломанный, трещины и пр.)								
10	Полынья								
11	Снеговой покров								

Подпись наблюдателя:

№ профиля по порядку	Дата обследования и время по часам	Расстояние от истока версты		Местоположение обследуемого пункта	Краткое описание местоположения примерного профиля	Азимут или румб направле- ния профи- ря
		км	м			
1	2	3	4	5		

[illegible]

Если залегает на дне, отметить и указать толщину.

[illegible][illegible]

Доц. Д. С. Артамонов.

ДЕЙСТВИЕ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА РЕКАХ ВОЛЖСКОГО БАССЕЙНА

ПО ПРАКТИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ СУДОХОДЦА.

Предисловие.

Современные задачи гидроэлектрического строительства и, в частности, готовящаяся к ближайшему разрешению проблема Большой Волги, выдвигают ряд труднейших ледотехнических вопросов. Как изменится ледовый режим мощной реки после обращения ее в последовательность глубоководных плесов? Каково будет влияние нового режима на судоходство? В каких формах и размерах проявит лед свое действие на сооружения? Какие понадобятся меры борьбы? Эти и многие другие вопросы требуют ответов. От них зависит правильность концепции проектов в целом и в деталях.

Данных для нужных ответов у нас очень мало, так как в прошлом зимний режим рек изучался неудовлетворительно. Восполнить пробел в короткий срок нельзя. Нужны длительные систематические наблюдения и опыты. Но все же можно получить ряд ценных указаний, используя ведепия, накопившиеся у различных речных деятелей и среди них судоходцев.

Плавая много лет по рекам, выдерживая лично борьбу со льдом, вдумываясь в происходящие явления, обмениваясь между собой наблюдениями, такие лица представляют источник очень полезных знаний. Исходя из этих соображений, я обратился к Д. С. Артамонову, как обладающему крупным волжским судоходным опытом, с просьбой характеризовать ледяной покров рек Волжского бассейна по своим практическим наблюдениям. Результатом явился настоящий труд.

Руководитель группы ледотехники,

проф. В. Е. Тимонов.

I. Общая характеристика условий образования ледяного покрова.

Климат Волжского бассейна континентальный, т. е. с резкими различиями температуры между зимними и летними периодами и с небольшим количеством выпадающих осадков. Континентальность климата не везде

одинакова: усиливается в направлении с северо-запада на восток и юго-восток, она резко всего выражается в низовьях Волги (Прикаспийские степи со знойным летом и сравнительно холодными зимами). Самая низкая температура наблюдается в январе (реже в феврале), а самая высокая — в июле. Температурные условия отдельных районов Волжского бассейна приведены в табл. 1 (в $^{\circ}$).¹

ТАБЛИЦА 1.

Название пунктов	Средняя годовая	Средняя самого теплого месяца — июля	Средняя самого холодного месяца — января	Пределы колебаний (среднее)
Тверь (р. Волга) . . .	+ 3,9	+ 19,1	— 10,9	31
Кострома	+ 3,2	+ 18,9	— 12,0	30,9
Н. Новгород	+ 3,6	+ 19,7	— 11,7	31,4
Казань	+ 3,5	+ 20,2	— 13,5	33,7
Самара (р. Волга) . . .	+ 4,2	+ 21,4	— 13,5	34,3
Саратов	+ 6,0	+ 22,6	— 11,2	33,8
Астрахань „	+ 9,3	+ 25,4	— 7,5	32,9
Пермь (р. Кама)	+ 1,1	+ 18,6	— 15,9	34,5
Вятка (р. Вятка)	+ 1,3	+ 18,4	— 15,3	33,7
Уфа (р. Белая)	+ 3,1	+ 20,1	— 13,1	33,2
Москва (р. Москва) . . .	+ 3,9	+ 18,9	— 11,0	29,0
Калуга (р. Ока)	+ 4,5	+ 19,0	— 10,0	29,0

В зависимости от температуры определяется продолжительность зимы, а стало быть и ледяного покрова р. Волги. Так, если принять за зимние месяцы те, температура которых ниже 0° , за весну и осень — месяцы со средней температурой между 0° и $+15^{\circ}$ и за лето — период с температурой от $+15^{\circ}$ и выше, то в верхнем и среднем течении Волги самым продолжительным периодом будет зима, длящаяся 5 месяцев. Среднее количество дней со снеговым покровом равно 160 в северной части и 140 в южной части, причем снег выпадает (в среднем) в первых числах октября, а исчезает в средних числах апреля. В нижнем течении Волги зима продолжается всего 2—3 месяца. Количество дней со снеговым покровом здесь колеблется от 129 (Саратов) до 59 (Астрахань). Снег выпадает в первых числах ноября, а исчезает в первых числах апреля (Саратов) и даже марта (Астрахань).

Снеговой покров и вообще осадки в образовании ледяного покрова Волги, как мы это увидим ниже, играют весьма важную роль. Распределение осадков в бассейне Волги дает следующую картину: (среднее годовое количество осадков в мм):

Волга	Притоки р. Волги
г. Тверь 528	р. Кама, Пермь 573
„ Кострома 503	„ Вятка, Вятка 448,5
„ Казань 438	„ Белая, Уфа 726,6
„ Самара 377,7	„ Ока, Калуга 546,0
„ Саратов 378,3	„ Москва, Москва 533,0
„ Сталинград 309,0	
„ Астрахань 151,1	

¹ А. П. Ильинский в сборнике «Поволжье», изд. Транспечати Волжского госпароходства, Москва, 1925 г. и Г. Г. Спичиков, Справочн. «Поволжье», изд. Волжского г-ва, Москва, 1930 г.

Как видно из приведенных данных, количество выпадающих осадков в бассейне для отдельных его пунктов неодинаково. Количество осадков резко убывает сверху вниз, достигая минимума в устье р. Волги. Около 30% осадков выпадает в виде снега.

Третьим элементом климата являются ветры. Наибольшей силы они достигают в бассейне зимой. На ледяной покров ветры оказывают влияние осенью при образовании сала и весной — при первых подвижках льда; в последнем случае влияние ветров наиболее чувствительно в низовьях Волги, в Астраханском (Астрахань-Астраханский рейд) и Сталинградском (Сталинград-Астрахань) плесах. О влиянии ветра на ледяной покров будет сказано ниже.

Движение ветров в бассейне Волги определяется следующими факторами. В январе весь бассейн, особенно его восточная часть, находится в области азиатского высокого давления (антициклона). Средняя величина давления, равная 763 мм на северо-западе, достигает 770 мм на востоке. В юго-восточной части бассейна в это время преобладают восточные, а в остальном бассейне — южные ветры. Затем начинается понижение давления, причем процесс этот продолжается до июля. В июле центр области низкого давления (циклонической) расположен к востоку от бассейна. Переход от высокого январского давления к июльскому низкому происходит постепенно.

Приблизительно между Саратовом и Сталинградом бассейн Волги пересекается осью высокого давления, являющейся границей между сухой степной областью с преобладанием высокого давления и более влажной северной частью с давлением ниже 760 мм. Каспийские циклоны мало подвижны и оказывают влияние на ледяной покров только в районе Астраханского плеса и Астрахани; об этом будет сказано ниже. Наиболее сильными ветрами в навигацию являются ветры около первого июня (так называемые весенние штормы) и осенью (осенние штормы). Последние при условии сильного снегопада нередко служат причиной быстрого образования ледяного покрова.

Особое явление представляет собою юго-восточный ветер, дующий весной и осенью из средне-азиатских пустынь. Ветры эти сопровождается мгла (суховей), когда воздух теряет прозрачность, становится туманным, все окружающие предметы кажутся подернутыми дымкой, солнце представляет собою темный или оранжевый диск, температура повышается, а относительная влажность падает. Мгла родственна самому Аравии. Юго-восточные ветры сухи и горячи не только потому, что дуют из теплой страны, а еще и оттого (главным образом), что переносимые ими массы воздуха нагреты от огромного количества содержащихся в них частиц пыли. Эта пыль и составляет мглу.

Действие мглы хорошо известно водникам, плавающим в низовьях Волги (Астраханский и Сталинградский плес, где суда при юго-восточном ветре покрываются слоем тончайшей пыли. Во время таких ветров ни красить, ни мыть суда (наружные их части) нельзя; также весьма затрудняется и плавание.

Действие юго-восточных ветров распространяется по всему Астраханскому и Сталинградскому плесам, а иногда достигает даже г. Камышина (678 км выше г. Астрахани). При этом сила ветра по мере удаления к северу от Астрахани постепенно уменьшается. Влияние юго-восточных ветров на ледяной покров Сталинградского плеса огромно: осенью эти ветры препятствуют образованию ледяного покрова, а весной способст-

зуют быстрому таянию льда на месте, что и обуславливает значительную, но сравнительно с остальным бассейном, продолжительность навигации у г. Астрахани (разница до 2 месяцев) и на Сталинградском плесе (разница до 20 дней).

Подводя итоги сказанному, необходимо отметить, что по климатическим условиям весь бассейн р. Волги делится на две неравные резко различающиеся между собой зоны (рис. 1).

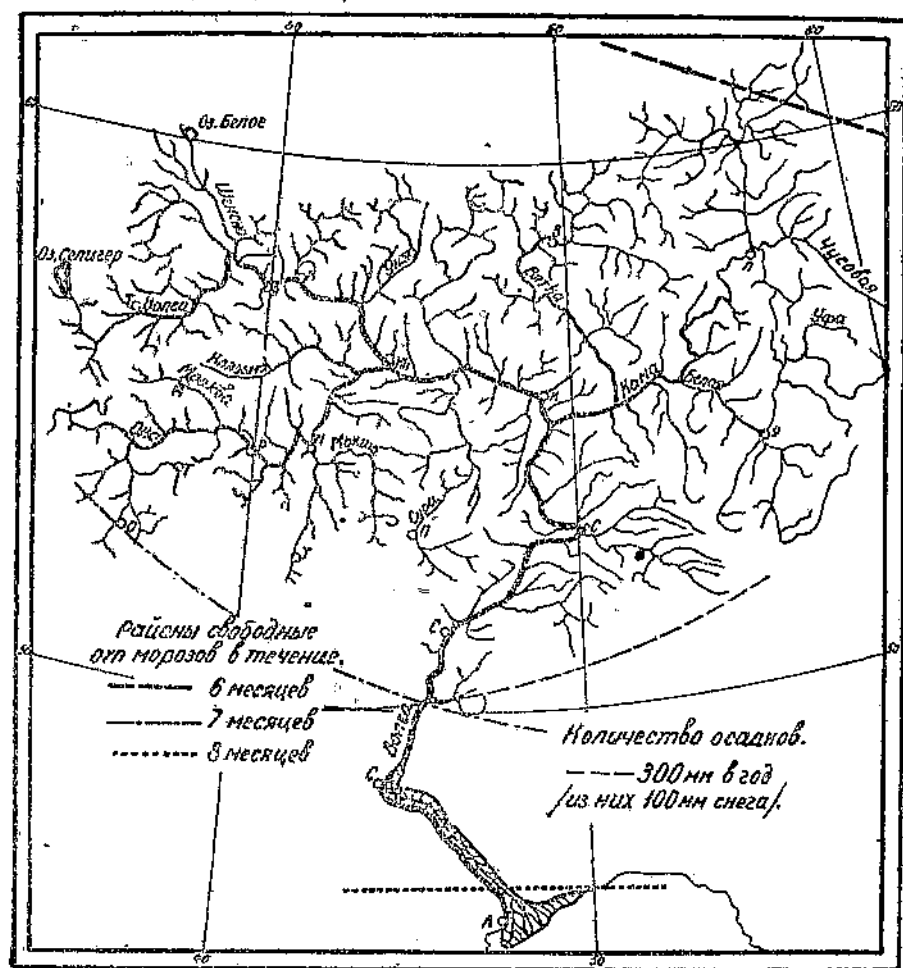


Рис. 1. Карта Волжского бассейна.

Первая, верхняя зона — примерно от г. Камышина вверх по р. Волге и по всем ее притокам. В этой зоне зимы суровые, замерзание рек происходит раньше, лед толще, ледяной покров держится дольше. Весенний ледоход происходит здесь вследствие подъема льда транзитной внешней водой.

Вторая, нижняя зона — от устья примерно до г. Камышина. Зимы здесь короче, лед тоньше, ледяной покров держится меньше, весенний ледоход начинается от влияния местных условий.

Следует, однако, оговориться, что Камышин не является постоянной границей обеих зон, а принимается лишь как условная средняя разделяющая линия на основании многолетних наблюдений. В суровые зимы и холодные весны линия раздела зон опускается к югу примерно на 200 км (до Сталинграда и даже ниже), а в особенно теплые зимы и весны поднимается выше, примерно до с. Золотого. Однако выше последнего поднятия указанной линии не наблюдалось. На рис. 1 показаны (приблизительно) пункты, где бассейн свободен от морозов 6, 7 и 8 месяцев).

II. Замерзание реки.

1. Общие сведения.

Все реки Волжского бассейна обычно покрываются льдом в течение октября — декабря. Нормально река замерзает не сразу, а в следующем последовательном порядке: сначала появляется сало и жужга, затем появляются отдельные льдины и начинается ледоход, после чего происходит полный ледостав. Промежутки времени между отдельными периодами и конечными моментами замерзания реки бывают весьма различны. Периоды эти, особенно между двумя первыми моментами — первым появлением сала и началом ледохода, для судоходства и слага имеют колоссальное значение.

Все реки Волжского бассейна замерзают при меженном уровне воды. Как общее правило, чем река меньше (русло уже, глубина меньше), тем короче периоды времени от появления сала до ледостава (рр. Унка, Ветлуга, Москва, Ока и др.) и наоборот. Чем быстрее течение на реке или на отдельной ее части, тем продолжительнее период между появлением первого сала и ледоставом и наоборот. Это явление происходит вне зависимости от зоны. Примером может служить низовье р. Оки от ее устья вверх на 15 км. Здесь течение тихое и ледостав наступает быстро. Те, кто бывал в Н.-Новгороде в начале зимы (в конце ноября — начале декабря), могли наблюдать любопытное явление: на р. Оке полный ледостав, по льду не только ходят пешеходы, но даже едут возы, а в нескольких сотнях метров ниже на р. Волге, где течение быстрее, рейсируют перевозные паромы.

Менее правильно сменяются отдельные периоды замерзания во второй зоне: на Астраханском и Сталинградском плесах. Здесь на замерзание оказывают огромное влияние юго-восточные ветры, о чем будет сказано ниже.

Нелишне будет сказать еще несколько слов о цвете льда, также имеющем значение для судоводителей. Цвет льда на реках Волжского бассейна соответствует цвету воды. На Волге — он мутновато-белый, на р. Каме — грязно-серый, на р. Оке и других притоках цвет льда мало чем отличается от волжского. Цвет сала и новосадки (тонкий лед) ближе всего подходит к цвету воды, поэтому его весьма трудно различить ночью. Отдельные большие льдины (чки и лавы) под действием солнечных лучей и ветра принимают беловатый цвет (цвет сероватого снега), благодаря чему на фоне темного цвета осенней воды они рельефно выделяются и видны даже в темные ночи.

Наружный вид льда весьма различный, а именно: если ледостав прошел нормально, при тихом течении и крепком льде, то поверхность льда будет ровная. Неровности будут только на соединениях отдельных

льдин. Если к тому же замерзание протекало при наличии сильного мороза на тихом течении, без напыливания сверху льда, то поверхность будет совершенно гладкая, как стекло. Наоборот, при быстром течении и особенно при заторах, когда льдины натромождаются одна на другую, поверхность льда будет напоминать собою вспаханное поле (сплошной торос, хотя и небольших размеров в высоту).

Внутренняя (нижняя) сторона льда на реках, где есть течение, всегда блестяще гладкая, иногда с синеватым отливом. У берегов (закраины), в заторах и вообще в стоячих водах эта поверхность может быть неровная (от смерзания снежинцы донного льда и др.).

Замерзание водных поверхностей в Волжском бассейне можно свести к двум основным типам: 1) замерзание стоячих вод (затонов, гаваней, тиховодов и др. мест, где есть стоячая вода) и 2) замерзание текучих вод. Описание замерзания обоих типов будет приурочено к р. Волге, как главной магистрали бассейна. Остальные реки бассейна будут затронуты в том случае, если условия замерзания их будут представлять характерные особенности, интересные с точки зрения судоходства. Изложение будет вестись в таком порядке: а) замерзание стоячих вод, б) нормальное замерзание текучих вод и в) особенности, наблюдающиеся при замерзании в зависимости от климатических и гидрологических условий.

2. Замерзание стоячих вод.

Замерзание стоячих вод в общем происходит следующим образом. При понижении температуры воздуха вода постепенно охлаждается по всей своей толще помощью вертикальных токов до температуры наибольшей плотности. При дальнейшем охлаждении верхние слои воды, делаясь легче лежащих ниже, остаются на поверхности воды, доходят до температуры замерзания и мало-по-малу покрываются тонким слоем льда. Последний процесс протекает следующим образом: на поверхности воды появляются светлые более или менее значительные точки (ледяные кристаллы, илы), которые по своему виду похожи на пятна растопленного и вылитого, а потом застывшего на поверхности воды обыкновенного животного сала. Отсюда и получилось название первых появившихся на поверхности воды ледяных кристаллов и илы.

Сало, представляя собой огромную, все увеличивающуюся массу кристаллов, распространяется по всей поверхности стоячей воды, сосредотачиваясь у берегов в большем количестве, чем посередине. Если в это время по затону, например, проехать в лодке или пройти пароходом, то вся масса илы (кристаллов) придет в движение и будет качаться на волнах, представляя собой интересное зрелище.

В дальнейшем при наружной температуре воздуха ниже нуля (обязательное условие) кристаллы будут между собой смерзаться (сцепляться), и все водное пространство (например, затон) покроется тонким гладким слоем льда, имеющего по виду блестящую поверхность. Этот первый тонкий слой льда толщиной 1—2 см носит название *новосадка*. Затем под влиянием дальнейших морозов сплошной тонкий слой льда на воде постепенно утолщается в зависимости от температурных условий местности, доходя в некоторых случаях до 1,5 м толщины. Для судоходства имеет значение также толщина (крепость) льда, при которой он приобретает способность поднять человека (обычно около 5 см). Как общее

правило, замерзание стоячих вод (затонов, озер и т. д.) происходит от берегов к середине.

Время от образования сала и до покрытия стоячей воды новосадком в затоне, озере и пр. весьма различно и целиком зависит от температуры окружающего воздуха: чем сильнее мороз, тем этот процесс происходит быстрее и наоборот. При температуре нуль и выше новосадка быть не может. Сало может появиться и при нуле или около нуля. Ветер, как общее правило, задерживает появление новосадка. Но зато после ветра, во время которого стоячие слои воды бывают еще более перемешаны, и при небольших морозов образование новосадка происходит «на глазах», т. е. очень быстро (от 2 до 6 часов).

В нормальных условиях, при морозе 5—10° Р., затон в одну ночь покрывается новосадком. При морозах 15° и ниже и при тихой погоде затон покрывается новосадком и днем. При повышении температуры (от горячих лучей солнца) новосадок может «пропасть» (растаять), и на поверхности воды остается сало. За ночь новосадок появляется снова. Такие явления наблюдаются в ясные и сухие осени, когда теплый солнечный яркий день сменяется холодной (от—10 до—15° Р.) ночью.

Появление новосадка в Ватине не приостанавливает обычной судовой работы. Новосадок можно сломать судовой лодкой. В этом случае лодка идет вперед на веслах, шестах или баграх. Во время хода лодка командой сильно раскачивается с борта на борт, корпусом (носом) лодки мнет лед под себя, а волной разламывает новосадок от обоих бортов лодки. Таким образом новосадок не сковывает судов в затоне, и в случае надобности (например, при пожаре в затоне) суда могут быть выведены из затона, передвинуты и т. д.

Наиболее опасным для судоходства моментом является переходное время образования ледяного покрова в затоне — период, когда лед еще не может поднять человека. В этом случае, суда, стоящие вдаль от берегов (если нет на берег мостиков), могут оказаться отрезанными от берега и друг от друга: лед, вышедший из стадии новосадка, будет настолько крепок, что его нельзя или очень трудно сломать лодкой, но в то же время по нему нельзя поддерживать сообщения. Указанный период — самый опасный для судов. При возникновении пожара на судне, не связанном с берегом, оно будет представлено только силам своей незначительной команды. Команды других судов и береговая пожарная дружина будут лишены возможности принять участие в тушении пожара (подать к месту пожара пожарные насосы, принадлежности и пр.).

Как общее правило, на всех стоячих водах процесс замерзания поверхности протекает скорее, чем в лежащих рядом частях реки, где есть течение. Особенно бросается в глаза такая разница между рядом лежащими затонами и рекой. Это обстоятельство учитывается при вводе и постановке судов осенью в затоны.

Условия замерзания стоячих вод во всем Волжском бассейне примерно одинаковы.

3. Нормальное замерзание текущих вод.

Условия замерзания реки, на которой есть течение, будут иные, чем в стоячих водах. По причине винтообразного (и вообще неровного) движения при течении вода в реке перемешивается по всей своей толще. Благодаря этому в реке колебания температуры в разных слоях воды сравнительно невелики. Колебания эти напоминают колебания скоростей тече-

ния в различных слоях воды. Как общее правило, чем быстрее течение тем меньше разность температуры в воде и наоборот.

Появление сала на реках Волжского бассейна происходит так. Осенью, при понижении температуры воздуха, вся масса в реке постепенно охлаждается до температуры, близкой к нулю. При охлаждении воды до нуля или около этого на поверхности воды появляется сало. Образуется оно прежде всего у берегов, где течение более тихое или совсем отсутствует. Отсюда сало течением или ветром выносится на стрежень реки. В общем образование сала в реке происходит так же, как и в стоячей воде, что описано выше.

Образованию по Волге сала немало способствует снегопад и, как можно думать, также донный лед. О действии снегопада на замерзание рек и на судоходство будет сказано ниже — в главе об особенностях замерзания реки.

Образование донного льда на реках в последнее время получило следующее научное объяснение (Альтберг В. Я.).¹ Осенью при понижении температуры воздуха вода, обладая большой теплоемкостью, теряет массу тепла. Охлаждение всей толщи воды (вследствие перемешивания всех ее слоев) происходит почти равномерно, чем достигается приблизительное равенство температуры воды как на поверхности, так и у дна реки. Вследствие медленности охлаждения и дурной теплопроводности почвы тончайший поверхностный слой дна реки, находящийся в постоянном соприкосновении с водой, через известное время принимает температуру омывающей его воды. Этому не может препятствовать тепло, поступающее из почвы в слой воды.

Многолетние и обширные наблюдения показали, что вода в реке во всей своей толще, не только на поверхности, но также и у ее дна, бывает по временам переохлажденной, поэтому и температура верхних слоев дна может также оказываться переохлажденной, т. е. будет ниже нуля (хотя бы на весьма незначительную величину и на короткое время). В результате переохлаждения воды на поверхности дна реки создаются благоприятные условия для образования ледяных кристаллов, ил, снежных хлопьев, и вообще рыхлого льда. Переохлаждение нижних примыкающих ко дну слоев воды чаще всего наблюдается в руслах с грунтом из камня или крупной гальки как хороших проводников холода. Песок, ил, торф и снег хуже проводят холод.

При каменистом грунте донный лед зарождается в виде хлопьев на камнях и облепляет их. По мере своего роста и увеличения плавучести лед отрывается от дна и всплывает на поверхность воды в виде сального пятна, образуя речное сало. При наличии ледяного покрова донного льда не бывает. На Волге мало рек и мест с каменистым дном, а поэтому резких явлений образования донного льда здесь не наблюдается (как, например, на рр. Неве, Чагодоще, Ангаре и др.).

Донный лед на Волге — не кристаллический, а рыхлый. Его удобно наблюдать до замерзания реки при выемке из воды рыболовных снастей; последние при опускании на дно реки облепляются массой льда и в таком виде вытаскиваются из воды. Зимой, когда река покрыта льдом, подобных явлений не наблюдается по причине, указанной выше. Вторым признаком наличия донного льда на Волге может служить забивание им

¹ Излагаю по Курсу внутренних водных сообщений Акулова, Брякина и Марцева.

отверстий запасного ящика у пароходов на осадке от 1 м у буксирных и до 2 м у товарных пароходов. Очевидно донный лед, оторвавшись от дна и всплывая на поверхность воды (под острым углом), всасывается вместе с водой в запасный ящик. Сало, образующееся на поверхности воды, вследствие своей плавучести на глубину 1—2 м не опускается, почему и не может быть причиной забивания отверстий в запасном ящике. Осенью 1929 г. у Н.-Новгорода (пристань Молотовка), по словам очевидцев, донный лед облепил проложенный через р. Оку кабель и поднял его на поверхность воды. Иных случаев резкого проявления донного льда на Волге мне неизвестно.

Время появления сала в различных пунктах Волжского бассейна различно, что видно из таблицы 2.¹

ТАБЛИЦА 2.

Название пристаней	Первое появление с ла среднее многолетнее	Самое раннее появление сала	Самое позднее появление сала	Пределы колебания появления сала, в днях
Рыбинск	3/XI	16/X 1882 1911	3/XII 1877	48
Н.-Новгород	6/XI	6/X 1882	29/XI 1887	54
Богородское	7/XI	15/X 1883	3/XII 1878	49
Самара	10/XI	22/X 1898	8/XII 1878	47
Саратов	14/XI	14/X 1882	14/XII 1878	62
Сталинград	24/XI	8/XI 1886	26/XII 1878	48
Астрахань	6/XII	9/XI 1897	5/I 1902	57
Пермь	25/XI	11/X 1903	12/XI 1874	42
Чистополь	21/XI	11/X 1882	22/XI 1878	49
Вятка	29/X	10/X 1902	21/XI 1899	42
Уфа	2/XI	16/X 1889	24/X 1899	39

Как общее правило, при нормальных условиях появление сала еще не прекращает навигации и даже не всегда является предвестником ее скорого окончания. Так, например, в 1894 г. у г. Рыбинска появилось первое сало 31 октября, а последний пароход прошел 30 ноября, т. е. через месяц. Река же у Рыбинска покрылась льдом в этом году 10 декабря.

Дальнейшее замерзание реки идет так. Вследствие неровностей течения отдельные кристаллы сала то сближаются, то разъединяются между собой. При наличии мороза в 3—5° и ниже сблизившиеся кристаллы смерзаются, постепенно увеличиваясь в размерах, и превращаются в рыхлые льдины. Смерзшаяся из кристаллов льдина, достигшая размеров 15—30 м², называется на Волге *чкю*.

Начавшееся превращение сала в чки волгари характеризуют так: «Появились чкп». Плывающее сало не представляет непосредственной опасности для судоходства, но создает серьезные препятствия для работы паровых машин. Чки уже являются опасностью для судоходства, но не прекращают фактического движения судов. При наличии чкюв обычно еще можно плавать (конечно только днем), особенно, если судно или караван застопорены чками в пути и им необходимо добиться до безопасного загона.

¹ «Волжско-Камская справочная книжка», изд. 6. Казанского округа пут. сообщения, Казань, 1914 г.

Возможность движения судов в таких случаях объясняется следующим. Как было сказано выше, чки представляют собой только что смерзшиеся из ледяных кристаллов небольшие ледяные поля слабой прочности. Это в сущности плывущий новосадок, т. е. тонкий лед, который можно разломать судовой лодкой и который легко ломается пыжом судна, колесами и т. д. Такой лед опасен лишь для деревянных судов. И при нарастании (утолщении) чков, когда они будут представлять большую опасность, их все-таки можно пароходом и возом обходить, ибо они плывут в одиночку, редко — примерно в километре одна от другой. Поэтому при появлении чков можно еще с осторожностью идти до затона.

По плывущим чкам очень удобно наблюдать направление и скорость течения реки.

При усилении морозов отдельные чки, постепенно нарастая, увеличиваются по площади и в глубину до размеров больших льдин (до 0,25 ширины русла), число их увеличивается, расстояние между ними сокращается и плывущие льдины достигают уже площади в 200—500 м². Такое состояние реки волгарами характеризуется как начало ледохода. При ледоходе плавание более или менее возможно для пароходов лишь порожнем (без вoза) и только днем.

Когда льдины смерзаются между собой под действием морозов образуют большие ледяные поля, то последние получают название лав или лавн. Размер лав равняется примерно 0,5—0,75 ширины обыкновенного (не расширенного) русла. Плывут они сплошной массой или с небольшими интервалами (100—200 м друг от друга). Такая фаза обозначается терминами полный ледоход.

Полный ледоход окончательно прекращает всякое судоходство для транспортных речных судов (кроме ледоколов), и с появлением лавн навигация фактически считается закрытой.

Здесь необходимо отметить, что в сведениях судоходного надзора, помещенных в сборниках б. министерства путей сообщения и НКПС, момент прекращения навигации считается момент «первого появления сала». Такая терминология осталась еще от довоенного времени. Фактически же судоходство продолжается дольше.

Кроме описанных явлений, сопровождающих появление сала на Волге, и ледохода, необходимо еще остановиться на процессе образования у обоих берегов реки особого ледяного поля, называемого закрапной. Закрапна играет огромную роль не только в самом процессе замерзания реки, но и в судоходной работе. О последней будет сказано ниже — в разделах о плавании во льдах и о постановке судов на зимовку.

Закрапны образуются так. Как уже указано выше, первое появление сала замечается у берегов, где течение по сравнению с остальной частью реки тише, а иногда и вовсе отсутствует (под береговыми высыпками, за крутыми рычками гор, под крутыми плечами яров, под высокими песками, под затонами и т. д.). Вследствие этого появившееся у берегов сало, а иногда и донный лед, быстро скапливаются и сцепляются (смерзаются) с берегом. Образовавшаяся таким путем льдина и называется закрапной. Смерзание сала между собой и с берегом может произойти очень быстро при наличии мороза и при отсутствии течения, ветра и волнения от проходящих пароходов — при морозе в 10—15° в одну ночь, т. е. так же, как и в затоне. Быстрому образованию закрапны будет способствовать скопление плывущего по реке и подвертывающегося в тихих местах и в особенности обильно падающий снег, который, смешиваясь с ле-

давшими кристаллами или даже без них, образует так называемые с п е ж и н ц ы (плавающие в воде комья снега площадью около 10 — 20 см² и достигающие значительной толщины). Препятствием для быстрого образования закраины будет служить ветер, особенно если он дует с противоположного берега (под прямым углом), или «низовой» ветер, т. е. дующий против течения, который, как известно, всегда разводит более крупную волну, причем последняя ломает закраину.

При скоплении у берегов сала и при наличии мороза здесь быстро образуется новосадок, который отличается от новосадка в затоне главным образом тем, что на реке лед в большинстве случаев не имеет снизу гладкой плоскости, как в затоне, а представляет собою рыхлую, иногда губчатую и вообще неровную массу, нередко набитую до самого дна. Объясняется это тем, что снизу ко льду примерзают встоявшие у берега сало, донный лед и снежница. Иногда плывущий по реке лед под действием течения ветра и т. п. подплывает к стоячей воде, где образовалась закраина. При этом силой течения плывущий лед надвигается сверху на поверхность закраины или подходит под нее.

По мере увеличения морозов закраина продолжает расти по толщине и по площади, постепенно все выдаваясь в стрежень реки, по которому плывет лед, и сокращая таким образом ширину русла реки в данном месте. Плывущий лед своей огромной силой обламывает края закраины. Нередко при этом обламываются и самые плывущие льдины. Обламывание плывущего льда происходит так: плывущая лава (льдина) под действием той или иной силы врывается в закраину (под лед или на лед), стремясь уничтожить встретившееся препятствие. Если закраина крепкая (а она ко времени сплошного ледохода всегда такая и бывает), то она пустит лаву на себя или под себя на определенное расстояние и остановит ее дальнейшее движение по течению. От такого маневра обычно получается для лавы крайне невыгодный результат: ближайший к берегу ее конец (край, бок) будет зажат в закраине, и останется неподвижным, а противоположный (стержневой) край лавы окажется под действием других плывущих сверху льдин, которые своим давлением будут толкать застрявшую в закраине лаву вниз по течению!

Обыкновенно борьба кончается в пользу закраины. Лава обламывается, а закраина увеличивается в ширину и в толщину. После целого ряда подобных схваток закраина усиливается настолько, что плывущий по реке лед уже не может ее потревожить, какой бы силы он ни был. В этом случае получается искусственная, выдвигающаяся в русло реки мощная стена, на строжневом краю которой образуется нагромождение льда (вид тороса). Боковая вертикальная поверхность этой стены, обращенная в стржень, гладкая от постоянно трущегося о нее плывущего льда. Такая кромка закраины называется у т о р о ю з а к р а и н ы. У обрешных берегов, где быстрое течение, закраина обычно не бывает.

Стадия полного ледохода в нормальных условиях переходит обычно в ледостав. Процесс его образования таков. При усиливающихся морозах закраины все более увеличиваются, суживая русло реки. Если под закраину набить до дна лед или снежницу, то вследствие сужения русла течение реки в данном месте становится быстрее (закраина будет играть роль продольной струенаправляющей плотины). В свою очередь увеличиваются по площади и по толщине и плывущие лавы путем естественного роста — смерзания с соседними льдинами и нагромо-

ждения одной льдины на другую. Получаются льдины, представляющие собой ледяное поле, равное по ширине свободному руслу, а в некоторых наиболее суженных частях и шире его. В этом случае лава, не помещаясь по ширине в русло, начинает тереться об уторы закраины, обламываясь на них и все время усиливая самую закраину. В дальнейшем трение льда становится настолько велико, что движение его начинает терять свою скорость. Лавы же, плывущие сверху с прежней скоростью, начинают давить на задерживающийся в узких местах лед и либо проталкивают его, либо начинают насапываться одна на другую или на берег или на закраины и т. д. Такое насапывание льда иногда достигает огромных размеров. При этом образуются колдосальные глыбы льда, раскиданного во всех направлениях (форма торосов); на Волге они называются в а к у р н и к а м и. Особой величины и весьма причудливой формы вакурки получается на узких и мелких местах (на перекатах).

Если двигающаяся по реке масса льда не сможет прорвать застрявшую впереди лаву или сломать (искрошить) ее, то получается следующее явление. Весь плывущий по реке лед начинает замедлять свое движение, причем передние лавы (которые не уходят в ширину русла) претерпевают (при условии быстрого течения) величайшее напряжение. Лавы ломают, одни льдины надвигаются на другие, под береговые закраины набивается лед иногда до дна. О таком явлении говорят: лед начинает набирать или реку затирает, затерло льдом. В это время вследствие заполнения русла льдом, вода начинает прибывать. Нажимающий сверху лед все время стремится силой заполнить русло (устанавливается в распор между берегами). Когда лава заполнит русло во всю его ширину, скорость течения замедляется, что естественно ослабляет давление плывущих сверху льдин, а это способствует окончательной остановке движения льда.

Если не случится затора (о заторе—см. ниже), т. е. если между остановившимися или медленно двигающимся льдом и дном реки останется достаточное пространство для протока массы воды, то лед сплошь покроет всю реку, остановится окончательно и придет в спокойное состояние. Такое положение характеризуется словами: река встала, Волга встала, ледостав. Транспортная ста-

ТАБЛИЦА 3.

Название пристаней наблюдения	Среднее по многолетним данным	Самое раннее покрытие реки льдом	Самое позднее покрытие реки льдом	Пределы колебаний покрытия в днях
Рыбинск	24/XI	25/X 1912 г.	28/XII 1878 г.	64
Н.-Новгород	3/XII	3/XI 1882 "	9/I 1880 "	67
Богородское	29/XI	5/XI 1881 "	31/XII 1898 "	56
Самара	10/XII	10/XI 1891 "	18/I 1886 "	54
Саратов	14/XII	14/XI 1891 "	12/I 1886 "	59
Сталинград	15/XII	15/XI 1890 "	13/I 1902 "	59
Астрахань	17/XII	4/XII 1907 "	21/I 1902 "	28
Пермь	16/XI	13/X 1912 "	13/XII 1913 "	62
Чистополь	22/XI	2/XI 1891 "	14/XII 1931 "	42
Вятка	9/XI	16/X 1881 "	10/XII 1883 "	55
Уфа	17/XI	28/X 1912 "	11/XII 1913 "	44

типика такое явление отмечает так: река покрылась льдом.

Река покрывается льдом в различных пунктах бассейна в разное время, что зависит от температурных условий бассейна. Пределы колебаний покрытия рек льдом характеризуются таблицей 3.¹

Вследствие разнообразия климатических условий в разных пунктах огромного Волжского бассейна реки бассейна покрываются льдом в разное время. Амплитуда колебаний начала покрытия рек льдом в пространственном разрезе по многолетним данным (с 1877 г.) достигает весьма значительных размеров (Пермь — Астрахань). Покрытие рек льдом в одном и том же пункте наблюдений также бывает различно, колебания эти в разных пунктах неодинаковы, но в общем укладываются в предел от 28 до 67 дней. Так например у г. Нижнего-Новгорода эти колебания достигают 67, у г. Перми — 62, у Сталинграда — 59, у Астрахани — 28 дней и т. д.

Вслед за ледоставом или с того времени, как лед в реке начнет «набирать» (останавливаться), вода пойдет на прибиль вследствие стеснения живого сечения русла реки. Прибиль эта на Волге носит название черной воды (очевидно от более темного цвета осенней воды по сравнению с цветом воды летом). Прибиль черной воды продолжается от 3 до 8 недель; размеры ее бывают весьма различны (около 1 — 2 м), что зависит от осеннего горизонта воды, заторов стеснения живого сечения русла реки и т. д. Черная вода используется при зимовке судов в целях их обсушки и подъема на клетки. Следует отметить, что вообще вода в реках Волжского бассейна в первую половину зимы прибывает, а во вторую убывает, достигая обычно наименьшего горизонта перед началом весенней прибиль воды. В Астрахани и выше ее около 200 км, вернее почти на всем Сталинградском плесе, черной воды не бывает. Здесь осенний ледоход происходит при горизонтах воды, зависящих от нагонных («моряна») и угонных (норд-вест NW) ветров. В верховьях более крупных рек и на малых притоках весь процесс замерзания от появления сала до ледостава значительно сокращается: резкое понижение температуры (10 — 15° мороза) здесь может окончательно прекратить навигацию в одну ночь. При нормальных условиях осени и при достаточно сильном течении фазы прохождения замерзания растягиваются на более или менее продолжительное время.

Во второй зоне (т. е. на Сталинградском и Астраханском плесах) в холодные осени, когда очень долго и упорно дуют северные и северо-восточные ветры, замерзание р. Волги происходит приблизительно так же, как и замерзание в первой, верхней зоне.

В нормальные осени замерзание у Астрахани происходит медленно и с перерывами. Очень тихое течение обуславливает быстрое появление сала и новосадка так же, как и на всякой части реки со слабым течением. Но достаточно здесь появиться южному ветру («моряна»), как сало и новосадок быстро исчезают, и навигация возобновляется. Такие периоды могут повторяться несколько раз, иногда оттягивая окончательное закрытие навигации до января (в 1901 г. по 8 января).

Многолетнее среднее появление сала у г. Астрахани отмечено 10 декабря, а ледостав — 17 декабря. Отсюда видно, что если в первой зоне все фазы замерзания реки продолжаются в среднем не менее месяца, а иногда

¹ По «Волжско-Камской справочной книжке» изд. Б. Казанского округа п. с., 1914 г., Казань.

требуют даже двух месяцев, то в Астрахани весь процесс замерзания в среднем определяется днями. При резком понижении температуры нередко реки в одну ночь покрываются сплошь новосадком.

Самое раннее появление сала у Астрахани отмечено 8 ноября (1879 г.) и самое позднее — 5 января (1901 г.). Не было у Астрахани вовсе ледостава в 1854, 1856 и 1869 гг.¹

Суммируя изложенное выше с учетом многолетних наблюдений волгарей, нормальный процесс образования ледового покрова на реках Волжского бассейна и смежу отдельных фаз этого процесса и их влияние на судоходную работу при условии равномерного понижения температуры можно в общих чертах резюмировать так:

1. При понижении температуры воздуха сначала до нуля, а затем до 2 и 3° появляется сало. Так продолжается примерно сутки. Первым вестником образования сала будет появление его у берегов, в затоках и т. д.

2. Через ночь (на второй день) появляются отдельные чки.

3. Еще через сутки (через ночь, на третий день) появляются большие льдины (лавы), и навигация (при условии продолжения стойких морозов) прекращается.

4. Как общее правило, если появилось утром сало при морозе (днем) 5 — 7°, то пароходу можно идти безопасно только один этот день — до вечера.

Описанный ход замерзания рек Волжского бассейна происходит в нормальных условиях. Но нередко на Волге наблюдаются исключительные условия замерзания, очень опасные по своим неожиданностям для судоходства. К описанию этих особенностей мы и перейдем.

4. Особенности замерзания рек.

К главнейшим особенностям замерзания, имеющим значение для судоходства, относятся: а) быстрое закрытие навигации, б) медленное, затяжное закрытие навигации (двойной ледоход), в) образование заторов и г) образование снежинцы.

а) Быстрое замерзание рек наблюдается чаще всего в поздние осени, когда вода достаточно охлаждается (волжский термин *настынет*). Обычно этому явлению предшествует длительный, продолжавшийся в течение нескольких недель северный или северо-восточный ветер, который понижает температуру воздуха (до 10 или 15° и ниже), но, перемешивая верхние слои воды, препятствует образованию сала. Как только ветер затихнет, утром у берегов появляется сало. В полдень появляются чки, а к вечеру — сплошные лавы. Начинается полный ледоход и навигация прекращается в один сутки.

Примером могут служить следующие случаи из жизни Волжского транспорта.

1. В 1887 г. буксирный пароход «Благотетель» поздней осенью шел из Самары в Симбирск (теперь Ульяновск) порожнем с пассажирами и грузом.² 14 ноября в г. Ставрополе (здесь широкий плес и тихое течение) с парохода съезжала на берег лодка (свозили едущих на пароходе пассажиров). Вернувшийся с берега штурвальный сообщил, что у берега

¹ По Е. П. Чистякову, «Карта ледохода и ледостава на р. Волге и ее притоках за 48 л.», изд. «Промиздат», Москва, 1926 г.

² В описываемое время местные сообщения осенью обескураживались буксирными пароходами.

появилось сало. Капитан поспешил сняться с якоря, после чего немедленно отправился вверх по Волге. По выходе парохода на середину реки сало появилось и на фарватере. К полудню появились чки, затем лавы, а вслед за этим начался сплошной ледоход. Пароходу пришлось лавировать между льдами, что задерживало движение, и он в конце того же дня едва «добрался» до Подвальского затона в 45 км от г. Ставрополя. В затоне был уже повосадо́к.

2. В 1877 г. пароход «Манифест 19 февраля 1861 г.» поздней осенью — 29 ноября — шел снизу в Рыбинск с двумя хлебными баржами. В Пучеже, где также имеется широкий плес и тихое течение, пароход сразу встретил сплошной ледоход, по причине чего он со своим воем встал на зимовку у посада Пучежа под высыпкой горного берега и под устьем небольшой речки. Вскоре наступила короткая оттепель, но ледоход не прекращался. В указанном году по наблюдениям у г. Юрьевца (выше Пучежа 42 км) 29 ноября появилось первое сало, а через 8 дней наступил ледостав.

3. В том же 1877 г. пароход «Владимир» поздно осенью шел из Астрахани до г. Царицына (ныне Сталинграда) с живорыбными баржами. 30 ноября выше г. Черный Яр пароход встретил сразу ледоход и вынужден был встать на зимовку в Чилимный затон в 12 км выше Черного Яра. Оттепель была, но навигация не возобновилась.

4. В 1896 г. (личные наблюдения автора) пароход «Лалшин» в начале ноября на Бурнаковской пристани г. Нижнего-Новгорода освобождал наливные (из под нефти) баржи, чтобы увести их на зимовку в Сологузовский затон. 7 ноября, после ясной и тихой морозной ночи, в 7 ч. утра появилось на Волге плывущее сало. Перекачку баржей немедленно прекратили и составили на этот день такой план работы: поставить баржи на зимовку в Сормовский затон, а пароходу уйти порожнем на зимовку в Сологузовский затон. Последнее обстоятельство имело очень важное значение, ибо в Сологузове была судоремонтная база пароходства.

Состояние погоды 7 ноября: тихий, солнечный день. Но около полудня, 7 ноября появились чки, а к вечеру — лавы. С большим трудом баржи с Бурнаковской пристани были доведены до Сормовского затона (3 — 2 км). Поставив баржи под зато́ном (в затон баржи должны были вводиться г. лавы вручную на косяках), «Лалшин» порожнем пошел от Сормовского затона в Сологузово (50 км выше Нижнего-Новгорода). Было 4 часа дня. Было и морозно 10 — 12° Р. Выше стрелки Сормовского затона, под м. и давским перекатом, пароход встретил сплошной ледоход, который прекратил всякое движение вперед. «Лалшин» был принужден вернуться порожнем в Муромский (ныне Карла Маркса) затон против Нижнего, где в 6 час. вечера и встал на зимовку. Оттепель не было. По официальным отметкам в указанный год у г. Н.-Новгорода появилось первое сало 7 ноября, а через 7 дней (14 ноября) был ледостав. Следовательно навигация прекратилась в один сутки, а все фазы замерзания прошли в 7 суток.

5. В 1912 г. (личные наблюдения автора) у Нижнего-Новгорода навигация закрылась также в один день и больше не возобновлялась. Температурные условия и процессы образования сала и ледохода были одинаковы с имевшими место в 1896 г. и описанными выше.

б) З а т я ж н о е (м е д л е н н о е) замерзание рек характеризуется терминами «затяжный ледоход», «двойной ледоход» (бывает два ледохода). «Затяжная осень» в температурном отношении проходит через следующие стадии.

П е р в ы й п е р и о д. Ранние и сильные морозы, быстрое охлаждение

воды; иногда сильный снегопад, способствующий образованию сала, а затем и льда, свирепые северные и северо-восточные ветры и т. д. Если совокупность всех перечисленных факторов, или главнейших из них, продержится 3 — 5 дней, то на реке появляется сало, чки, лавы и полный ледоход. В этом случае навигация прекращается.

Второй период. После появления льда, ледохода или даже ледостава температурные условия быстро и резко меняются: вместо северного ветра начинает дуть южный, мороз сменяется теплом до 10 — 15° и выше, идет теплый дождь, появляется густой туман, и лед пропадает в один день. В этом случае навигация быстро возобновляется и продолжается до новых морозов — до второго ледохода.

Раннее закрытие навигации на р. Волге, на участке от Симбирска до Рыбинска, наблюдалось в 1882 г., как это показывает таблица 4.

ТАБЛИЦА 4.

Пристань	Первое появление сала	Среднее многолетнее появление сала	Отклонение от нормы
Рыбинск	Октября 16	Октября 25	7
Н.-Новгород	" 16	" 24	8
Богородское	" 15	" 25	10
Симбирск	" 18	" 27	8
Самара	Ноября 7	Ноября 10	3

Из данных этой таблицы видно, что раннее закрытие навигации, идя сверху вниз, достигло только г. Симбирска. Это объясняется следующим: в первой половине октября свирепый северо-восточный холодный ветер захватил только верхнее Поволжье, а в Самаре и ниже в это время господствовали южные и юго-восточные ветры, которые и задержали замерзание реки.

Для судоходства быстрое наступление холодов обычно влечет неблагоприятные последствия. Суда, застигнутые ранними заморозками, при появлении льда становятся в заторы, под заторы или вообще под прикритые берега и отстаиваются до наступления оттепели и возобновления навигации, что в затяжные осени почти всегда и случается. Но если до оттепели наступит ледостав, то судам, отстаивающимся в плесе, грозит серьезная опасность от вызываемого оттепелью ледохода; такие суда может срезать льдом. О мероприятиях по борьбе с этой опасностью — см. ниже.

Яркими примерами гибели судов от второго осеннего ледохода являются случаи:

1. В 1880 г. были поставлены на зимовку у г. Балахны (выше Н.-Новгорода 32 км) к нефтенеперегонному заводу Рагозина 11 волжских баржей, груженных сырой нефтью. Заторы у Балахны не было, но было устроено ограждение небольшими ледорезами, где баржи и были поставлены на зимовку. Закрытие навигации в этом году было раннее: в Рыбинске появилось сало 18, а в Нижнем — 24 октября при средних горизонтах воды. Лед у г. Балахны встал, сильные морозы быстро увеличили его толщину до 30 — 40 см, благодаря чему через р. Волгу установился санный путь. Так в течение месяца продолжалась зима.

Во второй половине ноября внезапно морозная погода сменялась на рез-

до тапную; пошли непрерывные сильные дожди, которые быстро согнали весь снег. Благодаря дождям и таянию снегов уровень р. Волги поднялся до очень высокой отметки — до 8 м (4 саж.), и 24 ноября на р. Волге у г. Балахны начался ледоход.

Вторые осенние ледоходы, особенно если они происходят при большой воде, очень опасны для судов, зазимовавших вне затонов. Такое несчастье и случилось с указанными баржами. Высокий уровень воды вызвал быстрое течение даже у берегов, льдом сорвало и унесло или срезало все 11 баржей; баржи и груз погибли. После второго ледохода вода пошла на убыль, навигация возобновилась до нового ледохода. В указанном году (1880) р. Волга у Н.-Новгорода (второй раз) покрылась льдом только 6 января при горизонте воды выше 2 м. Дата покрытия р. Волги в этом году является наиболее поздней, а высота горизонта осенней воды при ледоставе — максимальной за 36 лет официальных наблюдений (1877 — 1913 г.).

2. В 50-х годах прошлого столетия, по сообщению старых волгарей, второй ледоход наблюдался в с. Шиловке (между Симбирском и Самарой). Он начался 19 января. Температурные и все другие условия, предшествовавшие и сопровождавшие это исключительное явление, были примерно такие же, как и описанные выше у г. Балахны в 1880 г. И результаты были примерно такие же. В эту зиму у с. Шиловки у горного берега на открытом плесе, под защитой береговой высыпки, зимовало, вилотную прижавшись к берегу, 6 порожних небольшого (около 30 м) размера расшив. Вторым ледоходом 19 января все расшивы сорвало с причалов и унесло вниз по Волге. Следует отметить однако, что эти расшивы не погибли: ниже с. Шиловки около 8 — 10 км их затерло остановившимся льдом (в привале Белёского острова). Когда лед окончательно остановился, то все расшивы по проделанным дворам были подведены к берегу в безопасное место, где они дозимовали и затем сохранились от весеннего ледохода.

в) **Образование заторов.** Заторы при ледоходе образуются так. Иногда лед на своем пути, встречая сопротивление (остров, перекат, узкое место и т. д.), забивает все или почти все русло, вследствие чего горизонт воды поднимается выше нормального. Причинами затора льда могут быть: обильный снегопад, донный лед, тихое течение, узость и мелкость русла и др. Обычно при заторе ледяной массой сокращается сечение реки (лед набивается до дна), т. е. образуется плотина. При этом горизонт воды выше затора обычно поднимается, а ниже — опускается. Если затор образуется на перекате, то это может повести к засорению переката, к образованию нового хода и т. п.

Примером ледяного затора может служить затор вблизи Камского устья осенью 1930 г., образовавшийся в последних числах ноября. Вероятной причиной этого затора явился обильный снегопад, давший огромное количество снежинцы. Снежинца и лед от Сюкеевских гор и на 4 км выше устья р. Камы — всего на 45-50 км — забили все русло реки до дна и создали подобие плотины, которая подняла воду; 2 декабря 1930 г. разницы горизонтов между пунктами наблюдений — устье р. Камы и г. Ульяновск — была равна 376 см. Затор этот и условия его образования и прорыва подлежат изучению.

Для судоходства заторы имеют такие последствия: при прорыве затора подведенные к берегу суда могут обсохнуть, а суда, стоящие ниже, могут быть сорваны большим валом воды или срезаны льдом. С другой стороны,

затяжную воду удобно использовать при постановке судов на обсушку (поджимать их к берегу, где они по спаде воды сразу и обсыхают).

г) С н е ж н и ц а . О влиянии снегопада на замерзание реки в различные его периоды сказано выше достаточно и повторять сказанное нет необходимости. Нам остается выяснить влияние снежицы на суда и судоходство, что до сих пор, насколько мне известно, не освещалось в литературе и очень мало известно самим водникам-практикам.

Снежинца, имея желеобразный вид, обладает способностью прилипать к днищу судов, особенно железных, что увеличивает их осадку в 5 — 6 раз и совершенно изменяет характер буксирного вожа. Случаев прилипания снежицы к корпусам пароходов не отмечено. Очевидно, бой колес или винтов не допускает этого.

В моем распоряжении имеются материалы, касающиеся нескольких случаев массового прилипания снежицы к корпусам барж. Случаи эти относятся к 1882 и 1930 гг. Я привожу подробное описание этих редких, но весьма интересных случаев со слов очевидцев, заслуживающих полного доверия и лично участвовавших в работе по освобождению судов из снежного плена.

1-й с л у ч а й. 1882 г.¹ «Шли мы на пароходе «Сотрудник» из Рыбинска на зимовку в Самару с тремя порожными хлебными баржами. Прошли Нижний 25 октября (старый стиль — Д. А.). Рейс был очень трудный: воды на Рыбинском плесе на перекатах было только 1 арш. 2 верш. (80 см — Д. А.), а на Казанском — 6 четв. (107 см — Д. А.). Безводный перекат пропускались вниз кормой, на рысковых якорях, выпустив воду из обоих котлов. Весь день шел настолько сильный снег, что едва можно было различать береговые приметы. Подошел к Сумским перекатам (ниже Нижнего 200 км — Д. А.) вечером. Итти было нельзя — остановились ночевать у лугового песка. Начало сильно морозить. Снег продолжал итти также сильно. Из опасения замерзнуть в плесе свялся с якорей и ушел ночевать под ухвостье Хмелевского острова (выше Сумок около 15 — 20 км — Д. А.). После ночевки на следующее утро (всю ночь был мороз и продолжал итти сильный снег) поднял якоря и пошел на зимовку в Васильсурский затон (выше Хмелевки 10 км — Д. А.). Выйдя на середину реки, мы заметили, что пароход вперед не идет (работали полным ходом). Тут мы только увидели, что вся Волга покрыта сплошным слоем гладкого льда. Волга замерзла как озеро (Плес широкий, вода очень тихая. — Д. А.)

Вернулись опять под ухвостье Хмелевского острова, где и переночевали. Нужно было караваном подняться выше на 100 саж. (213 м Д. А.). Работали полным ходом: пароход вперед не шел. Расчалили барж гуськом (до этого были счалены все три баржи рядом — Д. А.) и пробовали их подвигать — не удалось. Взяли одну баржу — опять ничего не подалось. Стали брать баржу «барсом» (рыбками — Д. А.), подпихивали (оборвали — Д. А.) буксир, но баржи с места не тронули. После этого остановили работу машины, сели в пароходную лодку и поехали к баржам выяснить причину — почему не идет баржа вперед. При обмере оказалась глубина кругом всех баржей 30 четв. (525 м — Д. А.), осадка же баржей была 3 четв. (53 см — Д. А.). Стали обследовать под днищами баржей. И вот тут оказалось, чего мы не могли предвидеть: под днищами баржей

¹ Описание ведется от имени лоцмана парохода «Сотрудник» судовладельца Субботина и по его записк.

находилась густая снежица (жужга) от идущего более суток необычайно густого снега.

Снежицы набило или она прилипла под днищами баржей до дна. Баржи как бы «прикипели» ко дну, и мы никак не могли силой парохода двинуть с места даже одну баржу (пароход «Сотрудник» 600 л. с.—Д. А.). Простояли в таком положении сутки. Мороз все время был сильный: лед быстро стал настолько крепок (смерзлась снежица), что мог через сутки поднимать человека. Для более безопасной зимовки нам все-таки необходимо было поднять баржи выше — под ухвостье острова. Пошли в с. Хмелевку, выпросили 10 пожарных больших багров и, стоя на льду, стали ими выгребать снежицу из под баржей. Вместе с тем стали напимать в ближайшем селе квартиры для зимовки.

Здесь мы от одного местного жителя (из чуваш) услышали интересное и потом оправдавшееся предсказание. Он не советовал снимать квартиры, уверяя, что скоро будет тепло, и мы уйдем. На наш вопрос, почему он так думает, он ответил, что лист деревьев ложится на ничью (лицевой солнечной стороной вверх), а это означает, что тепло вернется. Так и случилось: вскоре морозная погода сменилась на теплую, три дня шел теплый дождь. Лед на Волге растаял, вся жужга под баржами исчезла, после чего баржи были подведены вручную куда требовалось.

Затем навигация возобновилась, и мы с караваном ушли вниз по р. Волге. В Самару все-таки не дошли: оттепель оказалась короткой, вновь тепло сменилось морозами, и мы уже окончательно зазимовали в Сидельниковском затоне (выше г. Казани около 125 км — Д. А.).

Следует отметить, что плес около с. Хмелевки широкий и течение очень тихое — не более 1,5 км в час. *

2-й с л у ч а й. Описание ведется от имени капитана парохода «Вандал», 800 сил, Волжского госпароходства (по донесению названного капитана начальнику движения) и относится по времени к 21 ноября 1930 г., а по местности — к участку р. Волги от Кабаньего острова (выше г. Тетюш около 10 км) до г. Ульяновска. Пароход «Вандал» шел из Н.-Новгорода на зимовку в Астрахань с тремя порожними баржами на осадке около 50 см. Суднось донесения капитана сводилась к следующему (в моем переложении).

«На Волге полный ледоход. Крепкие лавы достигают величины во всю ширину Волги и сбивают управляемые мной суда (пароход и три порожние баржи) с фарватера. Кроме того, жужга липнет к днищам буксируемых баржей, создавая под ними необычайно толстый слой, и тем самым чрезвычайно увеличивая их осадку. По этой причине вести три баржи счаленными в ряд (обычный способ счалки баржей по течению) настолько трудно, что и ход становится невозможным. Если сегодня еще и можно идти, то только с одной баржей, — иначе мы рискуем зазимовать всем караваном среди плеса и даже на перекате.

Это мое опасение подтверждают следующие два весьма характерных факта: 1) при проходе вверенного мне «Вандала» и буксируемого вза по участку «Полновой перевал» (выше г. Ульяновска в 7 км) мой воз при осадке только около 50 см, на глубине перевала 3,67 м хватал дна... К счастью, благодаря быстрому ходу (около 15 км в час) и мягкости сл и прилипли под днищами жужги, последняя в некоторой части (очевидно на пространстве соприкосновения ее со дном—Д. А.) была оторвана от днища и всплыла, и воз не-остановился. 2) Идущие за нами с пароходом «8 февраля» две железные порожние баржи «Сосьва» и Лена выше мест-

ности Полливной, на глубине не менее 3,5 м встали на мель.

3-й с л у ч а й . 1930 г. осенью, около 20 ноября, на р. Волге, пароход «Красный Шахтер», 1200 сил, Волжского госпароходства шел из Нижнего в Астрахань на зимовку с двумя порожними железными баржами «Амазонкой» и «Камбалой» на осадке около 0,5 м. Вследствие большого снегопада и темной ночи пароход остановился против г. Тетюш в луговой стороне ночевать на глубине около 4 м. Утром при отвале после подъема якорей оказалось, что баржи стронуть с места пароход не мог. При обследовании выяснилось, что снежицу набило под баржи до дна, и баржи оказались как бы припаянными ко дну реки. Баржи были расчленины, и первую из них — «Амазонку» — пароход оторвал с места силой, вторую же — «Камбалу» стронуть с места не мог. Были призваны на помощь два мощных парохода Волжского пароходства «Ваня-коммунист» (около 700 сил) и «Медведь» (около 900 сил). И только с помощью обоих этих пароходов — тройной тягой — баржа «Камбала» была оторвана с места стоянки.

4-й с л у ч а й . Осенью 1930 г. баржа «Лена» Волжского госпароходства, шедшая порожнем сверху за пароходом «8 февраля», под ухвостьем затона Чувичи (ниже Ульяновска в 7 км), на осадке около 50 см встала на мель на глубине около 5,35 м. Баржу снять с мели не могли, затем вода пошла на убыль, и баржа обсохла средней на 36 см. Баржа «Лена» простояла так до весны — до прибытия воды. Зимой ее значительно потревожило, но не сломало совсем только благодаря тому, что были приняты своевременные меры (стоившие около 60 000 р.) и что не было очень большой разницы между осенними и зимними горизонтами. Баржа была снята весной (11 апреля 1931 г.) с началом прибытия воды.

Тщательные обследования глубин на месте стоянки «Лены» и под ее днищем со дня постановки на мель в течение осени и зимы доступными на судне средствами, проверенные затем водолазами, со всей очевидностью доказали, что причиной постановки «Лены» на мель в ухвостье Чувичского затона была снежица, прилипшая к днищу толстым слоем (около 4 — 4,5 м) и крепко с ним скипевшаяся. Когда после постановки баржи на мель вода убывала, то снежицу давлением корпуса судна (вес около 90 00 т) так спрессовало, что баржу никакими силами самых мощных буксирных пароходов и никакими иными средствами (береговые бабы, неволы¹ и др.) снять с мели не удалось. Впоследствии часть снежицы из-под носовой и кормовой частей судна быстрым течением вымыло (но не всю), а под серединой судна снежица, как наиболее спрессованная, так и осталась до весны. На рис. 2 видно место стоянки обмелевшей баржи «Лена».

На рис. 3 и 4 представлена баржа «Лена» и состояние под ней прилипшей снежицы (жузги) на 2 января 1931 г. по данным обследования водолазом водолазной базы Волжского бассейна. Водолаз тов. Мамаев в своем рапорте от 29 января так описывает положение жузги (снежицы) и грунта под днищем «Лены».

«Настоящим доношу: 27 янв. 1931 г. обследованием путем спуска с правой стороны баржи «Лены» против носовой мачты и против кают, установлено: с правой стороны по борту судна имеется под баржей жузга, препятствующая сдвигу судна, которая врезалась в песок грунта на расстоянии 43 м по длине судна, а также во всю ширину корпуса, отступая

¹ Особые способы увеличения силы при съеме судна с мели.

от бортов. Местами подлезать под жужгу можно лишь в лежащем положении. Кроме того под бортом судна местами имеется заструга — песок, достигающие до 2 м, и они проходят через майну в речную сторону, снижен-

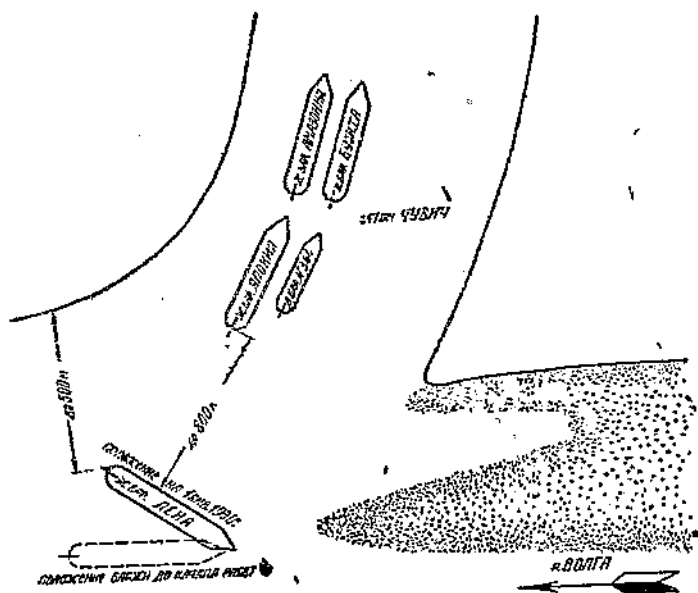


Рис. 2. Зимовка судов в заливе Чувич в 1930 — 31 г.

Обмер у баржи «Лена» 1 января 1931 г.: 1) от кормы до носа с луговой стороны (в см): 435, 425... 360... 520, 585 и 545 (17 промеров); 2) от кормы до носа с горной стороны (в см): 460, 420... 395... 520, 496 и 515 (17 промеров).

ные до конуса. По сравнению с предыдущими снужками, здесь имеются изменения вследствие сыпучести грунта песка и течения. Под баржей обнаружена общая масса льда, которая в нижней части имеет жужгу, причем общая толщина льда на середине достигает от днища судна в упор

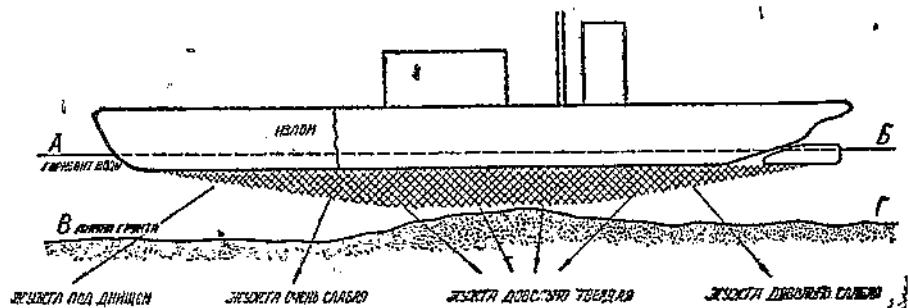


Рис. 3. Состояние жужги (снежинца) под баржей «Лена» у залива Чувич, определенное водолазом на 2 января 1931 г.

песка глубины до 2 м. Что же касается от середины до кормы и носовой части, то здесь лед и жужга сходят на конус. На основании вышеуказанного нахожу, что сдвигу судна с места препятствует песок, засыпанный льдом, и жужга, связанная с корпусом судна.

эти случаи. Осенью 1930 г. в затоне гудачи (см. рис. 2) морщинистая баржа «Япония», пришедшая в затон на зимовку сверху за пароходом «Вандал», имея осадку около 50 см, на глубине под баржей 340 — 380 см при сильной убыли воды прихватила мели и ее стало ломать. Быстрая и большая убыль произошла вследствие того, что выше г. Тетюш 27 ноября 1930 г. произошел большой затор, и за 5 дней вода убыла на 91 см². 2 декабря затор прорвало, и «Япония» без особых повреждений всплыла. Обследование показало, что под днищем «Японии» имелось (так же, как и под баржей «Лена») снежинца и жужга.

Действие снежицы на искусственные сооружения,¹ плывы и плотины, отмечено на Москворецкой плывованной системе осенью 1927 г. Указанной осенью было два больших паводка: первый паводок достиг наивысшего уровня воды у Фаустова (до 4,15 м) 1 ноября, в второй так же — 15 ноября (до 4,55 м). На спаде второго паводка наступили морозы, температура воды поднялась до нуля и появилось сало.

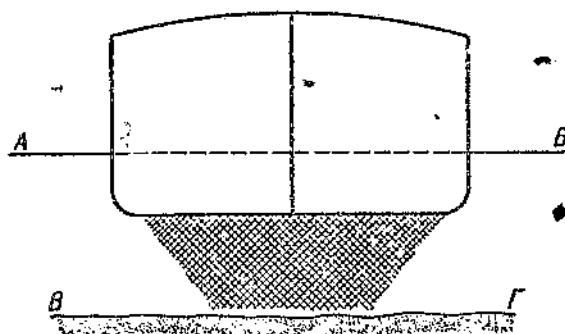


Рис. 4. Прилипание снежицы.

В это время пошел обильный снег, образовавшийся вместе с салом значительную густую массу, которая двигалась по реке. Судоходство осенью 1927 г. затнулось, плотины Москворецкой системы к этому времени еще не были разобраны и у них начали образовываться заторы. Наиболее сильный затор произошел у Софьиной плотины, где подпертая

снежинцей вода пошла в обход сооружения и 18 ноября прорвала левый берег реки за устоем плотины.

По словам старых водников, в том числе лиц, обслуживающих сооружения Москворецкой системы, наблюдались случаи и раньше, когда снежинца (они ее называли жужга) забивала фермы плотины. Кроме того, действие снежицы неоднократно наблюдалось и у Рублевской водонапорной станции на р. Москве. Несомненно, что происхождение снежицы (жужги) и во всех остальных случаях на р. Москве такое же, как и в 1927 г. у Фаустовской плотины.

Ближайшие причины образования снежицы во всю ширину русла. Основными причинами крайне интересного (кстати сказать, не только не изученного, но и нигде не описанного) образования осенней снежицы и ее влияния на суда и судоходство, по моему мнению, являются следующие:

- 1) обильный в течение нескольких круглых суток снегопад;
- 2) разность в скоростях течений между рядом лежащими участками реки;
- 3) способность снежицы прилипать к корпусам судов.

¹ И. П. Кравченко, Исследование р. Москвы и ее описание, Транспечать, 1930 г., Москва.

Первая причина вполне понятна — обильный снегопад создает мощный слой снежицы. Если во время сильного снегопада земля на берегах реки будет мерзлая, будет стоять сухая погода и дуть сильный поперечный по отношению к данному участку реки ветер, то снег, падающий на мерзлую землю, будет подхвачен ветром и снесен в воду реки, где и будет концентрироваться. Попадая в воду, снег сцепляется между собой и образует сначала небольшие ($5 - 10 \text{ м}^2$) плавающие на поверхности воды, а затем и большие снежные массы ($1 - 3 \text{ м}^2$), которые и будут плыть по течению реки. Эти хлопья и снежные массы на поверхности воды и называются снежинцами. Если в это время стоит морозная погода, то верхний слой будет смерзаться с салом и образует лед (новосадок).

Если бы Волга текла в «трубе», т. е. если бы ширина ее и глубина были одинаковы, берега прямые и скорость течения ровная, то снежинца продолжала бы равномерно свое движение вниз по течению до тех пор, пока не образовала бы сплошной ледоход, а потом и ледостав. На самом деле на р. Волге этого нет. Ширина реки и глубина ее русла различны. Прямые берега имеются только на коротких расстояниях, как исклочение. Скорости течения на мелких местах (перекаты) и узких плесах вдвое, а иногда и втрое выше, чем на широких и глубоких плесах и т. д.

Благодаря такой конфигурации русла Волги снежинца на быстрых частях реки плывет быстрее, а на тихих ее движение значительно замедляется, и она, скапливаясь в расширенной части русла, образует весьма толстый слой желеобразной массы, которая сплошной стеной медленно движется вместе с течением реки, иногда заполняя русло до самого дна. Этим и можно объяснить массовое скопление снежицы в 1882 г. ниже г. Васильсурска, у Хмелевского острова, и в 1930 г. — на Тетюшском плесе, что и привело к описанным выше весьма характерным и опасным явлениям с караванами парохода «Сотрудник» (в 1882 г.) и «Вандал» и др. (в 1930 г.)

Для выяснения происшедших явлений рассмотрим обе местности более подробно. Участок р. Волги между Фокинским и Сумским перекатами в районе Васильсурска имеет протяжение около 42 км. Примерно посредине расположен о-в Хмелевский, около которого и стоял в 1882 г. с караваном пароход «Сотрудник». Плес между этими перекатами, как известно, широкий и глубокий, а течение тихое. Если течение на Фокинских перекатах и выше определяется в $3 - 3\frac{1}{2}$ км в час, то против о-ва Хмелевского это течение равно только $1 - 1,5$ км в час. Поэтому плывущая сверху с Фокинских перекатов снежинца, имея скорость вдвое большую по сравнению с нижележащим плесом, достигнув г. Васильсурска, замедлит движение и на пространстве около 42 км скапливается, прессыется сплошной стеной и в таком состоянии присасывается к днищам судов.

Теперь рассмотрим местность, прилегающую к Тетюшскому плесу. Между устьем о-ва Чарлык и приверхом Балымерского о-ва, на расстоянии около 30 км, находится очень широкий и глубокий Тетюшский плес с очень тихим течением. В нижней части этого плеса стоит г. Тетюши. На Тетюшевских и Спасских перевалах и выше до устья р. Камы скорость течения около $3 - 4$ км в час, а в Тетюшском плесе — всего $1 - 1,5$ км в час, т. е. опять-таки вдвое меньше. Стало быть соотношение скоростей и условий русла будет одинаково с Васильсурским плесом, а поэтому все явления со снежинцей, имевшие место в 1882 г. у Хмелевского острова, повторились в 1930 г. в Тетюшском плесе.

Указанными разностями течений и ширины русел можно объяснить

также и некоторые особенности движения осеннего льда у о-ва Хмелевского и в Тетюшском плесе. В узкой и мелкой части плеса р. Волги (перекаты Фокяинские выше Васильевска и Тенишевские выше Тетюш) течение быстрее, лед плывет скорее, а ниже в расширенной части, где течение более тихое (вдвое и больше), лед плывет медленнее. По этой причине лед в расширенной части русла теряет соответственно свою скорость и начинает скапливаться в больших массах (верхний лед нагоняет нижний). Этим и объясняется скопление больших масс льда в этих плесах. По этой именно причине пароход «Полезный» в 1902 г. не мог пробиться порожнем в Тетюшском плесе и принужден был зазимовать в Балымерском затоне (выше приверха Балымерского о-ва), о чем было сказано выше. Таких примеров в жизни Волжского судоходства можно подобрать немало.

Что касается прилипания снежицы к корпусам баржей, то если в этом и было некоторое сомнение (после случая с караваном пароходом «Сотрудник» в 1882 г.), то после неоднократно проверенных случаев с караванами «Вандал» и др. осенью 1930 г. в Тетюшах, в Ульяновске и в затоне Чувичи и после неоднократного в зиму 1930/31 г. обследования водозабором днища баржи «Лена» в затоне Чувичи (см. выше) всякое сомнение в этом исчезло, и факт прилипания нужно считать точно установленным.

Теперь остается этот интересный и важный вопрос подвергнуть детальному изучению и научной проработке. На основании приведенных фактов можно сделать следующие выводы относительно влияния снежицы на речные суда:

1. Осенью, при продолжительном и большом снегопаде в широких плесах с тихим течением или при отсутствии последнего, образуется в воде снежица, способная прилипать к днищу судна.

2. Прилипший толстый слой снежицы, достигающий иногда 3—4 м глубины, вследствие изменения обдаки баржи может создать для последней большую опасность.

3. Крайне интересные явления, происшедшие с судами на Волге в описанных мною и другими случаях, должны быть подвергнуты научными учреждениями речного транспорта специальному исследованию и изучению. Результаты этих исследований необходимо широко опубликовать для сведения всех водников.

4. На основе изучения влияния снежицы должны быть намечены конкретные мероприятия для предупреждения несчастий на речном транспорте.

Подводя итоги факторам, влияющим на замерзание рек Волжского бассейна, можно свести их к следующим группам.

Факторы, ускоряющие замерзание рек:

- 1) северные, северо-восточные и восточные ветры;
- 2) снегопад;
- 3) низкие горизонты воды;
- 4) на малых реках, на широких плесах с тихим течением замерзание происходит быстрее, чем на реках с быстрым течением.

Факторы, замедляющие замерзание рек:

- 1) южные, юго-западные и западные ветры, задерживающие охлаждение воды;
- 2) дожди и туманы при тихой погоде;
- 3) высокие горизонты воды.

III. продолжительность ледяного покрова и изменения в нем за зиму.

По многолетним средним данным с 1877 г. продолжительность ледяного покрова различных пунктов р. Волги¹ характеризуется следующими данными, приведенными в таблице 5.

ТАБЛИЦА 5.

Название пристаней	Вскрытие		Замерзание		Продолжительность покрытия реки льдом от появления первого сала до очищения реки от льда (дни)	Река свободна от льда (дни)
	Первая подвижка, месяц и число	Река очистилась от льда, число и месяц	Первое появление сала, число и месяц	Река покрылась льдом, число и месяц		
Р. Волга						
г. Тверь	11/IV	17/IV	4/XI	27/XI	158	202
„ Рыбинск	17/IV	27/IV	3/XI	24/XI	163	197
„ Н.-Новгород	15/IV	27/IV	6/XI	3/XII	167	193
с. Богородское	17/IV	25/IV	7/XI	29/XI	163	197
г. Самара	14/IV	28/IV	10/XI	10/XII	164	196
„ Саратов	13/IV	28/IV	14/XI	14/XII	159	201
„ Сталинград	4/IV	18/IV	24/XI	15/XII	141	219
„ Астрахань	14/III	23/III	6/XII	17/XII	103	257
Р. Кама						
г. Пермь	26/IV	5/V	25/X	16/XI	188	172
„ Чистополь	18/IV	30/IV	2/XI	22/XI	173	187
Р. Вятка						
г. Вятка	23/IV	29/IV	29/X	9/XI	177	183
Р. Белая						
г. Уфа	18/IV	25/IV	2/XI	17/XI	170	190
Р. Ока						
г. Орел	22—23/III	9—10/IV	8/XI	3—4/XII	147	213
„ Рязань	10/IV	16—17/IV	22—23/XI	—	150	210
„ Муром	10—12/IV	19/IV	9/XI	23/XI	155	205

Анализируя приведенную таблицу, констатируем, что в соответствии с климатом (температура, осадки и ветры) продолжительность ледяного покрова р. Волги, начиная от г. Рыбинска вниз, постепенно понижается, давая минимум (103 дня) у г. Астрахани. Наибольшая продолжительность ледяного покрова отмечается в крайней северо-восточной части бассейна — у г. Перми на р. Каме (188 дней). На крайних западных точках бассейна продолжительность ледяного покрова значительно снижается, достигая у г. Твери 158 дней, у г. Орла на р. Оке — 147 дней.

¹ По данным: у г. Твери — по Рыкачеву и Бениггу; пристань р. Оки — Гидрометрического бюро при Нижегородском крайисполкоме, остальные пункты — по Волжско-Камской справочной книжке, ч. I, сборн. 6. Каз. окр. п. с., Казань, 1914 г.

Изменения ледяного покрова за зиму происходят в следующих направлениях: 1) лед увеличивается в толщину, 2) расширяется, 3) опускается или поднимается во всей своей массе в соответствии с колебаниями горизонта воды.

Увеличение ледяного покрова в толщину происходит в течение всей зимы, пока существуют морозы. Наибольшей толщины (до 1 м) лед достигает в среднем течении р. Волги и на всех ее северо-восточных притоках. Меньшая толщина льда (около 70 см) наблюдается в западных частях бассейна (верхнее течение р. Волги, западная и южная части бассейна р. Оки) и во второй зоне р. Волги на Сталинградском и Астраханском плесах. У г. Астрахани толщина льда наблюдалась (по Е. П. Чистякову): максимальная — 91, 44 см (2 февраля 1836 г.) и минимальная — 26, 67 см (25 января 1843 г.).

Присутствие на ледяном покрове снега задерживает его рост в толщину и наоборот. Этим обстоятельством в судоходном промысле пользуются в практических целях. Например: если требуется произвести выморозку судна (о выморозке — см. ниже), то поверхность льда тщательно очищается от снега (сметают чисто метлой). Если же требуется, чтобы произведенная околкай вокруг судна майна (об околке судов — см. ниже) дальше не промерзала, то ее засыпают толстым слоем снега и т. д.

Как общее правило на реке, где нет течения, лед бывает толще. Наибольшей толщины лед достигает в затоках и у берегов. Этому способствует (как отмечалось выше) присутствие смерзшегося сала, жужги, донного льда и т. д. В затоках это обуславливается еще и тем, что на ледяной покров выбрасываются снег и лед из шаманов судов, из майн, при выморозке их и т. д. Под давлением выбрасываемых масс лед осаждается, на нем появляется слой воды, которая промерзает, увеличивая этим толщину слоя льда. Толщина льда в судоходстве играет важную роль: ею пользуются при ремонте подводных частей судов, что избавляет суда от постановки в док, от вытаскивания на берег и т. д.

Расширение льда, хотя и оказывает влияние на зимующие суда, увеличивая сдавливание их корпусов, но по сравнению с силой, сдавливания их от колебания горизонтов воды оно настолько ничтожно, что практически не расчет обычно не принимается.

Колебания поверхности льда в зависимости от колебания горизонта воды. Как уже отмечено выше, после ледостава и окончания прибыли черной воды уровень воды рек Волжского бассейна (за исключением Астраханского плеса) в течение всей зимы понижается, вследствие чего лед вместе с убылью воды будет опускаться вниз, обламываясь на берегах. По этой причине при убыли воды ледяной покров реки будет сжиматься посредине реки (затона) и иметь вогнутый вид (рис. 5). На всем Астраханском плесе и части Сталинградского плеса у г. Астрахани и выше его примерно на 200 км (до ст. Капановской) уровень воды зимой колеблется от направления ветров. Так морина нагоняет воду и поднимает уровень воды до 1 м, а иногда и более. В это время лед имеет выпуклый вид (рис. 6), и давлением воды отрывает его от берегов. Северо-восточные ветры угоняют воду, понижая ее уровень также на 1 м и больше. В это время лед повисает на берегах, середина его будет иметь вогнутый вид, и он будет обламываться на берегах.

Нормальный горизонт воды показан на рис. 7. Всякое колебание ледяного покрова, от каких бы причин оно ни происходило, вызывает то сжатие, то растяжение всей ледяной массы по всей длине реки (затона),

и если эти колебания велики, лед дает трещины в разных направлениях. Такое колебание льда давит на корпуса вмерзших в лед судов, причем давление будет тем больше, чем больше само судно и чем осадка его глубже. Против повреждения корпусов от сдавливания их льдом зимой принимаются особые меры (сколки, см. ниже).

При рассмотрении вопросов, касающихся состояния ледяного покрова зимой, необходимо сказать несколько слов о речных полыньях.

Полыньей называется большая или меньшая часть непокрытое льдом водное пространство на реке после ледостава. Полыньи образуются в трех случаях: 1) ниже ухвостья острова, осередка, затона и т. д. (т. е. в более расширенной части русла следующего непосредственно за узкой), когда выше их, как в более узкой части русла, лед станет, 2) под устоями железнодорожных мостов, где наблюдается быстрое течение, и 3) от неровностей больших льдин (тав), когда последние (при ледоставе) останавливаются при тихом течении, т. е. когда лед не нагораживает одну льдину на другую.

Небольшие полыньи (площадью 50—100 м²) обычно зимой замерзают. Полыньи больших размеров (площадью 1 км² и больше) на быстром течении и теплые зимы остаются открытыми до весеннего ледохода. Если останутся открытыми полыньи, образовавшиеся под ухвостьем затона или зимовки, то водники пользуются ими для выпуска в них затонского льда, что значительно ускоряет и удешевляет ледокольные работы (об этом подробно см. ниже — «Спасение судов от весеннего ледохода»).

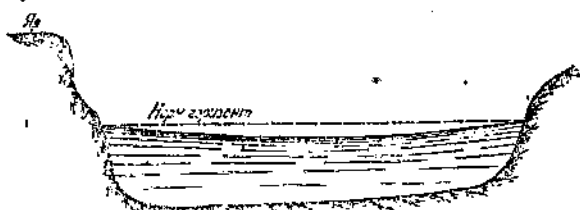


Рис. 5. Вогнутость льда при убыли воды.

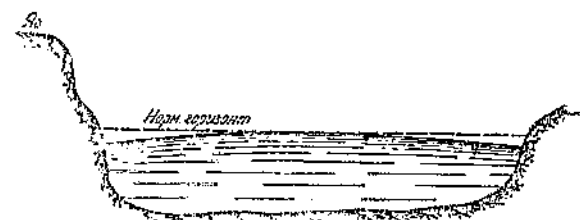


Рис. 6. Выпуклость льда при прибыви воды.



Рис. 7. Нормальный горизонт воды.

IV. Вскрытие рек весной.

1. Общие сведения.

Вскрытием рек называется такое их состояние, когда ледяной покров, сковывающий зимой поверхность реки, ломается и распадается на отдельные льдины, которые, придя в движение под влиянием течения,

увлекаются вниз по реке. Такое движение льда называется ледоходом. В отличие от осеннего ледохода весной называется весенним ледоходом.

Весь процесс вскрытия рек Волжского бассейна распадается на следующие три основных фазы: 1) подвижка льда, 2) полный ледоход и 3) очищение реки от льда. Момент (день), когда река очистится от льда (проплыл последний лед), считается началом навигации, что и отмечается в официальной статистике Наркомвода. Значение особых фаз ледохода в работе водного транспорта и всех водников, особенно в верхней зоне, огромное, о чем будет сказано ниже.

Весенний ледоход в зависимости от климатических условий начинается не в одно и то же время не только в различных частях бассейна рек, но и в одном и том же пункте наблюдений, что подтверждается таблицей 6.¹

ТАБЛИЦА 6.
Весенний ледоход (река очистилась от льда).

Название реки	Пункты наблюдений	Самый ранний	Самый поздний	Разница, дни	Средний
Волга . . .	Рыбинск	27 марта	10 мая	44	22 апреля
" . . .	Кострома	28	9 "	41	23 "
" . . .	Юрьевец	4 апреля	12 "	38	25 "
" . . .	Н.-Новгород . . .	1 "	13 "	42	26 "
" . . .	Васильсурск . . .	1 "	5 "	33	25 "
" . . .	Богородское . . .	5 "	6 "	31	25 "
" . . .	Самара	2 "	9 "	37	28 "
" . . .	Саратов	22 марта	12 "	51	27 "
" . . .	Сталинград . . .	27 "	8 "	42	17 "
" . . .	Астрахань	4 "	13 апреля	40	24 марта
Шексна . . .	Череповец	10 апреля	11 мая	31	26 апреля
Молога . . .	Весьегонск	7 "	10 "	33	24 "
Кострома . .	Буй	15 "	7 "	22	25 "
Унжа	Кологнв	11 "	8 "	27	25 "
Ветлуга . . .	Ветлуга	16 "	6 "	20	26 "
Кама	Пермь	14 "	17 "	33	5 мая
Белая	Уфа	12 "	10 "	28	26 апреля
Вятка	Вятка	12 "	14 "	32	29 "
Ока	Муром	6 "	3 "	27	30 "

Из таблицы 6 мы видим, что колебания между ранним и поздним ледоходом в отдельных пунктах рек Волжского бассейна верхней зоны достигают от 20 до 51 дня, причем на меньших притоках размах колебаний слабее. Средние же даты во всей первой зоне дают весьма незначительные колебания. Во второй зоне очищение реки от льда по сравнению с верхней зоной происходит раньше: в Сталинграде примерно на 10 дней, а в Астрахани — на целый месяц.

Как общее правило, вскрытие рек Волжского бассейна в нормальные весны происходит так: первым открывается Астраханский плес, далее верховья р. Оки у г. Орла и исток р. Волги выше Твери; затем вскрываются Тверской плес р. Волги и верховья р. Велой у г. Стерлитамака. Позже вскрывается р. Ока от г. Рязани до ее устья, затем Рыбинский, Казанский и Низовой плесы р. Волги (устье Камы-Сталинград); послед-

¹ По средним данным за 48 лет, обработанным Е. П. Чистяковым, изд. «Пром издатель», Москва, 1924 г.

ей вскрывается р. Кама у г. Перми и выше. Р. р. Вятка и Белая (ниже г. /фы) вскрываются одновременно с нижней Камой. Ледоход в верховьях р. Оки и Камы и высота весенней приблыви (горизонт воды) в этих плесах служат показателями приближения времени вскрытия рек и величины ожидаемого половодья в остальных частях бассейна р. Волги, а также проверкой определения запасов снега в бассейне.

Продолжительность весеннего ледохода также не везде одинакова и не только в различных частях Волжского бассейна, но и в одних и тех же пунктах, что видно из таблицы 7.¹

ТАБЛИЦА 7.

Пункты наблюдений	Продолжительность весеннего ледохода, считая от первой подблывки льда до полного очищения реки (в днях)		
	наибольшая	наименьшая	средняя
Рыбинск	24	2	9
Кострома	20	4	8
Юрьевец	24	4	7
Н.-Новгород	21	3	9
Васильсурск	16	4	8
Богородск	24	4	8
Самара	24	7	14
Саратов	33	4	15
Сталинград	39	2	15
Астрахань	48	1	10

Из таблицы 7 видно, что в верхней зоне (выше Камышина) наибольшая продолжительность ледохода наблюдалась у Саратова (33 дня) и наименьшая — у Рыбинска (2 дня). Средняя продолжительность ледохода колеблется от 7 дней (Юрьевец) до 15 дней (Саратов). В нижней зоне продолжительность ледохода не является характерной вследствие особых условий его ледохода, о чем будет подробно сказано ниже. Этой особенностью объясняется и максимальная для всего бассейна продолжительность ледохода у Астрахани (48 дней) и Сталинграда (39 дней).

Описанные выше весьма значительные колебания начала ледохода и его продолжительности делают весьма затруднительными попытки заранее определить с какой-либо для данного года точностью начало ледохода, его продолжительность, а стало быть и продолжительность навигации.

Рассмотрим далее ход вскрытия рек более детально по верхней и по нижней зонам Волжского бассейна.

2. Вскрытие рек Волжского бассейна в верхней зоне.

Весною, обычно во второй половине марта, с наступлением тепла начинается таяние в бассейне снега. Образующаяся от этого вода стекает в реки, поднимая уровень воды в них до очень больших размеров. Прибылая вода значительно увеличивает объем воды в реке, поднимает лед, разламывает его и наконец лед течением реки уносит вниз по течению. При этом происходят следующие явления, при описании которых необ-

¹ По средним данным за 48 лет, обработанным Е. П. Чистяковым, изд. «Премиздата», Москва, 1924.

ходимо прежде всего остановиться на состоянии закраин, играющих огромную роль как в самом процессе вскрытия рек, так и в судоходной работе.

Осенняя закраина, глубоко вдающаяся в русло и являющаяся одним из факторов перехода от осеннего ледохода к ледоставу, с наступлением последнего исчезает — сливается со всей массой льда. Вследствие постепенного понижения уровня воды в реках Волжского бассейна в течение зимы лед опускается, повисает на берегах и примерзает к земле. Если берег круто спускается к воде, то лед закраины на крутзкие обламывается. Только за этим береговым, примерзшим к земле льдом в зимний и весенний периоды и сохраняется название закраины. В соответствии с таким положением уторой закраины считается линия края закраины по урезу воды при зимних горизонтах.

Начинающая прибывать вода не может сразу поднять береговой лед — его надо оторвать от земли. А это происходит только тогда, когда береговой лед оттает (отопрет) от грунта, для чего требуется более или менее продолжительное время. Поэтому на реке в первую очередь поднимается лед, находящийся на воде («на плаву»), и уже впоследствии, иногда через продолжительное время, отрывается и береговой лед (закраина).

В этот промежуток времени прибывающая вода заливают всю закраину или ту ее часть, которая лежит на более низких местах. Ширина закраины и глубина на ней прибывшей воды бывают весьма различны и зависят от уклона береговой полосы. Так, на отлогих песках закраина (следовательно и заливаемая ее часть) будет иметь наибольшую ширину, у крутых берегов ширина закраины будет меньше, а у отвесных берегов закраины совершенно не бывает. Покрытие закраины водой для зимующих судов имеет двойное значение: во-первых, вода прерывает сообщение судна с берегом и для восстановления сообщения приходится делать с берега на пловучий лед мостики, а во-вторых, вновь образовавшуюся водную площадь используют для выпуска в нее расколотого в затоне льда, когда это приходится делать для подводки или сводки зимующих судов.

Наконец под влиянием увеличивающегося тепла закраинный лед начинает подопревать со стороны реки и вследствие своей пловучести поднимается кверху. Прежде всего всплывает стержневой конец льдины, а противоположный ее конец еще может оставаться примерзшим. При таком случае льдина будет выдаваться в реку углом. Это — опасный момент для судна, если в это время случится подвижка. Край льдины называется у т о р о й.

Примерами больших заливаемых весной закраин могут служить: 1) закраина от заливания весенней водой Печерских песков, ниже б. Курбатовской зимовки в Н.-Новгороде и 2) закраина у Молитовской пристани. Там же под Курбатовским затоном закраина используется для выпуска льда из-под ледорезов. В Молитовском же (где суда зимуют на открытом плесе) закраинной пользуются для подводки на нее порожних судов, где они и находят спасение от ледохода.

Вследствие того что температура воздуха во время весны держится невысокая, а по ночам бывают заморозки, толщина и крепость льда в верхней зоне Волжского бассейна уменьшается незначительно, особенно по сравнению с нижней зоной. Поэтому до первых подвижек и даже во время них лед представляет собой удобное средство сообщения по реке (по затону), но крепость льда является одновременно его огромным отрицательным свойством, ибо крепкий лед во время своих подвижек, а дальше

и ледохода, представляет огромную опасность для судов при их столкновении со льдом. Об этом будет подробно сказано ниже.

Дальнейший процесс вскрытия реки протекает так. Прибылой водой лед, находящийся на плаву, поднимается вверх и отрывается от береговой закраины. При оттогах берегах зеркало реки значительно расширяется, и лед повисает, имея точку опоры в приверхе острова, осередка, натяга русла и т. д. Течение, скорость которого увеличивается с прибылью воды, стремится сдвинуть лед вниз по реке. По мере увеличения прибыли воды, от которой продолжает расширяться площадь зеркала реки и увеличивается скорость течения, лед не выдерживает усиливающегося на него давления, отрывается от своей опоры и трогается. Это называется **п е р в о й п о д в и ж к о й л ь д а**. Первые подвижки льда по времени обычно бывают незначительные — продолжаются несколько минут. Расстояние движения льда бывает различное, но в общем невелико: около 10—20 м. Первые подвижки льда для судоходной работы могут иметь такие последствия: 1) они могут сдвинуть все сделанные для выпуска льда дворы (о дворах—см. ниже) и свести на-нет это мероприятие, очень важное при спасании судов от весеннего ледохода, и 2) они же могут образовать под затопом (под зимовкой судов) **п о л ы н ь и**, в которые можно будет выпускать затонский или иной лед при его расколке.

Подвинувшись, лед заполняет все зеркало воды в реке, включая закраины, и останавливается от трения о берега или упирается в острова, осередки и т. д. Прибывающая вода вновь начинает увеличивать объем и площадь зеркала воды, и лед снова оказывается навесу. Под действием все усиливающегося течения реки лед не выдерживает и вновь трогается. Это **н а з ы в а е т с я** **в т о р о й п о д в и ж к о й л ь д а**. Промежуток между второй и первой подвижкой бывает весьма различен и колеблется от нескольких часов до нескольких дней. Зависит он от интенсивности прибыли воды, характера очертаний русла и т. д.

Вторые подвижки обычно бывают более продолжительными по времени (час, два и более), причем расстояние подвижки измеряется уже сотнями метров. Сдвинувшийся лед вновь останавливается от трения об берега или упирается в острова и т. д. При вторых подвижках иногда образуются широкие полыньи (если лед отрывает например от ухвостья острова, осередка и т. д.), достигающие по площади километра и более.

Если случится третья, четвертая и т. д. подвижки, то они происходят при тех же условиях, как и вторая, но размах этих дальнейших подвижек по времени и пространству обычно бывает больше второй подвижки, причем происходят ломка льда, образование участков (плесов), свободных от льда, и т. д. и назревают признаки полного ледохода. Число подвижек льда зависит от характера русла (его очертаний в плане), величины его и т. д. На больших реках бассейна (в частности на Волге от устья Камы до Саратова) этих подвижек бывает больше (не менее трех), на малых реках (Ока, Ветлуга, Кострома и др.) их бывает меньше. На характер подвижек влияют и климатические условия (например заморозки).

Наконец лед не выдерживает давления воды, ломается на отдельные льдины (чки и лавы), приходит весь в движение и под напором могучего весеннего потока увлекается вниз по течению. Начинается **п о л н ы й л е д о х о д**.

Полным ледоходом называется такое состояние льда на реке, когда лед, разломанный на отдельные большие льдины, плывет во всю ширину

весеннего русла реки. Продолжается полный ледоход один или несколько дней, что зависит от мощности реки. Затем лед начинает редеть, и на поверхности реки остаются только отдельные льдины, плывущие с более или менее значительными интервалами. Такое положение льда на Волжском бассейне носит название редкий ледоход. Следующим этапом ледохода будет такое состояние льда: большие чьи и лапы пропадут (растают, ломаются или часть их будет унесена на поймы), и плывущий лед будет состоять из небольших редких льдин величиной в 15—25 м², окруженных мелким льдом. Такое состояние ледохода называется мелкий лед и служит предвестником скорого открытия навигации. Затем на течении реки (кроме затонов и других мест со стоячей водой) последний лед исчезает, и официально открывается навигация. Такое состояние реки характеризуется словами: река очистилась от льда.

На р. Волге от Рыбинска до Астрахани и на р. Каме ниже г. Перми при нормальном ледоходе, если среднюю продолжительность его условно считать в 9 дней, продолжительность отдельных его фаз будет примерно такова: продвижки льда — от 2 до 5 дней, полный ледоход — 3 дня и редкий ледоход (до полного очищения реки) — 2 дня. На некоторых реках и участках рек Волжского бассейна, например на р. Оке, на р. Волге выше Рыбинска, на р. Белой у Стерлитамака, ледоход протекает в более короткие сроки. Особенно короток ледоход на р. Оке, имеющей много кривых колен и широкую пойму. Когда пойма заливается водой, то лед в течение одних суток расплывается по поверхности зеркала реки и быстро исчезает из русла.

В силу неодинаковости вскрытия рек бассейна приведенные выше термины, характеризующие отдельные фазы ледохода, имеют условный характер, так как наступление одной и той же фазы в разных пунктах будет иметь неодинаковые последствия. Например, в сообщениях о полном ледоходе в Самаре на р. Волге и в Рязани на р. Оке нужно применять различное толкование, а именно: сообщение о полном ледоходе в Самаре будет означать, что навигация в районе Самары открывается через 4—6 дней, а сообщение из Рязани будет означать, что навигация в районе Рязани откроется на следующее утро после начала полного ледохода.

Об особенностях ледохода на различных реках будет сказано ниже.

Следует еще отметить, что камский лед обладает значительной прочностью и толщиной (до 1 м). По этой причине камский лед проплывает всегда большое расстояние по сравнению с волжским. Если на Волге лед редко проплывает более 200 км, то камский лед продвигается на расстояние до 400 км. Наблюдались случаи (после суровых зим), когда камский лед доплывал до Жигулей. Камский лед представляет большую опасность для судоходства не только потому, что он по строению крепче волжского льда, но еще и потому, что он мало выдается над водой (большая часть его находится под водой), поэтому он медленно поддается действию солнечных лучей и плохо заметен. На это обстоятельство судоводителям приходится обращать серьезное внимание, особенно ночью.

Плавание бельского льда ограничивается 150—200 км, а льда с р. Оки и всех остальных притоков — около 100 км.

3. Вскрытие р. Волги в нижней зоне.

Вскрытие Волги во второй зоне по сравнению с первой характеризуется следующими двумя особенностями: 1) река вскрывается всегда на меженном уровне, чего вообще на всем Волжском бассейне не наблюдается; 2) река в нижней зоне вскрывается не на всем пространстве зоны одновременно, а лед отрывается частями, начиная с нижней части Астраханского плеса (свморья), и постепенно отрывание подвигается вверх—до границы верхней зоны. Первое из отмеченных явлений подтверждается многолетними наблюдениями, что видно из следующего сравнения, приведенного в таблице 8.¹

ТАБЛИЦА 8.

Пункты наблюдений	Наимизший уровень воды		Уровень воды при первой подвижке льда		Реки очистились от льда на уровне см
	см	сот. саж.	см	сот. саж.	
Саратов	166	79	331	155	356
Сталинград	132	62	177	83	141
Астрахань	45	21	75	35	32

Из приведенных данных мы видим, что у Сталинграда Волга вскрывается в среднем близко к самому низкому уровню воды (минимальный уровень у Сталинграда наблюдался 14 апреля 1898 г. и составлял 75 см); в Астрахани реки очищаются от льда при уровне воды ниже того, при котором наблюдались первые подвижки (без учета нагонных морей ветров). В первой же зоне — например у Саратова — наоборот: если река и вскрывается в среднем при небольшом подъеме воды, то очищается от льда при весьма значительном уровне воды (волжский термин — «при верховой прибыли»). Как уже отмечалось выше, вся нижняя зона лежит в области незначительных осадков, которые в противоположность верхней зоне никакого влияния на ледоход не оказывают. Заметное влияние здесь оказывает юго-восточный и южный ветры.

Вскрытие реки в нижней зоне происходит так. С первой половины марта температура настолько повышается (яркие солнечные дни, теплые ночи), что под действием горячих солнечных лучей поверхность льда быстро начинает таять («лед съедает») и лед делается рыхлым настолько, что не поднимает человека. В дальнейшем при повышении температуры лед распадается на отдельные плы (теряет сцепление) и даже под действием слабого течения трогается и уплывает вниз. При этом вследствие рыхлости льда нередко наблюдается и такое явление: сначала уходит лед со середины реки, а береговой лед некоторое время задерживается, а затем и последний плы уплывает также вниз, плы исчезает на месте (в плывнях, заводях, где стоячая вода).

Когда лед не будет поднимать человека (переход через реку будет опасен даже по сплывально проложенным доскам) и если это время совпадет с низовым ветром (моряна), который загораживает течение (а сильный ветер не только останавливает, но даже создает обратное течение), то местные служебные и перевозные баркасы отваливают с мест зпмовки и проходят свободно от одного берега к другому по сплошному льду,

¹ По «Волжско-Камской справочной книжке», изд. 6. Каз. окр. п. с., Казань, 1914 г.

который от распада сплывающихся частиц превращается в одну движущуюся на волнах массу (местное выражение «превращается в кашу»).

В первую очередь вскрытие происходит на Астраханском плесе (ниже г. Астрахани до взморья против г. Астрахани и выше примерно от середины до ухвостья о-ва Долтого). Вслед за этим в тот же или на следующий день Волга очищается (до верхней границы первого отрыва льда). В нашем примере лед, покрывающий Волгу вверх от Астрахани до ухвостья о-ва Долтого, совершенно уходит. Этот день и считается днем открытия местной навигации (рейдовой и промысловой).

Волга со всей ее огромной дельтой в Астрахани и ниже остается чистой ото льда до тех пор, пока не оторвет лед на более верхних участках — на Сталинградском плесе.

Одной из главных особенностей ледохода нижней зоны является то, что выше Астрахани, до границы верхней зоны, лед отрывается постепенно, частями, примерно на 50 — 100 км за один раз, причем это отрывание происходит на протяжении очень большого промежутка времени, достигающего до 26 дней по средним данным за период с 1877 по 1914 г. Первые подвижки льда отмечены: у г. Астрахани 14 марта, а у Сталинграда 6 апреля (у Камышина наблюдений не производилось).

В нормальные зимы волжский лед сверху до Астрахани доплывает примерно только от Внотаевска (152 км выше Астрахани). Лед, движущийся с участков выше Внотаевска, обычно пропадает (тает в пути и до Астрахани не доплывает). В исключительно суровые зимы, когда лед первой зоны обладает значительной толщиной (больше 70 см), и в холодные весны, когда лед не тает или тает медленно, до Астрахани сплывает лед и из пунктов выше г. Внотаевска.

Спустя один или несколько дней после очищения р. Волги у Астрахани под влиянием теплой погоды, иногда южного ветра, лед отрывает и выше острова Долтого (станция Дурная), примерно до приверха рукава Бузан (выше Астрахани 48 км). Оторванный лед плывет вниз, и у Астрахани начинается второй (короткий) ледоход. Затем под действием тех же климатических условий лед вновь оторвет примерно до станции Сероглазки (97 км выше Астрахани). Когда лед этого участка приплывет в Астрахань, у последней начинается третий короткий ледоход. Следующим этапом будет отрывание льда примерно до г. Внотаевска. Приход его в нормальных условиях вновь создает ледоход в районе Астрахани. Дальнейшее отрывание льда будет примерно таково: до с. Никольского (от Астрахани 241 км) до г. Черного Яра (от Астрахани 287 км), до с. Владимировки (от Астрахани 318 км), до с. Каменного Яра (от Астрахани 378 км), до г. Сталинграда (от Астрахани 494 км). Выше Сталинграда отрывание происходит частями, примерно так же, как и на Сталинградском плесе. Так, первое вскрытие Волги против г. Сталинграда бывает при отрыве льда выше г. Сталинграда в 6—7 км — до ухвостья о-ва Денежного. Затем один или несколько дней Волга на участке Сталинграда до Денежного острова бывает свободна от льда. После этого начинается отрывание льда примерно в таком же порядке, как и на Сталинградском плесе: сначала через один или несколько дней лед оторвется примерно до с. Дубовки (в 50 км от Сталинграда), затем до с. Бальзлей (100 км от Сталинграда), потом до с. Антиповки и т. д., вплоть до г. Камышина, в 184 км и выше Сталинграда и 578 км выше Астрахани. Так же, как и на Астраханском плесе, оторванный лед на участке Сталинграда — Камышина, сплывая по течению вниз до Сталинграда, создает

в его районе несколько повторных ледоходов, но так как лед выше Сталинграда крепче и толще, то весь лед от Камышина доплывает до Сталинграда и ниже примерно до с. Владимировки (176 км ниже Сталинграда), где он в конечном результате тает (волжский термин «пропадает»).

В соответствии с процессом весеннего ледохода в нижней зоне происходит и открытие судового движения, момент которого не всегда совпадает с моментом официально объявленного открытия плавания. Так например, немедленно по проходе льда, хотя навигация еще не считается официально открытой, из Астрахани начинается отвал пароходов до ближайших сверху пристаней (Дурной, Сероглазки, Канановского, Никольского и др.), хотя бы лед выше этих пристаней еще и стоял. При этом дорожат каждым часом, ибо при дальнейшем (вышеданной пристани) отрывании льда всегда возможно закрытие ледоходом навигации на один или несколько дней. Против течения идут только днем. О плавании во льдах будет сказано ниже.

Отвал из Сталинграда и других пунктов производится также «за последней льдиной». Так, например, если в Сталинграде оторвало лед только от устья о-ва Денежного (6—7 км выше Сталинграда), то пароходы, после очищения от льда р. Волги у Сталинграда, свободно могут отваливать вниз. В это время лед выше Сталинграда на таком близком расстоянии, как выше о-ва Денежного, будет стоять, и навигация официально может считаться еще неоткрытой.

Кстати следует отметить, что такими особенностями весеннего ледохода в нижней зоне и объясняется, что по данным в обработке Чистякова (см. выше) и по другим официальным сведениям продолжительность ледохода в нижней зоне выразилась в таких больших цифрах: у Сталинграда максимально 39, среднее 15 дней и у Астрахани максимально 48, среднее 10 дней.

Как видим, процесс весеннего ледохода в нижней зоне носит совершенно иной характер, чем в верхней. В Астрахани, Сталинграде и отчасти даже в Камышине (граница зоны) весенний ледоход не сопровождается теми явлениями, какие характерны для верхней зоны и протекает периодами (короткие ледоходы), т. е. в течение нескольких часов или дней (один-два-три) идет лед, а затем ледоход быстро прекращается на те же примерно интервалы, чтобы в дальнейшем через несколько времени вновь возобновиться. Поэтому, читая телеграфные сообщения о весеннем ледоходе в нижней зоне (например: «Астрахань. Волга очистилась»), нужно вкладывать в такие сообщения совершенно иное понятие, чем в аналогичные сообщения об остальных частях бассейна.

4. Особенности весеннего ледохода.

Наблюдаемые при весеннем ледоходе отклонения от нормального его хода можно свести к следующим трем группам: а) короткий ледоход, б) запоздалый ледоход и в) образование заторов.

а) Короткий ледоход. На реках Волжского бассейна наблюдаются иногда ледоходы крайне незначительной продолжительности. В отличие от нормального ледохода назовем их короткими ледоходами.

Для короткого ледохода необходимы следующие главные благоприятные условия: 1) низкий уровень воды при ледоставе предшествующего года; 2) теплая с обильными снегопадами зима, когда на Волге

под снегом образуется лед минимальной толщины; 3) быстрое наступление веслой теплой погоды с обильными дождями и туманами, дающими сразу очень большую прибыль весенней воды, причем земля не успевает оттаять. Кроме этого необходимо, чтобы обычные весенние заморозки не успели захватить лед во время первых его подвижек, а наступили уже после открытия навигации (обычно так и бывает, но все же наблюдаются и исключения).

Если все перечисленные условия будут налично, то такое состояние весенней погоды называется дружной весной. В такую весну вода идет на прибыль очень быстро, уровень ее увеличивается не по дням, а по часам (волжское выражение «вода идет валом»). Жаркая погода с перепадающими дождями и туманами и южный ветер быстро «съедают» лед, ежедневно уменьшая и без того незначительную его толщину, и ослабляют его крепость. Эти же условия способствуют быстрому отогреванию закрапного льда.

Иногда прибыль воды бывает настолько стремительна, что вода, стекающая в реку, не находит для себя места стока под лед и разливается поверх его, образуя на льду слой, называемый «наледью». Явление это особенно резко проявляется на малых притоках (р. р. Унжа, Кострома, и др.). Наледь иногда держится несколько дней (1—3 дня), пока вода не «проест» во льду (обычно у закраины, ибо лед в это время имеет выпуклую форму) отверстие и не уйдет под лед.

Фазы короткого ледохода примерно таковы.

Быстро увеличивающаяся прибыль воды вызывает энергичные подвижки, которые в таких случаях следуют быстро одна за другой. Промежутки между подвижками измеряются только часами. Затем лед, ослабленный дождем и теплом, ломается, приходит весь в движение и сразу наступает полный ледоход. Остальные фазы короткого ледохода такие же, как и у нормального ледохода, но промежутки времени между ними сокращаются настолько, что весь ледоход продолжается около трех дней, а на малых притоках и еще меньше (до одного дня).

Про короткий ледоход волгари говорят так: **н и н и ч е л е д о х о д и р о п а л**.

Сведения о коротких ледоходах за ряд лет, по данным Ю. П. Чистякова, приведены в таблице 9.

ТАБЛИЦА 9.

Пункты наблюдений	Продолжительность ледохода в днях	Время ледохода
Рыбинск	2	10 — 12/IV 1924 г.
Кострома	4	1 — 5/IV 1921 „
Юрьевец	4	16 — 20/IV 1924 „
Н.-Новгород	4	13 — 17/IV 1882 „
Богородск	3	23 — 26/IV 1879 „
Васильсурск	4	18 — 22/IV 1889 „
Самара	7	16 — 23/IV 1877 „
Саратов	4	18 — 22/IV 1919 „

Примечание: Некоторые даты не совпадают с официальными данными б. Каз. Окр. и. с.

б) **Запоздалый ледоход.** Процесс вскрытия рек, названный выше запоздалым ледоходом, протекает следующим образом.

Ранней весной, обычно около 1 марта, наступает резко теплая погода с жаркими днями, теплыми ночами, дождями и туманами (длительная первая «дружная» весенняя оттепель). Вследствие теплой погоды снег в бассейне начинает быстро таять и запасы его истощаются. Вследствие быстрого наступления тепла земля еще не успевает оттаять, поэтому вода от тающего снега и дожди по мерзлой земле огромными потоками устремляется в долины рек, и уровень воды в них начинает быстро подниматься. Горизонт воды бывает настолько высок, что вызывает подвижки льда.

Примерно через две-три недели после начала оттепели, в конце марта или начале апреля, погода резко меняется: южные и юго-восточные ветры (обуславливающие первую оттепель) сменяются на жестокие холодные северные и северо-восточные, которые при значительной силе дуют упорно в течение 2—3 недель, понижая температуру даже среди весеннего дня ниже нуля (до 10—15°). С наступлением холодной погоды прекращается таяние снегов, и прибывь воды уменьшается или даже совсем прекращается. Образовавшиеся при первой оттепели во впадинах закраины наледи смерзаются, прекращаются подвижки льда (если таковые начались), и лед приходит в спокойное состояние.

Затем, соответственно рано или поздно, наступает вторая оттепель: холодные ветры сменяются на теплые, и снег начинает вновь таять. Но так как запасы снега в бассейне уже были значительно израсходованы во время первой оттепели, то вторая прибывь начинается и протекает более медленно (медленнее нормы). Благодаря этому повышение горизонта воды задерживается, что естественно задерживает и взламывание льда (первые его подвижки). Также задерживается и прорыв заторов, а совокупность всех перечисленных факторов отдаляет открытие навигации.

Приведу следующий пример запоздалого ледохода.

В 1894 г. наблюдался запоздалый ледоход на коротком участке р. Волги, примерно от Юрьевца до Н.-Новгорода, на протяжении около 100 км. Во время первой оттепели вода не могла прорвать затора в островах ниже с. Города до устья р. Оки. Истом оттепель сменялась морозами, которые продолжались около 3 недель (днем было от —12 до 15° и ниже). Закраины смерзли, вода ушла и лед повис на берегах. Поэтому пароходы, зимовавшие в Городецких и Сологузовских заторах, сошли в Нижний-Новгород только 26 апреля (старый стиль) — уже тогда, когда пришли в Нижний наливные воза от Астрахани.

Запоздалые ледоходы на р. Волге, по данным Е. П. Чистякова, приведены в таблице 10.

ТАБЛИЦА 10.

Пункты наблюдений	Продолжительность ледохода в днях	Время ледохода
Рыбинск	24	29/III—22/IV 1912 г.
Кострома	20	14/IV— 4/ V 1877 „
Юрьевец	19	1. /IV— 7/ V 1877 „
Н.-Новгород	24	19/IV—13/ V 1893 „
Васильсурск	21	12/IV— 3 V 1903 „
Богородск	16	11—27/IV 1908 „
Самара	24	5—30/IV 1898 „
Саратов	32	22/III—24/IV 1914 „

Примечание: Некоторые даты Е. П. Чистякова не совпадают с официальными данными б. Каз. Окр. п. с.

в) Весенние заторы льда на р. Волжского бассейна. В главе «Замерзания рек» были подробно описаны причины образования заторов при осеннем ледоходе. Весенние заторы образуются под влиянием аналогичных факторов и протекают примерно так же, как и осенью. Поэтому мы не дадим подробного описания весенних ледяных заторов, а ограничимся указанием их характерных особенностей по сравнению с осенними.

Главная особенность весенних заторов заключается в том, что образование затора происходит при все увеличивающемся давлении прибывающей воды. Поэтому весенние заторы по сравнению с осенними являются более мощными и последствия их более значительны. Как уже отмечалось, заторы происходят от того, что лед, встречая на своем пути препятствие (остров, высокий осередок, узкое и кривое колено, мелкое место и т. д.), иногда не может его преодолеть. В этом случае лед с ходу, нередко при очень быстром движении, останавливается. На остановившийся лед со всей силой будут напирать льдины, плывущие сверху. Если этот напор не сможет прорвать образовавшуюся преграду, то льдины у затора будут разламываться, нагромождать целые ледяные горы, забивая до самого дна русло реки у берегов, а иногда и посередине. Если в это время наступят морозы, то они будут способствовать увеличению затора и его продолжительности. Наконец затор не выдерживает огромного давления все нажимающей сверху воды, прорывается, и лед стремительно (со скоростью до 40 км в час) полетит вниз; сметая все на своем пути. Вместе со льдом уходит и вода, убыль ее в это время доходит до одного метра в час. Затем наступает в данном месте полный ледоход.

За последнее время при продолжительных весенних заторах, особенно когда наступает похолодание, создающее возможность значительной задержки прорыва затора, нередко прибегают к искусственному разрушению последнего путем его взрыва. Делается это потому, что в описанных условиях затор представляет огромную опасность для сходящих судов и судоходных сооружений, находящихся ниже затора по течению.

Иногда при весенних заторах наблюдаются еще следующие явления, имеющие серьезные последствия для судоходства. Как правило, всякий затор служит как бы раздельной линией: в верхнем бьефе уровень воды будет значительно выше, чем в нижнем. Иногда эта разница бывает весьма велика (до 3,5 м и больше). Если напор воды не сможет прорвать образовавшийся затор, а ниже затора лед от тех или иных причин (например от силы течения лежащего в данном месте притока) уйдет, вода же, находящаяся выше затора, по мере своего подъема найдет другой выход (например низину поймы, старое русло и пр.), то часть воды с верхнего бьефа «утянет», и заторный лед повиснет на берегах. В этом случае ниже затора после прохода льда откроется навигация, а выше затора лед будет стоять. Это может отдалить открытие навигации выше затора на несколько дней.

Такой заторный ледоход наблюдался у Н.-Новгорода в 1911 или 1912 г. и происходил так (личные наблюдения автора). Затор образовался на Бурхановских песках (между Н.-Новгородом и затоном Сормово). Ниже стрелки р. Оки лед от действия воды из р. Оки прорвало, лед и вода ушли, и навигация на Волге от Н.-Новгорода вниз открылась. Вода же выше затора (выше Липиды) нашла выход в старое русло — в луговой стороне к с. Бор — и тоже ушла. Течение в Сормове стало очень тихое и затора прорвать не могло. Благодаря совокупности этих причин

лед от Бурнаковки до Кочергинских островов (на 40 км выше) стоял несколько дней, что вызвало большие осложнения, так как все запасы жидкого топлива находились в заторе Сормово, куда вход был прекращен затором. Пароходы, выпешшие из Муромского, Доскинского, Собчинского, Жуковского, Люлиховского и других затонов и пришедшие из р. Оки, оказались без топлива и не могли отвалить в рейс. Для борьбы с затором были наняты особые рабочие, т. е. ледоколы (до 300 чел.), которые разбивали заторный лед и выпускали его вниз по Волге. Таким путем в течение 2—3 дней Волга была очищена до Сормовского затона, и нефтяники были из него выведены. Затор прорвало через 5—6 дней, когда пришла верховая вода. Волга в Кляшме и выше, и вниз от Енжинево-Новгорода очистилась от льда в первый же день образования затора.

V. Действие льда на суда, на пловучую обстановку, на пристанские сооружения, на гидротехнические сооружения, на русло и перекаты.

Осенний и в особенности весенний лед при своем движении стремится разрушить все лежащее на его пути. Поэтому изыскиваются меры, парализующие разрушительное действие льда. В частности водниками на основании многовековой практики выработал ряд мер, гарантирующих и предупреждающих катастрофы и аварии от льда с судами и судосходными сооружениями.

Наибольшую опасность лед представляет для речных судов. Если при устройстве других сооружений уже учитываются силы ледохода (например мосты) или увеличение напора воды при повышении ее горизонта (дамбы) и т. д., то речные суда (кроме специальных ледоколов, насчитывающихся единицами) по эксплуатационным и экономическим соображениям строятся весьма легкого типа и совершенно не могут противостоять силе речного льда. Поэтому речные суда нуждаются в принятии особых мер охраны от ледохода. Как общее правило, чем больше судно, чем больше его осадка, тем сильнее действие на него льда и наоборот. На порошние суда действие льда слабое, ибо при столкновении со льдом они легче могут оттолкнуться в противоположную сторону, чем груженные. Суда лодочной постройки меньше всего поддаются действию льда, и аварии с ними от ледохода являются редким исключением.

Ниже будет рассмотрено действие льда на воде в таком порядке: 1) на суда, 2) на пловучую обстановку, 3) на пристанские сооружения, 4) на гидротехнические и другие сооружения и 5) действие льда на русло реки и на перекаты.

1. Действие льда на суда.

Осенний ледоход влияет на суда неодинаково. Так новосадок не может своей силой сделать пробойку в корпусе речного судна и обыкновенно, ударившись об его корпус, тут же обламывается. Однако новосадок может постепенно прорезывать обшивку деревянного судна, так как обладает очень большой режущей силой. Например, если судно с деревянным корпусом пройдет льдом-новосадком в течение одной вахты (4—6 час.), то обшивка судна, соприкасающаяся на уровне с новосадком, может быть прорезана насквозь. Обламываясь при ударе о корпус

судна, новосадок благодаря своей огромной массе одновременно выполняет и свое разрушительное дело; при обламывании кромок льда все же получается удар и какое-то хотя и незначительное повреждение деревянной обшивки; обломанную кромку льда тут же заменяет под напором (новосадок обычно плывет в распор во всю длину русла) свежая кромка, которая, обламываясь, будет снова резать своим острием обшивку судна и т. д. От такого непрерывного действия новосадка на корпусе появляются сначала бороздки (лед отдирает дерево слоями), а затем продольное отверстие сквозь все швы; судно дает течь и может потонуть. Такие случаи на Волге бывали.

На железные корпуса и колеса пароходов новосадок почти не оказывает влияния (кроме стирания краски). Он обламывается у бортов или колес парохода, не причиняя заметных повреждений.

В следующей фазе осеннего ледохода, по мере увеличения толщины осеннего льда, действие его на суда увеличивается. И суда на ходу должны избегать столкновения со льдом в предупреждение аварий.

Когда же лед достигает значительной толщины (формируясь например в чки), то действие льда на суда будет разрушительным: при столкновении судна с таким льдом можно поломать колеса (для винтов опасности меньше), получить пробой корпуса и т. д. Меньшей опасности подвергаются суда с ложнообразными носовыми оконечностями: такое судно ломает и шлет лед под себя, а не режет его, как судно с остроконечными образованиями.

Весенний лед для судов еще более опасен. Даже в нижней зоне р. Волги, в том числе и в Астрахани и ниже — на Астраханском плесе, в суровые зимы весенний лед представляет при столкновении с ним серьезную опасность всем судам. В верхней зоне весенний лед таит в себе угрозу для судов не только во время плавания, но и на зимовках и в затонах, если последние не ограждены от весеннего ледохода или если судно занимает под ухвостьем или вне затона. Действие льда на суда в этом случае таково, что даже первая незначительная подвижка льда может срезать судно и его потопить.

О мерах предупреждения аварий с судами в затонах во время ледохода см. ниже.

Необходимо отметить особенности действия льда на суда при заторах.

Как было описано, горизонт воды выше затора быстро — в несколько часов — поднимается иногда на весьма значительную высоту (3,5 м и выше). Первая непосредственная опасность будет грозить судам, стоящим в зоне, расположенной выше затора. Скопляющаяся выше затора вода будет искать выхода, может броситься и в устье затора, увлекая за собою лед и причинить аварии стоящим в затоне судам. Опасность для стоящих в затоне судов будет тем больше, чем шире устье затона и чем ближе к устью стоят суда и наоборот.

Второй опасностью будет прорыв затора. После прорыва затора вода убывает очень быстро (метрами в час) и суда, если они стоят на мелких местах (к этому иногда приходится прибегать, спасая суда от весеннего затора), могут обсохнуть. Если под корпусом будет неровное дно, то суда могут и наломать.

Действие льда на суда при заторах осенью и весной одинаково, но опасность от весеннего затора больше главным образом потому, что весенний лед толще. Указанные действия заторов льда на суда и нужно иметь в виду судам, зимующим в затонах, где случаются заторы. О мероприятиях, принимаемых для спасения судов, сказано ниже.

Кроме плавающего льда, на работу пароходов иногда может оказать влияние еще и донный лед и снежинца (о них см. выше). Паровые машины при появлении донного льда и снежинцы «запариваются». Это происходит от того, что отверстие в корпусе,¹ соединяющее наружную воду с запасным ящиком, из которого берется вода в воздушный насос, забивается жужгой (салом)² до такого состояния, что прекращается доступ воде в запасный ящик, а отсюда и в воздушный насос, и машина останавливается («запаривается»). В описываемый период плавания это представляет серьезную опасность.

Чтобы не дать жужге (снежинце) забить запасный ящик, принимаются следующие меры: 1) проводят в ящик пароподогреватель, пускают пар и жужгу растапливают; 2) вычерпывают из ящика жужгу обыкновенным сачком; 3) чтобы не залепило дыры в корпусе (если они заменяют окно), ударяют по внутренней стороне (из запасного ящика) корпуса обыкновенной кувалдой. Необходимо отметить, что эти мероприятия не всегда помогают, особенно при обильной снежинце: ящик все-таки забьет жужгой. Можно накачивать в запасный ящик воду специальным насосом, но и насос (приемник) будет забивать жужгой. В этом случае радикальным средством против запаривания машины является перевод работы машины на сухой пар (без работы воздушного насоса).

Следует отметить некоторые особенности действия льда на суда осенью и весной на Астраханском плесе р. Волги, точнее на Астраханском рейде длиной около 70 м (от Могильного бугра до глубины 7,6 м (25 футов) — места остановки больших нефтеналивных шхун).

а) Действие осеннего льда. На Астраханском рейде нередко осенью наступают внезапные морозы (до 20°), которые в одну ночь схватывают повсюду все водное пространство рейда (на сотни километров). В таких условиях все стоящие на рейде суда окажутся вмороженными в лед. Если стоит тихая погода, то суда с Астраханского рейда быстро выводятся из льда, ибо новосадок не препятствует работе колесных, а тем более винтовых пароходов. Но если резкому понижению температуры будут предшествовать и ее сопровождать обильный снегопад и шторм (при северном и северо-восточном ветре), то дело может окончиться катастрофой.

Совместное действие мороза, шторма и снега вызывает здесь следующие явления: 1) обильный снегопад создает массовую снежинцу, которая превращает воду в снежную кашу; 2) сильное волнение от шторма перекидывает волны, насыщенные снежинцей, на суда и через суда. Такая вода на палубе судов быстро закупоривает шпигаты, замораживает на палубе все снасти, якоря и их принадлежности, делая их непригодными к работе. Наблюдались случаи, когда на грузежном судне намораживалось столько льда (в фальшбортах), что судно теряло свою пловучесть и тонulo. Если после сильного шторма и снегопада резко наступит тихая погода при сильном морозе (свыше 10—15°), то снежинца сразу смерзнется и образует в одну ночь толстый слой льда, в котором уже трудно

¹ Это отверстие обычно имеет вид пробуровленного в корпусе квадрата площадью около 20—30 см; иногда в корпусе судна вместо одного отверстия просверливается целый ряд дыр диаметром 2—3 см.

² Отверстие запасного ящика находится примерно на глубине около 1 м ниже ватерлинии (на грузовых пароходах еще глубже). Поэтому причиной забивания отверстия запасного ящика служит снежинца или донный лед, а не обычное сало, которое образуется и держится на поверхности воды.

будет работать обыкновенному речному пароходу. Если после этого тихую погоду сменит сильный ветер, то лед взломает огромными лавами, и вмерзшие в них суда может унести в море и т. д.

Совокупность описанных неблагоприятных условий и является причиной катастроф на Астраханском рейде. Известны катастрофы в 1909, в 1926 и других годах, когда в рейде гибли сотни судов, судорабочих, служащих и грузчиков.

б) Действие весеннего льда. Весной особой опасности от льда подвергаются рыболовные суда. В отдельных истоках наиболее могучих рукавов дельты р. Волги (например р. Балда и др.), на мелкой части Астраханского рейда 1,8—2,5 м (6—8 фут) и вообще на взморье после открытия навигации на Астраханском плесе остаются плавающие льдины. Особенно большими по размерам и достаточно прочными бывают также и льдины, когда в день вскрытия Волги теплая погода сменяется на морозную (при северных ветрах); льдины эти передвигает ветром по взморью. Вместе со льдом уходит из реки на взморье и рыба, причем она, соединяясь с рыбой, находящейся на взморье, почему-то концентрируется под большими льдинами (особенно вобла, которой скапливается под льдинами густые косяки). Установлено также, что рыба под льдом является лучшей по качеству (знаменитая Астраханская так называемая подледная вобла, не уступающая по качеству балыку). Это и служит притягательной силой для рыбаков, которые в погоне за хорошим и быстрым уловом идут на риск, стоящий им иногда не только суда, но и жизни. Неоднократно (например в 1926 г.) наблюдались катастрофы, когда рыболовные суда, сдавленные льдинами, погибали вместе с командой. Предотвратить такие катастрофы на рейде (на взморье) может только мощный ледокол.

2. Действие льда на пловучую обстановку.

Пловучая обстановка (бакены), играющая в судоходстве важную и ответственную роль, очень чувствительна к ледоходу. Ее может снести при первом же появлении льда. Поэтому все плавающие бакены с появлением первого сала снимаются. Это предписывается и правилами плавания по внутренним водным путям.

Но так как с появлением сала судоходство не прекращается (наступает очень ответственный момент — уборки судов в затоны), то вместо убранных бакенов, на том же самом месте русла должны быть поставлены пловучие вешки, которые убираются перед ледоставом или просто остаются на зиму необранными. На вешки лед никакого действия не оказывает: сало стащить их с места не может, а плывущий лед будет скользить по вешке, и она после прохода по ней чки или лавы вынырнет, оставаясь на своем месте.

3. Действие льда на пристанские сооружения.

Все пристанские сооружения проектируются и строятся с учетом действия на них осевого и весеннего льда. Рязевские сооружения (места привалов судов к пристани для нагрузки и выгрузки) подвержены напору всей силы льда. Поэтому наружная сторона их должна быть совершенно гладкой, чтобы плывущий лед мог по ней свободно скользить, ни за что не задевая. Соединение наружной стенки с берегом устраивается

такой прочности, которая выдерживала бы всякое боковое давление льда.

На Волге постоянные ряжевые пристани устроены только в Астрахани. Так как весенний ледоход происходит здесь всегда при меженном уровне и при очень слабом течении, то весенний лед не оказывает на ряжевые (деревянные) стенки особого действия. При осеннем ледоходе у стенок быстро образуются закраины, которые предохраняют стенку. Астраханские постоянные ряжевые стены стоят десятки лет, и разрушительное действие льда на них реально ни в чем не проявилось.

В первой зоне постоянных ряжевых стенок нет. Действие льда, как уже отмечалось выше, здесь весьма значительно, а поэтому стенки, обычно свайные, делаются временные (на одну навигацию).

4. Действие льда на гидротехнические и другие сооружения.

Каменные струенаправляющие дамбы в русле р. Волги имеют небольшую высоту (не выше горизонтов средних меженных вод). Осенний лед их окаймляет закраиной, которая и предохраняет их от повреждения льдом. Весенний лед в верхней зоне (в нижней до 1930 г. не было дамб) трогается и идет на горизонте всегда выше поверхности дамб, а поэтому их не задевает.

На береговые укрепления (каменная одежда берегов) осенний лед не оказывает влияния вследствие образования закраин. Весенний ледоход оказывает на эти сооружения такое же действие, как и на всякий берег: при напоре льда каменная одежда иногда валомывается. Меры борьбы против этого взламывания никаких не принимаются. Дело кончается тем, что взломанное место по убыли воды просто ремонтируется. Происходит это очевидно потому, что устройство ограждения от льда будет дороже стоить чем ремонт, тем более что производить ремонт приходится не часто.

Среди водных сооружений следует особо отметить ледорезы, специально устраиваемые для спасения судов и других сооружений от ледохода. Ледорезы устраиваются так, чтобы все сооружения твердо противостояли всякой силе напора льда, особенно весеннего. Назначение ледореза таково: принять лед на себя и его изломать. Для этой цели ледорезы устраиваются наклонными с покатостью к воде (угол к горизонту воды 28—40%). На эту покатость вползает льдина и на ней ломается. По этому принципу строятся и ледорезы у железнодорожных и других мостовых устоев.

Опасность для ледореза от льда наступает при заторах, когда лед может пойти в обратном направлении и враспор давить на ледорезы сбоку (со стороны русла реки). Для предупреждения повреждений ледорезов от бокового давления льда ледорезы соответственно укрепляются (ставятся поперечные упоры, схваты, загрузка камнем и др.)

5. Действие льда на русло реки и на перекаты.

Действие льда на русло реки и на перекаты во время осеннего и весеннего ледоходов неодинаково. На берега реки осенний лед нормально никакого действия не оказывает, так как их охраняют закраины. Действие осеннего льда на берега может сказываться только при заторах льда. Действие осеннего льда на песчаные перекаты может быть весьма серьезно.

Закрапны на перекате обычно образуются значительной ширины, заполняя все мелкие части переката (подвалы, застружкосы, палыги и др.) и оставляя свободными только фарватер. По этой причине русло на перекате, и без того узкое по сравнению с лежащим выше плесом, еще более суживается, что является препятствием для плывущего сверху льда. Так как нередко льдины, подплывающие к перекату, имеют большую ширину, чем русло реки на перекате, то лед, подходя к суженной части русла, начинает сначала тереться о закрапны, а затем идет в распор. Если лед не убирается в оставшееся между закрапными русло, то он со всей силой, увлекаемый течением сверху, начинает напирать на закрапну, обламывается; часть его (обломанные льдины) подталкивается под закрапны (или выбрасывается на них) и набивает все пространство до дна. Набитый до дна лед играет роль направляющей искусственной плотины, суживает живое сечение реки, течение на перекате (в корыте переката) усиливается, и перекат будет промываться и углубляться.

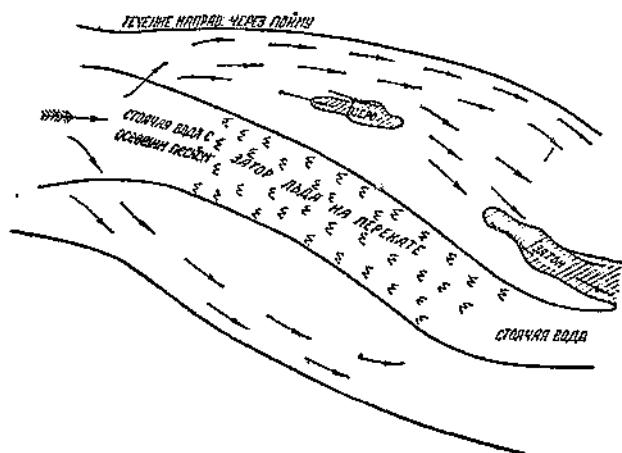


Рис. 8. Затор льда на перекате.

(углублять) другое русло. От такого направления струи на следующем перекате течение ослабнет, и перекат будет засыпаться песком, мелеть. Так примерно происходит порча и промывание перекатов от действия осеннего льда.

Действие весеннего льда на русло реки и перекаты проявляется главным образом при заторах. Здесь мы опишем действие льда на русло р. Волги и перекаты в пойме (рис. 8 и 9).

Если поднятая затором вода встретит на своем пути выше ватора ложбину (низкое место в пойме), она стремительно бросится сюда всем могучим потоком и будет энергично размывать пойму, создавая себе новое русло. При продолжительном действии ватора вода прорвет пойму и образует в яру прорву (пронос), а затем, при соответствующих очертаниях берегов в плане или при повторении заторов, река расширит прорву, сделает воложку, а затем и второе русло. В это время между старым и новым руслом образуется остров. Многие прорвы острова, воложки и новые русла в местах с широкой поймой и мягкими берегами обязаны своим происхождением весенним заторам. Но иногда случается и так, что сделанную при ваторе весеннего льда прорву в по-

ледующие годы засыпает песком, и русло останется на своем прежнем месте.

На рисунке 8 представлен затор льда на перекате. Вода, запруженная затором льда на перекате, который забило льдом до дна, бросается выше затора через яры правого и левого берегов по пойме. На левой стороне поймы имеется ложбина (низи́на), озеро и затон (старое русло), — вода и бросается в плавину подавляющей массой. Могучее течение при условии мягкого грунта, из какого обычно состоят поймы, быстро размывает плавину, соединяет ее с озером, и в этом месте образуется прорва и остров, и затор исчезает.

Новая прорва можетвиться началом нового русла, которое в течение лет может углубиться и делаться ходовым каналом весной, а затем и в лежень. На перекате же, где случился затор, вследствие ослабления осенних струй (масса воды ушла в ложбину на левом берегу выше затора,

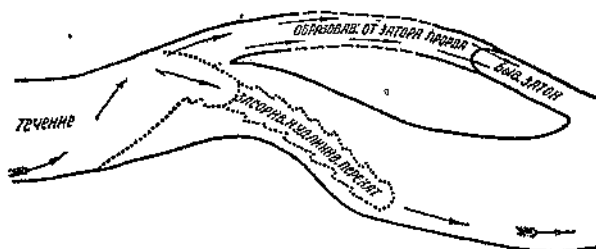


Рис. 9. Засорившийся и удлинившийся перекат после затора льда.

а, меньшая часть — на пойму правого берега) будут осаждаться осадки (песок), и перекат будет мелеть и удлиняться (рис. 9). Обмеление и удлинение переката произойдет от того, что ослабнут струи воды, способствующие промыванию песка на данном перекате.

Следы описанных изменений, вызванных затором, можно наблюдать во всех частях Волжского бассейна, особенно же там, где река протекает по низменности и имеет широкую долину (среднее и нижнее течение рр. Зояги, Оки и пр.)

Действие осенних заторов будет примерно такое же, как и весенних, но только более слабое.

VI. Плавание судов во льдах.

1. Общие сведения.

Плавание во льду на реках Волжского бассейна производится в двух главных случаях.

а) **Перевозные суда** (паровые, на веслах, шестах и канатах) производят плавание от одного берега к другому, перевозят грузы и пассажиров во время всякого ледохода, пока только имеется возможность пробиться между льдинами. Особое место среди перевозных судов на р. Волге занимает «Саратовский ледокол» — двухвинтовой пароход 1500 инд. сил ледокольного типа. Ледокол совершает рейсы через р. Волгу у железнодорожной станции Увек Рязанско-Уральской ж. д., в 12 км выше Саратова, с паромными саратовской переправы, служащими для переездки железнодорожного подвижного состава. Все эти суда работают между Увеком и луговым берегом всю зиму, поддерживая сообщение через р. Волгу при всяких морозах и при всякой зиме.

б) **Транспортные суда** (как транзитные, так и местного на-

застанет их в пути (во время рейса) и им потребуется дойти или довести свой воз до безопасного затона, или когда при внезапном ледоходе, либо при работе поздней осенью потребуются убирать суда с пристани в затоны. Суда эти имеют наибольшее значение для судоходства. Об их работе во льдах я и буду далее говорить.

Как общее правило, плавать во льдах легче всего порожнему пароходу, идущему без воя. При этом чем меньше размеры судна, тем опасность для него менее значительна и наоборот. Наиболее трудным будет плавание во льдах буксирных вояв. Суда с слабыми корпусами, неисправные, недостаточно оборудованные, недоснабженные не должны быть допускаемы к плаванию во льдах. Наибольшая опасность при плавании во льдах будет для судов, идущих против течения (при столкновении со льдом в этом случае получается удар двойной скорости, от движения судна вперед и от движения льда вниз). При ходе же вниз по течению пароход в случае надобности может остановить движение вперед и плыть вместе с льдинами.

Из самодвижущихся судов в наиболее неблагоприятном положении оказывается пароход с боковыми колесами. Для такого суда опасность особенно велика при весеннем ледоходе: достаточно одной незначительной льдине попасть во время работы парохода в колесо, чтобы сломать его и вывести пароход из строя, а при ледоходе это грозит аварией. Поэтому во время работы в льдинах команда находится на носу парохода с шестами и при встрече с плывущими льдинами отталкивает их от парохода (особенно от колес). Осенний ледоход представляет для колес меньшую опасность. Винтовые пароходы удобнее для работы в льдах.

Любопытные детали о плавании в льдах расшив — родоначальник нынешних ложкообразных баржей — сообщают старые волжские водники со слов своих дедов, работавших еще в первой половине XIX столетия, в период расцвета судоходства на расшивах. По этим рассказам, расшивы с мест зимовок (около Нижнего, Симбирска и др.) отваливали как только начнет редеть весенний лед. Отвал с мест зимовок происходил так: убиралась чалка, поднимался якорь, и расшивы выводились из затона к его ухвостью; затем с расшивы завозился рысковой трос (пеньковая снасть толщиной 30—50 мм) и закреплялся при помощи рыкового якоря на первой плывущей льдине. Трос выбирался шпиглем на расшиву, и таким путем последняя выводилась на стрежень Волги и начинала плыть среди льдин. Само собою разумеется, этот способ применялся только для плавания вниз по течению. Так как расшивы представляли собою очень прочные, легкие на ходу и хорошо управляемые суда, то плавание их среди льда и вместе с ним не представляло для них никакой опасности. Плывущие льдины не причиняли расшивам никакого вреда, а наоборот, служили для них точкой опоры при обходе приверхов островов и осередков, проносов и т. д. Для этой цели рысковой трос с якорем завозился на льдину, и судно, подбирая трос на шпигль, отводилось в желаемом направлении. Таким способом расшивы сплывали среди льдов от Симбирска до Самары, где заводились в р. Самарку для погрузки хлеба. Плавание во время льда удлиняло навигацию на несколько дней. Необходимо отметить, что судовые команды на расшивах того времени были самой высшей квалификации из всех волжских водников.

В дальнейшем описании работы в льдах современных судов мы будем

держаться следующего порядка: 1) подготовка судов к плаванию в льдах, 2) управление судами при плавании в льдах во время осеннего ледохода и 3) плавание весною в первые дни навигации. Все описание будет относиться к транспортным судам на р. Волге. Об остальных частях бассейна и других судах будет сказано постольку, поскольку они будут представлять те или иные особенности по сравнению с основной магистралью — Волгой и с транспортными судами.

2. Подготовка судов к плаванию в льдах.

Всякое судно, работающее до конца навигации, осенью или в самом начале навигации весной должно быть подготовлено для работы во льду.

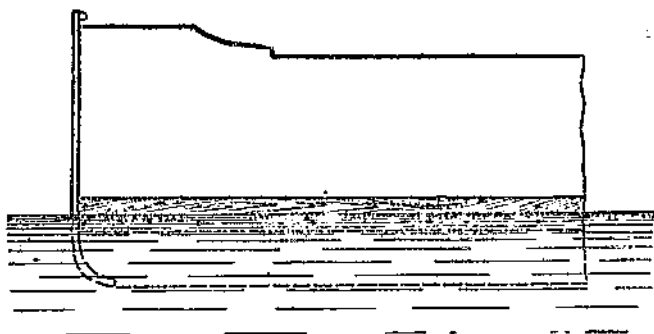


Рис. 10. Обшивка деревянного корпуса судна брусом.

Особо должны быть приготовлены и снабжены суда, которым предстоит работать в позднюю осень и в особенности во время ледохода. Эта подготовка в общем заключается в следующем.

Деревянные корпуса судов обычно обшиваются толстыми брусом (толщины 4,4—8 см) по длине на протяжении всего борта по обеим сторонам от штевня до штевня (рис. 10). Брус не менее чем на половину своей ширины (25—26 см) опускается в воду, чтобы верхняя кромка плывущего льда обламывалась и чертила по брусам, не касаясь обшивки судна.

Ввиду того что пароходу носовой частью иногда приходится разрезать (ломать) на ходу льдины и двигаться в упор льду, а также ввиду слабости крепления носовой части судна (фор-шк), особенно учитывая силу сдвигания, в корпусе парохода между бортами ставят распорки, которые делаются согласно рис. 11. На плангоуты, по длине судна, на высоте ватерлинии по всей длине фор-шка кладутся брусья толщиной 4—8 см, шириной 17—26 см. Между этими брусом по всей ширине трюма, от

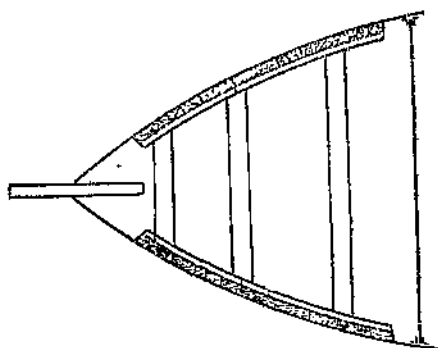


Рис. 11. Распорки в носовой части парохода.

борта до борта (через 2—4 м), ставятся деревянные упорки из круглых бревен толщиной 13—22 см или брусья соответственной прочности. Чтобы распорки от сотрясения при ударах о лед не выбросило, распорки прибивают к продольным брусьям проволочными или иными гвоздями, или кладут их в особо сделанные на продольных брусьях гнезда. Такой способ крепления фор-пика вполне гарантирует корпус от сдавливания судна льдом. Все устройство делается судовой командой.

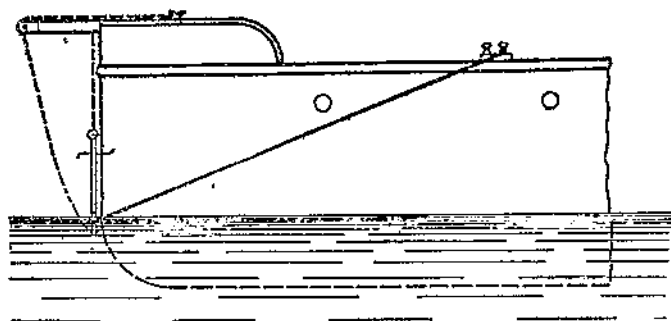


Рис. 12. Ограждение носовой части судна якорем от повреждений льдом.

В главе «Действия льда на суда» (см. выше) было сказано, что осенний лед не оказывает особого влияния на железные корпуса. Но это относится лишь к первым дням появления сала и новосадка. Если же пароходу придется плавать во льдах более длительное время (например при работе по уборке каравана, на дежурстве при караване, при переходе на далекое расстояние до хорошего затона и др.), то ему может встретиться уже окрепший лед, отдельные чки, лавы, с которыми придется столк-

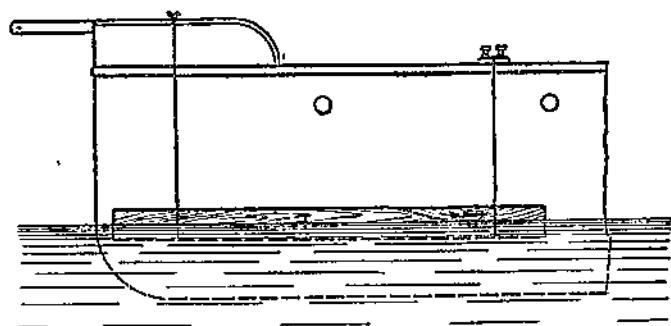


Рис. 13. Закрытие носовых плеч парохода от льда пилцами или брусьями.

заться или рассекать. В этом случае более или менее твердый лед будет оказывать вредное действие на железный корпус, который необходимо охранять от повреждений.

Для охраны корпуса железного судна от льда принимаются следующие меры. Спускается с бушприта носовой якорь до воды и прижимается к птевне (рис. 12), а носовые плечи закрываются пароходными деревянными пилцами или такой же толщины брусьями (рис. 13). Так как пилцы

или брусья пришить к железному корпусу нельзя, то для удержания их в желаемом направлении поступают так: концы плиц или брусьев спивают шаблонным, а если его нет, то шинным или другим железом, уже спитые плицы спускают в воду и обнимают ими штевень судна и оба его плеча. Для удержания плиц (или брусьев) в желаемом направлении их прикрепляют снастями или лучше тонкими цепями (так как снасть может перерезать льдом). Плицы спускаются на ребро, и в таком положении уровень их по отношению к корпусу и льду очень легко регулировать. Ограждению корпуса длинными брусьями иногда препятствуют носовые обводы. В этом случае, в зависимости от степени кривизны, брусья разрезаются на более короткие и т. д. При достаточной ширине бруса (например, 31—35 см) ограничиваются спуском в воду одного бруса, или брусья спивают по ширине в два бруса и т. д. Толщина брусьев должна быть около 6—8 см.

Иногда вместо плиц или брусьев спускают съемные свайки и вообще крутые бревна (рис. 14). Но этот способ ограждения хуже, ибо под круглое бревно (свайку) льдины легко могут «подширивать» и выбрасы-

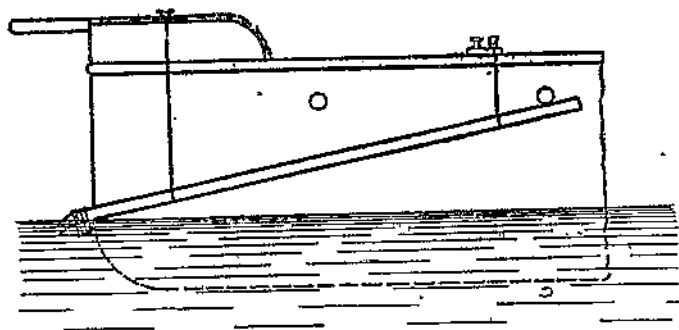


Рис. 14. Ограждение носовой части парохода от льда съемными свайками.

вать свайку на себя (на лед). Для предупреждения таких случаев свайку требуется закрепить на высоте ватерлинии цепями или снастями, которые подводятся под днище корпуса и укрепляются на обратный борт судна.

Суда лодочной постройки (к которым относится, между прочим, большинство перевозных судов) не нуждаются в описанных приспособлениях вследствие малой осадки, овальности наружного борта и ложкообразных очертаний их носа. Лед будет под них «подширивать», не причиняя им повреждений.

Суда с ложкообразными носами в ограждении штевней и носовых плеч не нуждаются, ибо они льда не режут, а мнут (ломают) его под себя. А так как переход ложкообразной части (погона) носа к миделю происходит плавно, то опасность от сдавливания и от ударов льдин можно признать здесь ничтожной. Работать такими судами во льду гораздо безопаснее по сравнению с судами с прямыми штевнями.

Суда барочной постройки, как более слабые, требуют особо внимательного устройства по ограждению корпуса. Устройство это (в смысле технического) делается так же, как и на всех прочих судах, и способами, описанными выше.

На больших волжских пристанях имеются особые (служебные) паро-

ходы, имеющие назначение работать во льду и специально для этой цели приспособляемые. Такое приспособление для обычных судов (не ледокольного типа) заключается в устройстве на корпусной обшивке судна так называемого ледяного пояса (листы корпусной обшивки, утолщенные примерно вдвое), проложенного от форштевня до миделя, или до гребных колес (на колесных пароходах), и спускающегося в воду на 70—80 см или во всю подводную часть. Затем в носовой части такого парохода устраиваются дополнительные крепления, препятствующие сдавливанию корпуса льдом. Такой пароход обильно снабжается средствами для борьбы со льдом и для исправления могущих получаться повреждений (при ломке корпусов и т. д.). Пароходы эти последними заканчивают навигацию, убирают в затон запоздалые суда и остаются под ухаживанием затона или в затоне на дежурстве. Весною эти же пароходы первыми выходят из затона и работают во время ледохода (редкого) в районе пристани (разводка пристаней, подвозка топлива, материалов, рабсилы и т. д.).

Такие пристани, как Астраханский рейд и Астрахань, где наблюдаются исключительные (описанные выше) особенности замерзания реки и весеннего ледохода, должны быть снабжены специальными ледоколами. Ледоколы эти окажут несомненную пользу (в смысле сокращения аварийности от ледохода и продления навигации) и на других более крупных пристанях р. Волги (например, в Н.-Новгороде и др.).

Но как бы ни было хорошо с внешней стороны ограждено судно, все-таки иногда не может быть уверенности в полной безопасности его от повреждения льдом. На этот случай всякое судно должно быть снабжено всеми необходимыми материалами для немедленного ремонта повреждений, заделки проломов и пр. (кошмы, парусина, бруссы, гвозди, пакля и др.). В качестве предохранительной меры рекомендуется иметь особое наблюдение за трюмами корпуса, особенно за его носовой частью (держать люки открытыми, слань поднятой, иметь в них или вблизи них все необходимое для заделки проломов и т. п.). Для надзора за трюмами должны быть выделены опытные лица. Особое внимание должно быть обращено на трюмы, заполненные грузом (или топливом). Если возможно, то в последние рейсы борта в трюмах оставляют свободными от груза, или имеющийся груз отваливают от бортов, слань у подворотов поднимают, чтобы иметь к борту свободный доступ для заделки пробоин.

К мерам подготовки судов относятся также и приспособление запасного лючка на пароходах к предупреждению от «запаривания» машины или перевод работы машины на сухой пар, о чем было подробно указано в главе V.

Инвентарь судов должен быть усилен двойным комплексом рогаток (упорных шестов) для отталкивания льдин.

3. Управление судами при плавании во льдах осенью.

Управление судами при плавании в осенних льдах дело трудное, сложное и ответственное. От судоводителя и всей судовой команды требуется особое внимание, предусмотрительность, знание всех особенностей плавания во льдах (габарит пути, направление и скорость течения, глубины и т. д.) и кроме того умение угадывать состояние погоды. Как общее правило, ночью плавание совершается только на свободных

плед (на перекатах остановка при толкании первого сала снимается), в светлые ночи и при слабом (но крепости) льде.

Когда по реке плывет редкий лед (отдельные чки), то льдины обычно обходятся пароходом в сторону, свободную от льда. Когда по реке плывет новосадок во всю ширину русла (такие случаи наблюдаются главным образом на широких плесах с тихим течением), то пароходу приходится идти сплошным льдом (новосадком), т. е. резать его. Это конечно весьма значительно задерживает движение судна вперед (ход будет на 25—40 % ниже). Указанное обстоятельство нужно обязательно учитывать при расчете времени плавания во льдах, ибо если этого не принять во внимание, то можно впасть в грубую ошибку, последствия которой вообще нельзя предугадать (например при стремлении дойти и довести свой воз до безопасного затона и др.).

Плавание в льдах будет усложняться по мере утолщения льда, замерзания закраин и увеличения площади плывущих льдин. В этом случае возможности маневров парохода для обхода льдин будут сокращаться и опасность от столкновения с льдом будет увеличиваться. Когда суда доходят до участка реки, сплошь заполненного льдом (на перекате, в узком колене, у острова, или в широком плесе с тихим течением и т. д.), то дальнейшее движение прекращается.

Следует особо отметить значение ветра при плавании в льдах. Ветер, дующий поперек течения реки, прижимает весь лед к одной стороне, оставляя противоположную сторону свободной от льда. Этой свободной стороной и пользуются пароходы.

По отношению к погоде наиболее трудным будет плавание при крепнущем морозе, в большой снегопад, шторм (северный и северо-восточный) и пр. Наиболее благоприятно для плавания время после наступления оттепели.

Так как нельзя определить начало ледохода и состояние погоды ближайших дней, то на ночевки необходимо становиться под хорошими затонами, убежищами и т. д., для того, чтобы в случае полной невозможности продолжать путь можно бы в данном месте и перезимовать. В этих целях судоводители должны твердо знать на своем пути все места расположения затонов, зимовок и убежищ. При этом условии и при точном учете расстояния предстоящего пробега и скорости хода всегда можно рассчитывать на то, что судно (караван) не зазимует на открытом плесе.

Наибольшая опасность при плавании в льдах будет при прохождении перекатов, почему на этом вопросе следует остановиться подробнее.

При ледоходе пловучей обстановки на перекате не бывает, поэтому судоводитель должен в совершенстве знать всякий перекат, который предстоит проходить, со всеми его особенностями. Без этого условия нельзя входить на перекат, ибо при постановке на мель на перекате во время осеннего ледохода суда обычно погибают, будучи срезаны и завалены льдом.

Особенно затруднительно движение судна или каравана на перекате во время ледохода при ходе против течения. На всяком перекате вследствие более быстрого течения плывущий лед обладает большей силой, поэтому столкновение с ним всегда грозит серьезными последствиями для судов, особенно если лед имеет значительную толщину. Положение в данном случае осложняется еще тем, что на перекате пароход, идя против течения, не может замедлить хода, чтобы ослабить столкновение со льдом, ибо в таком случае пароход не будет в состоянии побороть течения и не

сможет подаваться вперед. Особенно это относится к пароходам, ведущим на буксире воз.

Кроме того, на всяком перекате, расположенном на перевале с одного берега на другой, и тем более на крутом перекате, плывущие льдины будут сбивать судно с его курса. Происходит это от того, что, например при подъеме судна на подвалье переката при ходе снизу, льдины, плывущие по корыту переката, будут составлять по отношению к оси входящего на перекаат судна угол от 45 до 90°. В этом случае плывущие и срывающиеся с переката льдины будут ударять судно в его правое или левое плечо, отбрасывая судно под подвалье переката. Поэтому входить на перекаат пароходу, особенно с возом, можно лишь тогда, когда на перекаате нет таких льдин, которые пароход не мог бы разрезать или, вернее, побороть их направлением. При этом необходимо заметить, что льдины разрезать можно только тогда, когда линия диаметральной плоскости парохода будет совпадать с линией направления плывущей льдины (волжский термин — *итти т ы ч-ком к льдине*). Если же льдина будет ударять в плечо парохода (что при подъеме его на подвалье переката всегда и бывает), то даже самый тонкий новосадок может сбить пароход с его курса, и пароход потеряет правож. То же будет претерпевать и судно, идущее на буксире.

Обычно пароход ожидает, пока опасные льдины сльвут с переката, а следующие, плывущие сверху, еще не достигнут до него. При сплошном льде ход по перекаату весьма рискованный и опасен особенно для парохода, идущего с возом. Если подъем на перекаат окажется невозможным, то пароход должен стапновиться в безопасном от ледохода месте. При этом желательно выбирать такое место, в котором можно будет в крайности и прозимовать. Для достижения этой цели иногда потребуется спуститься вниз.

При ходе по перекаату вниз по течению положение облегчается тем, что пароход может убавлять ход и уменьшать движение вперед до скорости движения льда. В таком случае столкновения со льдом неопасны. Но при этом все время необходимо зорко следить, чтобы пароход не потерял правежа. Особенно это относится к моменту прохода через перекааты. Поэтому при входе на перекаат сверху также выбирают момент, когда корыто переката будет свободно от льда.

Буксирные возы, идущие сверху в составе двух и более баржей, сцепленных в ряд (борт о борт), должны помнить, что в шалмань (расстояние между баржами — треугольники — от штевной до мидельовых частей баржей) будет набиваться снежица, донный или плывущий поверху лед. Это будет увеличивать тяжесть воза, может изменить его конфигурацию и вызовет затруднения в управлении возом, сократит его скорость и т. д. Поэтому если по габариту пути это окажется возможным, баржи расчаливаются гуськом (одна за другой).

Особо следует отметить значение при плавании во льдах «вакурника» и закраины. Как указано в главе «Замерзание реки», вакурник образуется на нижней и верхней частях переката и представляет собой горы нагроможденного льда. Это имеет положительную сторону для прохода через перекаат при отсутствии плавучей обстановки. Вакурник в большинстве случаев устанавливается на краях корыта переката, на границах бывших баконов, т. е. ограждает нижние и верхние мели переката. Поэтому на перекаате остается свободным от вакурника только ходовой фарватер. Благодаря этому легко отыскать перекаат и провести благополучно судно. Вакурник иногда выступает в русло реки острым углом, а поэтому не-

обходимо избегать раската буксирующего каравала на углы вакурника, ибо в этом случае легко проломить суда. Необходимо еще помнить в виду, что вакурник может изменить направление течения на перекате. Благодаря вакурнику является также возможность проходить перекаты в светлые ночи. Наиболее благоприятное время для образования вакурника — период убыли воды, что часто случается при оттепели, когда прорвет затор или вообще уйдет лед. При убыли воды вакурник обсыхает на мелких местах.

Закраны ограждают все мелкие берега реки и тиховоды, что является положительным фактором при плавании. Это объясняется следующим обстоятельством. При существовании закраин русло реки в мелких местах ограждено как бы стенками. Если в данном месте оба берега реки мелкие, то у обоих берегов будут закраины, выдающиеся в русло на большее или меньшее расстояние, и река превращается как бы в канал с искусственными берегами. Если же один берег будет мелкий, а противоположный ему обрезной яр, то с одной стороны (на мелком месте) будет закраина, а с другой — крутой берег (у обрезных яров закраин обычно не бывает). Стало быть, в том и в другом случае оба берега будут ходовые, глубокие, и все береговые мелки исчезают (условно, конечно). В искусственных берегах, где нет препятствий, плавание всегда легче. Проводить буксиремый воз мимо закраин всегда очень удобно, особенно при встречах с другими судами: воз прислонится к закраине и будет скользить по ней, но на мель не встанет.

Отрицательными моментами при наличии закраины являются: сужение русла, что увеличивает скорости течения, а также опасность столкновения судов с закраинами, особенно на обороте при ветре и т. д. В этом случае суда, ударившись о закраину, легко могут получить пролом.

На притоках р. Волги (кроме р. Казы) все явления, связанные с ледоходом — в частности действие последнего на суда, менее резки, а стало быть и менее чувствительны для судов. Но так как на притоках плавают суда обычно меньшей прочности, чем на Волге, то опасность для судов при плавании во льдах и на притоках будет примерно такая же, как и на основной магистрали — р. Волге. На р. Казе, как протекающей в наиболее холодной зоне, все явления от осеннего ледохода будут резче, чем на р. Волге. Поэтому плавание во льдах здесь более сложно и опасно.

Самосилав, а тем более буксировка груженых плотов в ледоход вообще не допускается вследствие тяжести веза, плохой его поворотливости, медленного хода и т. д. Плоты обычно должны становиться заблаговременно на зимовку в хорошие затоны.

Суда лодочной постройки, как наиболее мелкие, могут плавать во льдах до ледостава, пока представляется хоть малейшая возможность пробиться между плавающими льдинами. Столкновение этих судов (например лодок) с льдинами никакой опасности для этого типа судов не представляет. Движение их во льдах производится при помощи багров (баграми цепляются за льдины и продвигают судно вперед) и на веслах.

Перевозные переправы и паромы, плавающие с одного берега на другой, обычно ходят без буксира во время всякого ледохода — до ледостава, т. е. до тех пор, пока имеется возможность пробиться между плавающими льдинами. Меры предупредительного характера и способы управления для перевозных судов во льдах такие же, как и на прочих судах. Перевозные суда (паровые и весельные) все время полного ледохода обычно заходят выше пункта своего будущего причала на противоположном

берегу, а затем уже идут на перевал, постепенно пробиваясь между льдами. Расстояние хода вверх по течению зависит от скорости течения в данном месте и колеблется от 500 м до 5 км. Во время пробивания перевозного судна между льдами его сносит течением и оно должно пересечь реку в своей точке причала на противоположном берегу.

Саратовский ледокол с начала осени до весны пересекает р. Волгу (против пристани Увек) ежедневно 2—4 раза, образуя во льду широкий канал. Вследствие частых рейсов ледокола канал этот не успевает сильно промерзнуть, и ледокол легко его разбивает. По этому каналу ходят в том же месте (и в том же направлении) железнодорожные паромы (два) с подвижным железнодорожным составом. Условия плавания и способы управления судами — ледоколами и железнодорожными паромами — одинаковы с описанными выше. Управление этими судами облегчается тем, что они — двухвинтовые и снабжены сильными машинами, не говоря уже об их специальных ледокольных качествах.

4. Плавание во время весеннего ледохода.

Плавание судов во льдах весной происходит в следующих случаях: 1) при работе перевозных переправ (с одного берега на другой); 2) при выводе плывучих дебаркадеров из затонов для постановки на летние места их стоянок; 3) при заборе топлива и материалов судами транзитного назначения; 4) при первых рейсах транспортных судов, когда в пути встречается запоздалый или затонный ледоход или ледоход с притоков (например с р. Камы) или когда суда отваливают с мест зимовок при льде, стоящем выше по течению реки (например, Сталинградский плес в нижней зоне и на р. Каме при ходе против течения). По принятой нами установке дальнейшее описание будет относиться главным образом к транспортным судам.

Той подготовки корпуса судов, запасных ящиков пароходов и т. д., какая практикуется перед наступлением осеннего ледохода, весной не делается, ибо она считается бесполезной и ненужной. Никакие предохранительные ограждения от пролома корпуса при столкновении с весенним льдом не помогают. Остается только способ оттапливания льда на ходу судна баграми и пестами от колес парохода, как это делается и при плавании в осенних льдах. Здесь следует заметить, что плавание во льдах весной — явление редкое, а если и случается, то продолжается самое короткое время (максимум день), конечно, кроме перевозных пароходов. Поэтому вся подготовка судна к открытию навигации сводится только к выводу его из затонов и к разбивке ледяной чаши. Чаши у судов, зимующих в Астрахани, почти не бывает, а поэтому особой подготовки судов к плаванию здесь не производится.

Как только река очистится от льда у Астрахани, пароходы уходят вниз и в нормальных условиях льда не встречаются. При внезапном же наступлении сильных морозов в стоячих водах и на тихом течении на этом плесе иногда появляется новосадок. Плавание в новосадке весной обычно бывает коротким и ничем особенным не отличается от плавания в осеннем новосадке.

При отвале пароходов вверх по р. Волге в нижней зоне главную опасность представляет лед, который отрывается с плеса, лежащего выше. Поэтому пароходы, отвалившие из Астрахани вверх по р. Волге, не идут по ночам из опасения встретить лед. В пути на каждой телеграфной стан-

льда выше места своего прохода.

Весенний ледоход в первой зоне происходит при меженном уровне воды, поэтому движение первых судов в нижней зоне совершается вообще в таких же условиях, как и при осеннем плавании предшествующей навигации. Если пароход встретит на своем пути плывущий сверху лед, то он останавливается под защитой острова, осередки, какого-нибудь песка и т. д. и отстает до окончания ледохода. Если лед будет встречен на перекате, то способы прохода через перекаты в нижней зоне будут такие же, как и при плавании в льдах осенью. При ходе вниз суда в нижней зоне обычно льда не встречают; только иногда им приходится идти в полосе редкого льда.

В сталинградских затонах (в суровые зимы) и в верхней зоне р. Волги на ее притоках у пароходных корпусов образуется ледяная чаша (лед, намерзший под корпусом парохода). Если чаша у непаровых судов какими-нибудь неприятностями им не грозит (она обычно отваливается, отстает от корпуса в течение первых суток нахождения судна в пути), то для парохода такая чаша представляет серьезную опасность для колес и даже винтов. Если чаша в пути оторвется от корпуса в носовой части и попадет в колеса, то последние сломаются, и пароход будет выведен из строя. Поэтому обычно перед отвалом, когда минует опасность от весеннего ледохода (если таковая в данном месте есть), чаша от корпуса отламывается, что делается так: от майны, идущей вокруг всего парохода до корпуса (об майне см. ниже, в VII главе), прокалываются пешнями во льду борозды (через 6—10 м). Далее чаши дают немного отогреть и затем отламывают ее от корпуса ватами или домкратами. При этом наблюдают, чтобы вместе с чашей не были оторваны заклепки.

Отвалы с мест зимовок и из затонов в верхней зоне, а также и плавание в льдах, происходят всегда при весенней прибылой воде.

Первою подготовкой судна к отвалу является вывод его из затонного льда. Вывод производится тогда, когда на реке будет идти редкий лед и когда, следовательно, на данном участке реки минует опасность от ледохода. Если в затоне лед был расколот на карты раньше наступления ледохода или во время его, то выводка судна из затонского льда особенно труда не представляет. В этом случае затонский лед, находящийся вблизи парохода, расталкивают, отводят его в полон (на низины поймы) или выпускают из затона в русло реки и т. д. Таким образом получают полосу чистой водной площадки, достаточно широкую для прохода. После этого выводят пароход снастями в устье затона, где ставят в такое место, откуда он мог бы пойти своей машиной. Выводка снастями в большинстве случаев требуется потому, что набитый в затоне лед, обычно очень толстый (иногда до 2 м) и прочный, представляет серьезную опасность для гребных колес парохода: достаточно одного неосторожного оборота машины, чтобы обломать колеса о лед.

Случается иногда, что при большой прибыли воды течение пойдет затоном. Тогда лед из затона весь вынесет, и пароход может выйти из затона сплюс собственнй машины.

Но в затонах, расположенных в старинном русле, в нескольких километрах от ходового русла реки (например затон Сейма на р. Оке вблизи Н.-Новгорода и др.), затонский лед не раскалывается. В этом случае необходимо из затона в ходовое русло заблаговременно проводить дворы (см. ниже) и выводить лед или на затопленную часть весенней закраины,

или в ходовое русло. Делать это необходимо потому, что если затонский лед, представляющий собой крепкую и неподвижную льдину, останется в затоне по проходе льда на реке, то он помешает выходу на реку зимовавших судов. Если берега в старинном русле, соединяющем затон с коренным руслом, крутые и высокие настолько, что залить их к моменту отвала весенняя вода не может, то судам придется или ждать дальнейшей прибыли воды, или приступить к расколке двора для оборудования прохода судов. Наблюдались случаи, когда несвоевременное припятие указанных выше мер вызывало задержку отвала судов из затона Сейма на 2—3 суток, т. е. это время терялось в самый горячий период навигации.

Отвал из затонов и из всех мест зимовок верхней зоны на р. Волге происходит не раньше того момента, когда на реке начнется редкий ледоход и то в виде исключения, только вниз по течению. Отвалы в такое время производятся лишь в тех случаях, когда совершенно очевидно, что плывущий лед опасности для судов не представляет, или когда пароходу до открытия навигации требуется произвести необходимые для отвала в рейс работы (например, прессовку котлов, забор топлива, материалов, сборку и сачку воза и др.).

Как общее правило, транспортный флот начинает нормальную работу, когда реки совершенно очистятся от льда, т. е. когда проплывут последние льдины. Мелкий ледок, лед в стоячих водах и в затонах в расчет не принимается. Капитан отваливающего в рейс парохода должен быть пристанью (затонем) точно информирован о состоянии льда и погоды решительно во всем бассейне. Кроме того он должен учитывать опасность столкновения с озерным или затонским льдом, если последний будет выпесен на форватер.

Лед затонский и озерный иногда имеет громадные размеры и значительную толщину (до 2 м). Для судов, плавающих в первые дни навигации, этот лед в случае столкновения грозит неизбежной гибелью. Поэтому в первые дни навигации, пока весь лед не исчезнет, плавание по ночам не производится. Если пароход встретит на пути льдину озерную, или из старого русла, то днем на широком весеннем речном просторе он всегда сможет легко ее обойти.

При плавании в условиях редкого ледохода для охраны судов можно принимать только следующие меры: 1) обходить льдины и 2) попавшиеся льды отталкивать от судов шестами. Но при этом необходимо помнить, что если редкий ледоход в расширенной или нормальной части русла реки опасности для хода не представляет, то в суженной части русла то же самое количество льда может создать непреодолимое препятствие для движения судов и повести к крупной аварии. Примером может служить следующий случай, свидетелем которого был автор настоящей работы.

Весной 1894 г. пароход «Лалишна» с тремя порожними баржами при почти прекратившемся ледоходе отвалил утром из Нижнего-Новгорода вниз по р. Волге. На протяжении от Н.-Новгорода до Кетовского колена (20 км ниже Нижнего) река была почти чистая и ничто не предвещало осложнений в плавании. Но в Кетовском колене луговой яр был залит только местами и перепускал через себя лед. Поэтому весь лед, плывший по луговой пойме Большой Подновской и Телячьей Воложками, оказался сгруженным в одну узкую лепту, заполнявшую все Кетовское колено, ширина русла которого была около 300 м. Заметили это с «Лалишна» только тогда, когда пароход уже вошел в колено и когда льдины стали попадать в колеса. Пока освобождали колеса от па-

правных льдин, пароход с возом значительно снесло. Были пропущены возможности сделать оборот и уйти в старую Волгу, чтобы обогнуть проход-
ждения льда. Выход оставался один: пробиваться сквозь льдины. Было
применено все искусство и все известные способы борьбы с плавающими
льдинами, благодаря чему караван был проведен до конца Кетовского
колена — до села Кетова. Однако оба колеса были поломаны, что при-
чинило значительные убытки от простоя парохода на ремонт. Но могло
быть значительно хуже.

Большими неприятностями для судового движения в среднем плесе
р. Волги прозят камский лед, который выплывает на Волгу иногда через
несколько дней после открытия здесь навигации. О прочности камского
льда, районе его плавания (от устья р. Камы до Жигулей — около 400 км)
и о действиях на суда было сказано выше (см. главу II «Замерзание
рек»). Лед из Камы, выплывая на простор Волги, идет обычно узкой
лентой по левому берегу. Плавание по пространству, занятому камским
льдом, невозможно, иначе неизбежны аварии. Камские льды опасны
только ночью. Днем, пользуясь широким плесом, их всегда легко обойти.

Следует особо сказать об якорной стоянке в первые дни навигации.
Из опасения возможности озерного, затонского и вообще всякого льда,
необходимо становиться на якорь всегда под прикрытием берега (под
остров, крутое плечо яра и т. д.), ибо никогда нельзя быть уверенным,
что внезапно не приплывет какая-нибудь случайная льдина.

Вот один из печальных случаев такого рода, имевший место в Нижнем-
Новгороде в восьмидесятих годах прошлого столетия.

Выше уже отмечалось, что р. Ока всегда вскрывается раньше Волги.
Так случалось и в описываемом году. Из затона Доскино о-ва «Самолет»
вышли в Нижний пассажирские пароходы. Часть пароходов ушла вниз
по Волге, а часть стояла в два-три пьеса у своей пассажирской пристани.
Но 2 или 3 парохода рыбинской линии, ожидая своих рейсов и не имея
места у пристани, остановились на якоря и березовые чалки ниже всех
пристаней, против Красных казарм. На Волге было чисто, погода была
тихая, ясная, навигация считалась уже открытой и ничто не предвещало
несчастья. Но вот на заре сверху появилась больших размеров озерная
или из старого русла крепкая льдина. Эта льдина нижним концом упру-
лась в приверх Мочального острова и пошла на «растурку», причем
одним концом стала двигаться по направлению к горному (к городскому)
берегу. Ширина льдины была такова, что она не могла пройти между
островом и стоящими у Красных казарм пароходами. И льдина своим
верхним концом прошла по корпусам пароходов, прорезала их, и они
затонули тут же на месте стоянки.

VII. Затоны и зимовки.

1. Общие сведения.

Как отмечалось выше, почти на всем протяжении Волжского бассейна
суда на зиму должны становиться в затон или в зимовки. Только в Астра-
хани в обыкновенные зимы можно зимовать на открытом плесе. Но и
здесь в суровые зимы ледоход представляет известную опасность, вслед-
ствие чего волжское госпароходство устроило новые ремонтные мастер-
ские в затоне за Пролетарским островом.

По установившейся среди волжских водников терминологии и в тех-

нической литературе под затоном разумеется более или менее значительных размеров водная площадь, расположенная в стороне от главного русла реки. В нижней своей части затон имеет выход на реку к речному фарватеру, а верхняя часть остается закрытой. Последнее обстоятельство, не допуская попадания льда в затон (даже в высокое половодье), гарантирует безопасность стоянки судов в затоне от ледохода.

Для подавляющего большинства затонов использованы естественные условия (в конце поймы у края долины, в пойме за островом, в старом русле и т. д.). В некоторых же затонах для усиления безопасности судов устраиваются искусственные сооружения (ледорезы и дамбы). Имеются искусственные затоны, созданные путем специальных насыпей (Самарская бухта на р. Волге), или прорытые в устьях рек (Кинешемская гавань), или огражденные ледорезами (у пристани Увек).

Зимовками («убежищами») называются также пункты в реке, где имеется какое-либо, хотя и незначительное прикрытие от ледохода (пустые речки, высыпка-грива, высокий песок, остров, крутой выступ берега и др.), за которыми суда находят убежище от ледохода. Зимовки всегда малопоместительны и неполно безопасны от весеннего ледохода. Если же судно зимует не в затоне и не в зимовке, такое положение называется **зимовкой на открытом плесе**.

2. Расположение затонов и их общая характеристика.

Подавляющее большинство волжских затонов (рис. 15) и зимовок расположены в следующих местах: 1) в конце поймы у края, 2) в старинном русле, 3) в устье рек, 4) между высоким песком и яром.

а) Естественные затоны. 1. В конце поймы у края бывают наиболее хорошие затоны. В таких затонах всегда один берег высокий (горы), незатапливаемый. Затоны эти обычно глубокие, поместительные и безопасные (если закрыты сверху). Примерами таких затонов могут служить: «Красный Волгарь», бывший Звентский (на казанском плесе), Крушинский, Черный затон (в низовом плесе) и др.

2. В старинном русле реки (рис. 15 Б) затоны обычно расположены ближе к середине поймы, но бывают и у краев поймы у краев. Затоны эти в большинстве случаев поместительны и совершенно безопасны. Недостатком их является мелкий вход, это часто наблюдается в таких затонах и является следствием того, что весеннее течение, направляясь поперек устья затона, засыпает его. Примером такого затона может служить Сеймовский затон в старинном русле р. Оки и др.

3. В устье рек (рис. 15 Д) обычно расположены только зимовки, если выше устья есть какая-либо защита (высыпка, рывок и пр.), а самая речка имеет достаточно широкую пойму и не имеет ледохода. Но если устье речки искусственно углублено и расширено, то создается уже затон. Примером простой зимовки может служить устье речки Туношени (вблизи г. Ярославля и др.), а примером устройства затонов — затон в устье р. Которосли (в г. Ярославле) и в устье речки Кинешемки (путейский термин — Кинешемская гавань).

В таких речках ледоход проходит раньше р. Волги, а иногда (если ее русло незначительно) лед растаивает на месте, и ледохода не бывает. Но если на речке происходит ледоход, а выше находятся мельничные плотины, пруды и т. д., это может грозить опасностью судам, зимующим в устьях таких рек. Примером в данном случае может служить речка

Сундовик, выходящая в Исадский залив. Бывают весны (например 1912 г.), когда из реки стремительно сливалась вода (лед на Волге в это время еще стоял и уровень воды в ней был ниже уровня Сундовика). В указанный год разница горизонтов, по словам очевидцев, была около 2 м. Сундовик вскрылся и создал в Исадском заливе такое бурное течение, что некоторые пароходы («Пимен») перебросило через стрелку залива и выбросило на Волгу в стоячий лед. Впоследствии в Исадском заливе ниже устья реки Сундовика были устроены ледорезы.

Зимовки в устьях рек вообще мало поместительны. Зимовка судов под устьем реки возможна только при условии впадения в реку по приливу воды, о чем будет сказано ниже.

4. Затоны между высоким песком и пром. (рис. 15 В). Эти затоны находятся там, где имеется, с одной стороны, высокий песок (равный высоте припоймы), незатопляемый половодьем, а с другой — яр. Они если и бывают глубокие, то обычно малопоместительны и не всегда безопасны. Если устье таких затонов широкое, то всегда есть опасность попадания в него весеннего льда, особенно при заторе, подвижках и т. д. Затем в расширении устья может нагнаться лед ветром.

5. Затоны в озере (рис. 15 Г) всегда безопасны и поместительны. Вход в такие затоны мелок и иногда возможен только с прибылью воды. В некоторых случаях озеро соединяется с рекой искусственным каналом. Так проектируется соединить р. Волгу с Мещерским озером в Н.-Новгороде) через Спирский залив и с Борским — через залив имени Карла Маркса (Муромка).

Кроме перечисленных затонов и зимовок, есть еще зимовки под крутыми обрывами гор, за высокими песками и в др. пунктах. Они носят название б е ж и щ. Суда здесь останавливаются на зимовку только в силу крайней необходимости. Такие места зимовок всегда считаются опасными.

б) Искусственные затоны. Постоянными искусственными затонами и зимовками на Волге являются затоны: 1) под ледорезами, 2) за земляными дамбами: Сюда же должны быть отнесены Рыбинская авань, устроенная (со шлюзами) в устье р. Черемхи, где суда вводятся в реку и обсушиваются на станах, и Рыбинский слив (элянт), где суда из воды вытаскиваются на рельсах механическим путем на берег и зимуют здесь до весны.

Затоном (зимовкою) под ледорезами называется водная площадь, от-

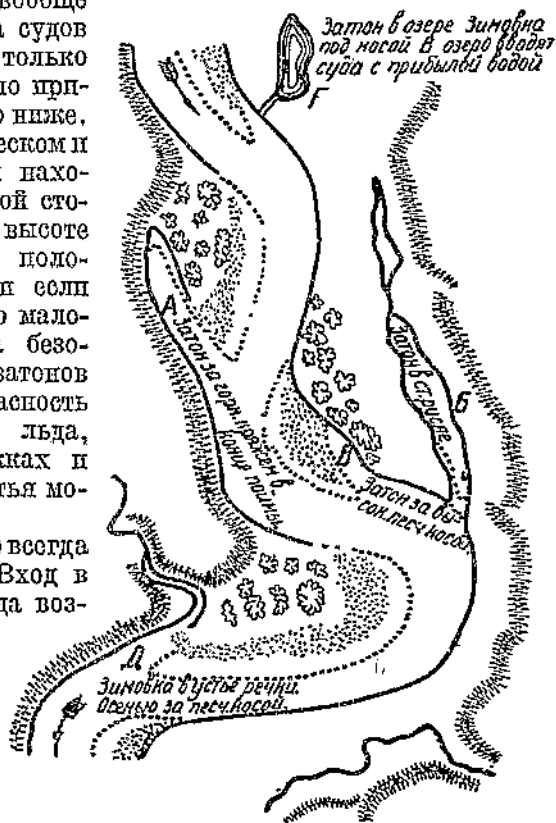


Рис. 15. Расположение затонов и зимовок.

ражденная сверху ледорезами. Такую зимовку можно устроить в любой части реки. Предпочтительно такую зимовку устраивать под высыпкой (береговой грядой) берега, под крутым рывком и т. д. Поместительность таких зимовок зависит от числа построенных ледорезов. Если эти зимовки устроены в неизменяемой части русла, то обычно бывают глубокие. Примерами таких зимовок являются: Увекская (вблизи г. Саратова) и в Н.-Новгороде при б. Курбатовском судостроительном заводе. Последняя зимовка обмелена вследствие отклонения русла от горного к луговому берегу. Зимовки под ледорезами считаются безопасными (условно).

Главное достоинство Увекского затона заключается в том, что к нему примыкают железнодорожные пути и он обладает достаточной глубиной. Это дает возможность производить здесь погрузку и выгрузку в течение всей зимы, что ведет к удлинению навигационного времени до 2 недель. Между береговыми ледорезами и в помощь им искусственно насыпана каменная гряда. Зимовка безопасная.

Затоном (зимовкой) под искусственными земляными дамбами называется часть речного русла, отгороженная от него незатопляемой дамбой и имеющая выход в русло реки. Такой затон устроен в р. Самарке у г. Самары (между городом и железнодорожным мостом). Условия здесь такие же, как и в Увекском затоне, поэтому суда могут грузиться и выгружаться также в течение всей зимы. Зимовка считается совершенно безопасной и глубокой.

К искусственным зимовкам нельзя относить временные приспособления (ледорезы, снеговые и земляные дамбы), построенные исключительно для спасения случайно зазимовавших на плесе судов. Такие случайные сооружения служат только одну весну.

3. Условия зимовки судов в зависимости от ледохода, типа судна, рода грузов и т. п.

В зимовке судов главную роль играют выбор места зимовки и места стоянки на зимовке, а затем — принятие мер к спасению судов от весеннего ледохода. Указанные вопросы настолько обширны, что нет никакой возможности (по объему данной работы) исчерпать их полностью, поэтому здесь будут описаны кратко только наиболее типичные, часто повторяющиеся случаи.

В условиях зимовки всякого судна нужно различать три периода: осень (установка судна на зимовку), зиму (охрана судна от льда зимой) и весну (спасение судна от весеннего ледохода) и затем следующие наиболее важные моменты: а) выбор места зимовки, б) выбор места стоянки судна в затоне, в) учалка судна, г) охрана судов зимой от льда и выморозка подводных частей судна, д) особенности влияния льда на судно и пр.

Дальнейшее описание основных моментов зимовки судна будет относиться преимущественно к хорошему естественному затону и пароходу без веза. Остальные затоны и места зимовок, а также другие виды судов, будут затрагиваться лишь в случае необходимости отметить какие-либо особенности. Описание относится ко всей Волге, кроме Астрахани, где суда могут становиться и на открытом плесе.

а) Выбор места зимовки осенью. При выборе места зимовки осенью нельзя удовлетвориться только тем, что можно простоять безопасно во время осеннего ледохода. Надо думать обязательно и о ве-

сеннем ледоходе и считается с его условиями. Весенний ледоход опаснее осеннего, поэтому при выборе осенью затона или зимовки необходимо знать и учитывать во всех отношениях условия весеннего ледохода в данном пункте, т. е. горизонт воды, при котором проходят подвижки льда и его заторы, начало ледохода, направление, характер и мощность ледохода и т. д.

б) Выбор места для стоянки судна в затоне. Место для стоянки в затоне должно быть выбрано с таким расчетом, чтобы под днищем судна была достаточная глубина, гарантирующая судно от обсыхания при наиболее низком зимнем горизонте. Если же по местным условиям избежать обсыхания судна нельзя, то необходимо поставить судно на ровное и чистое место, для чего необходимо с судна сделать точный промер и протранлить место под судном, чтобы очистить его от твердых предметов.

При ровном дне затона кратковременное обсыхание судна не представляет опасности для корпуса: придет вода — и судно всплывет. При продолжительном обсыхании судов нужно предусматривать возможность примерзания корпуса ко дну затона. А это может вызвать следующие опасные последствия: весной, при прибыли воды, примерзший корпус парохода не всплывет, пока не оттаит дно, и прибывшая вода, особенно если она идет «валом», может дойти до корпусных иллюминаторов вала и утопить пароход. Для предупреждения примерзания корпуса необходимо: а) подкладывать под корпус обыкновенные круглые бревна на расстоянии 10—20 м друг от друга; б) заблаговременно к наступлению теплых весенних дней рядом с корпусом проводить во льду до земли борозду шириной около 70 см и держать ее открытой; трюмовые иллюминаторы, отверстия гребных валов, запасного ящика и др. герметически заделывать; в) ко времени прибыли воды поднимать пар и горячую воду спускать из котла в корпус. Все эти мероприятия будут способствовать более быстрому оттаиванию корпуса.

Суда, требующие выморозки не только для обычной окраски ватерлинии, но и для осмотра и ремонта подводной части корпуса, должны становиться вдали от теплых ключей, в скалах ставятся стрижневыми и т. д.

Суда, подлежащие в течение зимы нагрузке или выгрузке, должны становиться ближе к путям сообщения. Расстояние между ними оставляется такое, которое обеспечило бы ежедневную их околку.

При выборе места стоянки судом в случайном месте зимовок, где есть опасность от весеннего ледохода, в первую очередь необходимо изучить место стоянки и всю прилегающую к нему местность в отношении заливания ее весенней водой, направления и силы ледохода и пр., составить примерный план подводки судна или ввода его в наиболее защищенное от ледохода место, установить примерные линии расколки весной льда, определить ориентировочно линии причалов и пр. Все это необходимо сделать осенью, до выпадения снега и точно нанести на схематической карте план спасения судна, так как весной, когда надо производить ледокольные и другие работы, вся местность будет покрыта глубоким снегом, что может совершенно изменить ее рельеф.

в) У ч а л к а с у д н а должна быть «сделана мертвой», т. е. должна гарантировать судну спокойную стоянку при всякой погоде и при всяких обстоятельствах. При этом, однако, закрывание и закрепление снастей и швеев должно быть произведено такими способами, которые допускали бы быструю их отдачу при несчастье в затоне: например при пожаре кара-

вана до ледостава. Установленное и учаленное таким способом судно будет стоять всю зиму, во время которой его необходимо охранять от зимнего льда и использовать последний для ремонта подводных частей корпуса.

г) Обязанности команды по охране судов зимою. В число таких обязанностей включается между прочим наблюдение за тем, чтобы проруби вокруг судна не замерзали и были доступны для получения из них воды, а также и наблюдение за возможностью появления течи в корпусе. При этом необходимо помнить, что зимой обычно течь воды нельзя определить наметкой, так как при незначительной течи вода будет в корпусе мерзнуть «слудить».

д) Охрана судов от льда. Выше было отмечено (см. глава III «Изменение в ледяном покрове за зиму»), что зимний уровень в верхней зоне с начала ледостава до весенней прибыви воды в течение всей зимы постепенно понижается, вследствие чего лед, обламываясь на берегах, все время будет сжиматься по середине реки (будет иметь вогнутый вид). В Астрахани уровень льда будет иметь то выпуклый (при моряне), то вогнутый (при выгонных ветрах) вид.

Вследствие таких колебаний уровня воды лед будет давить на корпус судна. И чем глубже судно будет сидеть в воде, чем сильнее будут колебания воды, тем это давление будет опаснее и может повести к повреждению корпуса. Кроме того, давлению льда также способствует и его естественное расширение. Для предупреждения повреждений от льда суда в течение всей зимы периодически оказываются зимовой командой. Кругом всего корпуса, на расстоянии 2 м от него во льду прокладывается пепными борозда называемая м а й н о й, шириной около 50 см. Лед из майны выкидывается саком (железный круг, ошпеленный проволокой в сетку и посаженный на деревянную ручку) на противоположную сторону от судна. Ледяное пространство между корпусом и бороздами, включая лед под корпусом, называется чашей.

Окалывание корпуса начинается обязательно от пера руля и идет от него по обеим сторонам корпуса. Требование это вызывается необходимостью сохранить руль от поломки. Наблюдались случаи, когда при значительных колебаниях уровня воды, при околке, производившейся с носа к корме, пароход «зсаккивал» и руль отламывался.

Чаша в течение всей зимы содержится чистой, чтобы удобнее было вести выморозку. Околка судна производится в зависимости от морозов. Обычно толщина льда на майне более 17 см не допускается. Снег с теплоходов скидывается за пределы майны. При стоянке судов счалом лед из майны, снег из шалманов, с чаши и с палубы отвозится в сторону.

Околка груженых судов в спокойном состоянии производится так же, как и пароходов. При грузовых операциях (выгрузке или нагрузке) зимой околка судна производится ежедневно.

Порожние мелкие суда и суда лодочной постройки обычно не окалываются. Лед промерзает под днищами таких судов и большой опасности для них не представляет.

е) Пользование ледяным покровом для ремонта подводных частей судна. Для вращения ремонтируемых колес, осмотра руля, окраски ватерлинии, ремонта подводной части корпуса в затонах, где это возможно, делается выморозка. Необходимое условие удачной выморозки — отсутствие в затоне теплых ключей или теплой воды от фабрик и заводов.

При выморозке лед сильно не выгибается, а оставляют перемычки, — между которыми образуются выемки, называемые *колодцами*. Размеры колодцев от 2 до 2,5 м длины и 70—80 см ширины. Ширина перемычек от 35—45 см.

При выморозке колес обычно все подлежащее выморозке пространство делится на четыре колодца с соответствующими перемычками. Когда все колесо выморожено, перемычки скалываются и колесо будет вращаться в едином большом колодце. Иногда под колесо подводится соответствующих размеров ларь: в этом случае выморозка не делается.

При выморозке лед берется всякий раз по топкому слою, причем не добравшись до воды на 10—15 см. Выборку определяют на-глаз или посредством просверливания льда опенным буравчиком. После просверливания отверстие забивается деревянным штырем с тряпкой и салом. Выборанне слоя зависит от морозов; чем они сильнее, тем выбирать нужно чаще и больше и наоборот. Снег в колодцах выметается начисто.

Труднее всего поддаются заделке трещины в колодце, имеющие косое направление. В этом случае на трещину накладывается пластырь из парусины и копы (как и на всякую пробойну) и ставится в привальный брус упорка. Также ставится на трещину противень со снегом, смешанным с солью, и др.

Если заделка течн не удастся и вода залет колодец (ящик), то его заваливают льдом для более быстрого промерзания, после чего колодец начинают выбирать сначала. Глубина выморозки делается весьма различная: для окраски ватерлинии глубина колодца берется около 70 см, для вымораживания пятки руля и ремонта подводной части корпуса глубина колодцев равняется осадке судна, а иногда подходит и под все днище и т. д.

При ремонте корпуса (вставка новых листов, брусьев, постановка заплат и т. д.) необходимо принимать все меры предосторожности против затопления колодца, так как через колодец вода уже может залить судно. При выморозке особенное внимание обращают на околку: делают ее чаще, чтобы не было ни малейшего давления на чашу.

ж) Прочие моменты влияния льда на судно. Кроме описанных выше случаев, необходимо еще отметить, что со льдом приходится так или иначе считаться и его использовать при зимнем ремонте подводных частей судов, а также при других операциях. Например, при ремонте судов с помощью ларей, при производстве крепа, при постановке судов зимою в затоне в док и выпуске из него, при обсушке судна, при вытаскивании судна на берег, при подсушке судна и т. д.

Ограниченный объем работы не позволяет автору подробно останавливаться на всех моментах, поэтому приходится ограничиться только простым перечислением их.

4. Спасание судов от весеннего ледохода.

Зимние стоянки судов по степени безопасности их от ледохода в пределах Волжского бассейна могут быть разбиты на следующие 7 групп: 1) зимовка судов в совершенно безопасных хороших затонах, 2) зимовка под ухвостьем или в ухвостье затона, 3) зимовка в устье речек, 4) зимовка за крутыми рывками гор, 5) зимовка за высокими песками, 6) зимовка под искусственными сооружениями и 7) зимовка на открытом, ничем незакрепленном плесе.

Способов спасания судов от ледохода очень много и описать их все

невозможно. Тема спасания судов от весеннего ледохода весьма обширна, и в объеме настоящей работы нет возможности ее исчерпать. Поэтому приходится ограничиваться кратким описанием, вернее перечислением наиболее характерных и типичных способов спасания судов в затоне и в ледяном заторе.

а) Общие мероприятия по спасанию судов от ледохода в заторах. Оконка судна и его учалка считается обязательной, в каком бы заторе судно не зимовало.

Если же с подъемом весенней воды является опасность, что лед при высокой воде пойдет затором (через его приворх, низицу и т. п.), то весь лед в заторе разбивается на карты, раскалывается и выпускается береговая утора, а судно подводится к берегу, где крепко учалывается. Если же опасности от такого льда нет, то обыкновенно прокалывается борозда в ухвостье затора, чтобы при подвижке льда на реке не «позвало» затонную льдину в реку и не вытащило из затора вместе с затонной льдиной и весь караван.

Береговая утора при всякой зимовке судна имеет для него большое значение и на раскалывание ее необходимо обратить особое внимание. Утора должна раскалываться мелкими картами и обязательно до прибыли воды. Последнее требование объясняется тем, что лед очень удобно и легко расколоть на мелкие карты (провести так называемые сухие борозды), когда он еще лежит на земле. Если же вся утора будет залита прибылой водой, то придется борозды по льду вести в воде, на глубине иногда (при бурной прибыли воды) до 2 м, что очень затруднит, замедлит и удорожит расколку всей уторы. Кроме того, при заблаговременной расколке всего уторного льда на карты лед будет быстро «подпревать» со стороны сухих борозд, а потому скорее всплывет и своевременно может быть выпущен в «закрапну». Если же уторный лед не будет расколот до прибыли воды, то он будет подпревать более медленно и при «дружной весне» может оказать серьезное затруднение при спасении судна от ледохода, так как утора явится препятствием для подвода судна к берегу.

Чаша от парохода заблаговременно отбивается только в совершенно безопасных заторах. В опасных заторах отбивание чаши производится перед отвалом парохода, когда опасность от ледохода миновала, так как чаша служит важнейшей защитой корпуса от ледохода.

Разбивка чаши начинается проведением по льду от майпы до пароходного корпуса поперечных борозд, в 6—10 м друг от друга. Это способствует таянию чаши и ее лучше бывает отбивать перед отвалом с места зимовки. Неотбитая спереди колес чаша может служить причиной поломки колес, когда она при ходе оторвется от корпуса и всплывет.

Этими общими мерами и заканчиваются мероприятия по спасанию судна в хорошем заторе. Если судно стоит хотя и в хорошем заторе, но в его ухвостье и если ухвостье затора, являющееся прикрытием для данного судна, затапливается половодьем и через него (через ухвостье) может пойти лед, то в этом случае судно должно быть уведено с опасного места под защиту незатопленной части затонной косы, т. е. введено в затоп. Для этого необходимо до первой подвижки льда весь лед, расположенный выше спасаемого судна, расколоть на карты и выпустить его в специально сделанные дворы или (если есть ниже судна низкий берег, который зальет вода) в закрапну.

Двором называется майна шириной около 4 м, которая раскалывается поблизу судна в стрелу от него мелкими картами. Лед в дворах вагами

гошится (вытапливается) под коренной лед (карты дворового льда засовываются под лед), вследствие чего двор будет представлять определенную площадь чистой воды. На двор баграми и спускается расколотый выше зуда картан лед, а в очищенное вперед пространство подводится спасаемое судно. Дворов может быть сделано несколько и площадь их должна быть немного больше площади льда, находящегося впереди судна, что обеспечивает подводу его к определенному месту.

Если судно предполагается подвести в безопасное от ледохода место вдоль низкого (пологого) берега по закраине, которая образуется от прибылой воды, то судно укалывается. Также раскалывается против судна береговая утора, лед которой выпускается в закраину. Судно же, оказавшись на чистой воде, поджимается к берегу и ожидает прибытия воды (если ему не будет угрожать опасность от ледохода). По мере прибытия воды судно постепенно должно подводиться и таким порядком заводится по закраине в затон.

Если же при подводке с помощью сделанных дворов, или по закраине, судну все-таки угрожает опасность от ледохода — судно может быть срезано льдом, или прижато к берегу, или раздавлено, или выжато льдом на берег, то принимают следующие меры.

На случай выжатия судна на берег против всего его борта на землю, в



Рис. 17. Устройство заплывней.

перечном направлении к судну, кладутся обыкновенно толстые круглые бревна (рис. 16) — склизы. Судно крепко учалывается, и со стрелковой стороны по льду прокалывается борозда (майна) в таком направлении, чтобы лед при подвижке обрезал по майне и не захватил судна. По стрелковому борту судна спускаются заплывни (рис. 17), сделанные из четырех-шести круглых толстых бревен, свернутых между собой болтами. Заплывни и будут ограждать борт судна от ледохода. Если и после принятия описанных мер лед нажмет судно, то борт его охраняют заплывни, а при сильном нажатии льдом судно можно без повреждений вытащить на берег по склизам.

Если же берег очень крутой, то нужно или срыть берег, или ограничиться спасанием только с помощью заплывней. В общем же при обрезном кру-

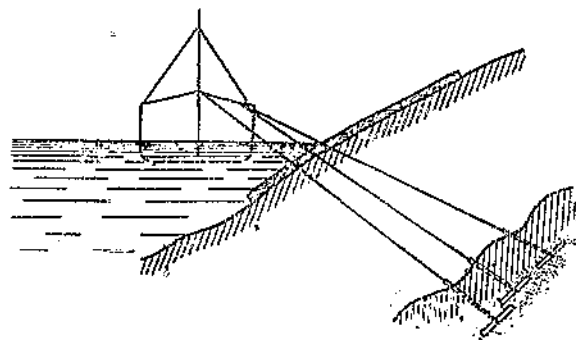


Рис. 16. Устройство склизов.

том береге нажим льда всегда очень опасен для судна, что и необходимо учитывать. В подворотах внутри корпуса иногда стоят упорки, которые могут предупредить сдавливание льдом корпуса.

б) Спасание судов при зимовке в открытом и ничем незащищенном плесе. Зимовка в открытых местах считается безусловно опасной, и постановка судов в таких местах на зимовку происходит только в силу крайней необходимости (авария, обмеление, внезапный ледостав и т. д.) Принимаемые здесь меры должны заключаться прежде всего в уборке судна по разделанному двору в ближайший, хотя бы относительно безопасный загол. Если же такого загола вблизи нет, или по тем или иным причинам подводка туда будет невозможна, или не сделана, то судно необходимо подвести к наиболее безопасному берегу (под рывок гор, под плечи яра, под остров и т. п.). Подводка судна с открытого плеса в загол или к берегу должна производиться осенью немедленно на ледоставом, с использованием осенних оттепелей и тонкого льда. Если судно будет подведено к незащищенному берегу, то необходимо для его спасания от ледохода построить ледорезы или дамбу (см. ниже), или то и другое. Если всех перечисленных здесь мер будет недостаточно и если судно от ледохода грозит неизбежная гибель, то лучше всего вытащить такое судно на берег и убрать от ледохода.

Ярким примером опасности зимовки судов на открытом плесе может служить следующий случай.

Вследствие быстрого и внезапного ледостава осенью 1912 г. р. Волга у г. Рыбинска быстро покрылась льдом. Хлебный караван в количестве около 300 баржей зимовал у пристаней Рыбинска на открытом плесе. Только незначительная часть баржей (около 12) убралась в гавань Черемха (в устье р. Черемхи), а часть укрылась за ледорезами у пристани Бык (товарная станция ж. д.). Весь этот караван благополучно отстоялся от осеннего ледохода — ни одно судно не было им потревожено. Но весной 1913 г., несмотря на все принятые меры, все баржи, зимовавшие на открытом плесе, были сорваны льдом и унесены вниз по течению (всего около 275 судов). Весенний ледоход 1913 г. представлял собой небывалое зрелище: среди льдов массами плыли баржи; часть из них была срезана и утоплена (по палубу), а часть плыла в неповрежденном состоянии. Топлые баржи вместе со льдом доплывали до Н.-Новгорода и ниже. Часть была унесена на лугу (полон), в староречьях и т. д.

Более подробные сведения об этой катастрофе можно найти в специальных периодических изданиях за 1913 г. и, вероятно, в отчетах б. Казанского округа путей сообщения.

в) Искусственные сооружения для спасания судов от ледохода. Наиболее верным способом сохранения судов в опасных местах от весеннего ледохода служат специально построенные ледорезы и снеговые дамбы.

Ледорезы нормального типа устраиваются так: материалом для постройки ледорезов служат обыкновенные сосновые и еловые круглые бревна длиной от 8,5 до 17 м, причем для свай, вбиваемых в землю, обычно применяются сосновые, меньше поддающиеся гниению, а для скрепленных и «насадок» — еловые деревья. Нижние концы свай снабжаются металлическими наконечниками, чтобы свая легче входила в грунт. На верхний конец свай надеваются кольца из шпунтового железа (бугель), чтобы при вбивании свай ее не размочалило копром.

Все сваи скрепляются между собою 16 мм болтами. Вершины вбитых

свай срезаются затем по одной наклонной линии (около 40°). На вершине каждого дерева делаются пины, на которые нарезаются круглые деревья длиной 16 м — так называемая «насадка» (или «нож»). «Насадка» делается из шести деревьев, укладывается пирамидой и скрепляется между собою болтами из круглого железа толщиной 20 мм, а для лучшего движения по «насадкам» льда верхнее дерево обшивается пиновым или угловым железом. В вершине ледореза, наклонно к нему, вбивается одиночная свая, которая служит упором для льда и скрепляется с крайним кустом железом. В продольном направлении кусты скрепляются одной или двумя схватками, которые скрепляются между собою болтами, толщиной в 19 мм. Кроме того, между сваями кусты скрепляются еще укосинами, направление упора которых образуется в сторону движения льда. Для укосины крайнего (от раструба) куста вбивается отдельная невысокая свая. Высота вершины и раструба ледореза обычно определяется высотой над нулевым горизонтом ко времени начала первых подвижек льда данного плеса, причем считается достаточным делать вершину ниже на 0,7 м того названного горизонта, при котором наблюдались первые подвижки льда, а высоту раструба на 0,7—1,5 м выше самого высокого горизонта, при котором наблюдался ледоход.

Ледорезы обычно ставятся группами от 2 до 8 в зависимости от условий окружающей местности, причем расстояние между ними допускается (также в зависимости от местных условий) от 4 до 6 м. Необходимый срок для постройки описанного ледореза, считая артель рабочих для вбивания свай в 8 человек и артель плотников в 6 человек — неделя или немного больше. Строятся ледорезы и более прочного типа.

Снеговые дамбы устраиваются для спасения случайно зазимовавших судов, а также в помощь ледорезам. Снеговая дамба делается на берегу выше судна и имеет такую же высоту от нулевого горизонта воды, как и ледорезы, т. е. дамба не должна перепускать через себя лед при первых подвижках и в начале ледохода.

Снеговые дамбы делаются так: на назначенное для сооружения дамбы место в течение всей зимы свозятся снег и лед, а иногда еще для лучшей связи добавляется прослойками земля, солома, хворост, деревья и т. д., и все сооружение поливается водой. Дамба должна устраиваться таких размеров, чтобы она не всплыла с прибылью воды. Весною с наступлением теплого времени, чтобы дамба не таяла, ее покрывают парусом, соломой, ветвями деревьев (лучше хвойных) и др. Хорошо построенная снеговая дамба является верным средством спасения судна от весеннего ледохода.

г) Охрана от ледохода плотов, береговых сооружений и пр. Наиболее трудным делом является спасение от ледохода плотов, особенно груженных. В этом случае должен приниматься целый ряд специальных мероприятий, из которых главнейшие — заблаговременная околка и взвозка плота в совершенно безопасное место. Работа эта очень тяжелая, и постройка плота на зимовку осенью требует особой предусмотрительности и учета размеров будущей весенней подводи.

Для охраны от ледохода искусственных сооружений в русле реки или на берегу, непокрываемой весенней водой, лучшим способом является сооружение одного или группы ледорезов примерно описанного выше типа. Этот же способ можно применять и для охраны уложенных на берегу в штабеля грузов (например лесных материалов).

Заключение.

Заканчивая настоящую работу, автор считает необходимым сделать следующие замечания.

Выполняя задание Научно-исследовательского института гидротехники, автор дал описание явлений, сопровождающих образование и исчезновение ледяного покрова на реках Волжского бассейна по практическим наблюдениям судоходца, используя не только свой продолжительный опыт непосредственной работы (с 1886 г.), но и многолетний опыт всего старого поколения водничьего коллектива (был опрошен целый ряд старых судоходных работников, из которых иные имели почти полувековой стаж работы и помнили рассказы своих дедов волгарей). Помимо того автору для цельности, ясности и полноты картины пришлось привести климатическую характеристику Волжского бассейна (по справочникам «Поволжье»); а также сведения о замерзании, вскрытии и ледоходе рек по данным б. Казанского округа и с. и Е. П. Чистякова), хотя и в самом кратком виде, так как в случае надобности институт несомненно может легко получить исчерпывающие данные по такого рода вопросам из имеющейся литературы и официальных сборников.

Автор полагает, что проблема ледового режима рек СССР имеет не только теоретический, но и практический интерес. Между тем материала для всестороннего ее освещения далеко недостаточно. Разрозненные и не опирающиеся на научную базу факты и наблюдения, собранные автором в настоящей работе, не могут, конечно, заполнить этот огромный пробел. Для всестороннего изучения проблемы должно быть поставлено: 1) систематическое наблюдение за всеми явлениями режима рек и озер, связанными со льдом; 2) соби́рание, систематизация и научная проработка прежних и новых наблюдений в этой области в увязке их с изучением климатических и метеорологических условий данного бассейна; 3) выработка конкретных мер для предохранения судов и других водных сооружений от вредного действия льда. Практическим результатом изучения данной проблемы должны явиться улучшение условий судоходства, сокращение аварий с судами и удлинение навигации. Особенную остроту проблема ледяного режима приобретает в настоящее время, в связи с намечаемой реконструкцией Волжского водного пути (Б. Волга), когда превращение реки со свободным течением в ряд озерных плесов с полустоячей водой совсем по-новому поставит вопрос о влиянии льда на речной транспорт и будет грозить для последнего тяжелыми последствиями, которые необходимо заранее предотвратить.

Инж. Р. П. Колмогоров.

ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ НА Р. ИРТЫШЕ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ в 1920/21 г.

(Транверз Омского залива.)

ПРЕДИСЛОВИЕ.

В настоящей записке автор излагает свои личные наблюдения над ледовым режимом реки в период 1920/21 г. Следует оговориться, что присутствующая субъективность подобного труда в настоящем случае может оказаться еще более вышуклой, если принять во внимание, что наблюдения излагаются с точки зрения работника водного транспорта. Однако причины, заставившие автора составить настоящую записку, требуют, чтобы те явления зимнего режима реки, которые носят общий характер, имели кроме субъективного их изложения еще и физическое обоснование, что в надлежащих случаях и сделано.

Особо следует отметить, что в большинстве (если не во всех) случаях наши гидростанции наблюдают ледовый режим, только заносы в летоисчислительную хронологию явлений, температуру, толщину льда и редко дают сведения о прозрачности ледового покрова. Что же касается сведений относительно характера ледостава, вязкости льда в различное время, его состояния на больших и малых глубинах, а также сведений о его строении осенью и весной и режущей способности во время ледостава и ледохода, а также и многих других, то их почти невозможно отыскать в материалах указанных организаций. Между тем интерес к льду (в некоторых случаях — как незаменимому помощнику, в других наоборот — трудно преодолеваемому врагу) становится все более актуальным, и термин «Ледотехника» становится жизненным и понятным.

Своими наблюдениями автор делится исключительно с целью подтвердить некоторые предположения, существующие в отношении льда как покрова речного потока, а также дать некоторый материал для характеристики льда в различное время года и его воздействия на суда и гидротехнические сооружения.

1. Ледостав.

По времени года ледостав в указанном пункте р. Иртыша наступает примерно в промежуток, определяемый второй половиной октября и первой половиной ноября. Вследствие равнинно-степной местности в рассматриваемом участке наблюдается довольно значительное количество ветровых дней, особенно же осенью. В период ледостава наблюдаются

преимущественно северные и северо-восточные ветры, приносящие понижение температуры воздуха и редко сопровождаемые снегопадами. Ветры же западной части горизонта почти всегда сопровождаются атмосферными осадками, но начинают появляться лишь после окончательного ледостава. Поэтому очень часто можно видеть такую картину, что река имеет уже ледяной покров, а поверхность земли еще не приняла своей снеговой одежды. Последнее обстоятельство важно в том отношении, что характер самого ледостава льда в этот период несколько отличается от этих факторов в реках, находящихся как будто в одних гидрологических условиях.

Характер самого ледостава представляет собою следующую картину: по реке, в ее поверхностных слоях, при температуре воздуха примерно -3° , -5° C, начинает появляться зернистое образование кристалликов льда. Зерна эти вначале представляют незначительные размеры в плане и разрезе вертикальной плоскостью, но по прошествии около полусуток они смерзаются в незначительной толщины, до 1 см, плитки, размерами в плане от 15×20 см до 30×50 см, и река по всей своей поверхности покрывается такими плавающими плитками. Если температура воздуха продолжает держаться в указанных пределах или еще понижается, то окончательного ледяного покрова на реке можно ожидать через 1—1,5 суток с момента появления зерен льда. Хотя следует отметить, что продолжительность ледоставного периода иногда и затягивается лишь от того, что низовье реки подверглось действию более высоких температур, чем в рассматриваемом нами участке.

Надо сказать, что вся река покрывается льдом в течение 2—3 недель, начиная с низовьев (с. Самарово) и кончая верховым участком (Топольный мыс), вследствие чего горизонт воды при ледоставе всегда несколько больше меженного. Иногда причиной подъема воды в осенний период является затянувшееся таяние горных снегов и льдов в верховьях реки.

Кристаллы льда, смерзшиеся в виде отдельных плавающих льдин, представляют плотную массу, без всякого заметного на глаз игольчатого или трубчатого наслоения. Прозрачность этих льдинок не велика, и на первый взгляд можно думать, что малая прозрачность является следствием присутствия значительного количества пузырьков воздуха в льдине. Однако при более тщательном рассмотрении белесоватость льда в общей его массе объясняется довольно значительным количеством мелких бугорчатых выступов на поверхности, имеющих вид вкрапленных в основную массу замерзшей воды. Некоторыми предположениями, высказываемыми на этот счет лопчанами, можно, пожалуй, в некоторой степени объяснить такое поверхностное строение льдинок. Предположения эти заключаются в том, что во время ледостава иногда можно наблюдать над рекой обильные туманы, которые при соприкосновении с плавающими льдинами быстро конденсируются и оставляют следы своей конденсации на поверхности льда в виде уже указанных мельчайших белесоватых (снегообразных) бугорков.

Сторона льдинки, противоположная верхней, мною была осмотрена во многих случаях и ни разу не имела совершенно гладкой или даже ровной поверхности. Обычно и на взгляд и на ощупь это давало представление слегка шероховатой, без острых выступов поверхности.

Окраска основной массы льдинки при просвечивании ее через ребро была почти бесцветной и изредка носила характер еле заметной желтизны, что, повидимому, следует считать случайностью.

После образования на поверхности воды льдин, как уже было указано, окончательный ледостав наступал весьма быстро. При движении реки с *S* на *N* ледяной покров как бы двигался навстречу плавающему льду, собирая его у своих все новых и новых кромок.

За все время работы на транспорте и постоянного наблюдения за рекой в предшествовавший период автору ни разу не удалось поймать самого момента ледостава, в створе. Он наступает настолько неумовимо, что даже для небольшого потока очень трудно указать точно час ледостава. Точно так же весьма трудно уловить момент появления всем известных заберегов, хотя нет сомнения, что порядок образования их такой же, как и льда на реке в промежутках между берегами. Эта трудность наблюдения наводит на мысль о том, что кристаллы льда соединяются в колонии без какого-то общего критического момента этого явления, а образуют их постепенно, с неумовимой для глаза протяженностью во времени.

Что касается заберегов, то они являются всегда предвестниками образования плывучего льда на реке, иногда способствуя этому тем, что, отрываясь от берегов, идут по реке, намораживая к себе кристаллы плавающего льда. Плавающие льдины, собираясь у кромок сплошного льда, или примерзают к последней целиком, или, испытывая давление всех новых прибывающих к кромке льдин, ломаются, образуя неровную, торосистую поверхность. При измерении толщин льдин, образующих торосы, оказалось, что они имеют довольно значительную величину, доходившую до 3 см. Это говорит за то, что если образование льдины толщиной в 1 см произошло за 36 часов до прихода ее к кромке полного ледяного покрова, следовательно каждая единица объема льдины увеличилась втрое, а это возможно лишь при условии намерзания уже скристаллизовавшегося льда. Указанное обстоятельство подтверждается еще тем, что толщина окончательного ледяного поля нарастает во много раз медленнее.

2. Движение судов во время ледостава.

Дешевизна водных перевозок по сравнению с железными дорогами общезвестна. Поэтому стремление пользоваться водным путем возможно большие сроки очень часто ставит суда в условия движения их в осенний ледостав. Автору настоящей записки пришлось самому испытать условия навигации в указанный период.

Довольно мощный речной буксир с машиной в 80 л. с. с металлическим корпусом вынужден был пройти с караваном из двух деревянных порожних барж в ледоставный промежуток около 40 км вверх по реке. Движителями буксира были деревянные плиты. Обычная средняя скорость перемещения при свободной поверхности воды составляла около 6 км/ч. В тот же момент, когда был встречен плывучий лед, заполнивший зеркало реки примерно на 20%, движение вверх по реке стало заметно уменьшаться, и по мере возрастания количества плавающего льда, караван стал двигаться со скоростью около 3,5 — 4 км/ч. Вместе с замедленным движением сейчас же выявилась и основная причина замедления, состоявшая в том, что плиты быстро приходили в негодность. После двух смен плит оказалось, что их повреждения очень похожи друг на друга: они стирались со стороны захода в воду, превращаясь в более тонкие (из 2" в 1,5" и даже в 1"), ломались в особо утонченных сечениях и срывались с крепящих болтов. Служа двигателем, они силой машины уда-

рались о льдинки, двигаясь вперед вместе с судном. Такое перемещение плив и уменьшение их площади вследствие довольно большой режущей способности льда заметно влияли на скорость хода. Стал вопрос о том, что выгоднее: менять изнашивающиеся пливцы, задерживая караван в пути, или двигаться безостановочно, хотя бы с малой скоростью. Между тем насыщенность плавающим льдом поверхности реки все увеличивалась. Боясь заморозить караван вне затора, было решено идти безостановочно. Следствием этого решения было то, что через 4 часа буксир потерял половину пливцы, и машина работала, поворачивая весь набор колес Моргана на поверхности воды, как бы опираясь на плавающий лед. Постепенно колеса начали обмерзать, и машина работала уже с меньшим числом оборотов. Повидимому обмерзшие железные части требовали уже больших усилий на поворот всего колеса. Движение с оголенными колесами продолжалось в течение 1,5 часа, за какое время было пройдено около 1 км. Приближение к затору дало возможность вызвать вспомогательный буксир, и весь караван был заведен в затор. По осмотре деревянных буксирных судов оказалось, что они в горизонте осадки имеют довольно сильно потерянные полосы, вся осмолка стерта до основания, поверхность обшивки в некоторых частях, обшивки имеет даже размокалившийся вид. Это подтверждает предположение о режущей способности осеннего льда, высказанное по отношению к пливцам. Весь путь в 40 км был пройден в течение 11 часов.

3. Останов судов в заторах.

Суда в условиях зимнего режима находятся под постоянным наблюдением особого персонала — зимовщиков. Наблюдения эти сводятся к следующему: зимовщики следят в заторах за толщиной ледяного покрова,

определяют начало так называемых выморочных работ и производят эти работы. После размещения всего каравана по затору суда остаются в покое примерно до конца декабря. К этому времени в условиях спбпрских рек толщина льда достигает 30—50 см. Вследствие того, что замерзшее на воде судно весьма прочно скрепляется с окружающим его льдом (особенно судно с деревянным корпусом), возможность появления

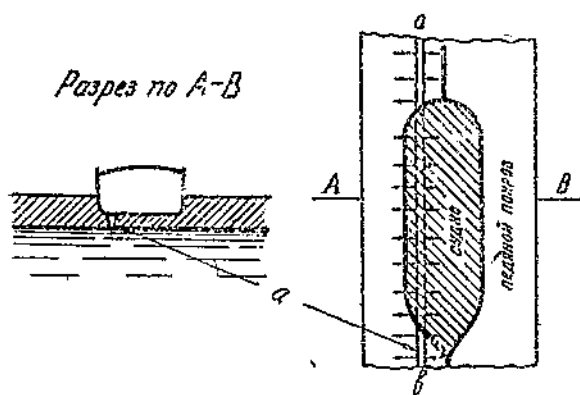


Рис. 1. Схема разрушающего действия трещины в ледяном покрове на прочность судового корпуса.

трещины в ледяном покрове будет оказывать разрушающее влияние на прочность судового корпуса.

На рис. 1 показан схематически корпус судна (заштрихован), и *а* — трещина в ледяном покрове. При стремлении левой части льда отойти от правой судно будет разрываться по линии *а**б*, силами, показанными на схеме стрелками.

Лед, как и всякое твердое тело, рассматриваемое в физике, подчиняется ее законам. При неизменном горизонте воды в реке в зимнее время появление трещин во льду можно объяснить так: при резком изменении температуры наружного воздуха поверхность льда быстро реагирует понижением своей температуры; при толщине же льда в 0,50 м и более изменение температуры не может мгновенно распространиться на всю толщину льда. Следова-

тельно, рассматривая схему (рис. 2) образовавшейся трещины можно сказать, что неравномерное сжатие льда по его толщине вследствие большой разности температур и послужило причиной ее появления. Автору приходилось часто наблюдать появление таких трещин на протяжении 100 — 200 м, с шириной сверху до 2,5 см. Характерно отметить, что направление трещины всегда идет от одного берега к другому, а не вдоль реки. Так же весьма существенным обстоятельством является и то, что эти «температурные» трещины никогда не заливаются водой в момент их образования. Появление таких трещин сопровождается звуком, напоминающим отдаленный выстрел, иногда весьма значительной силы.

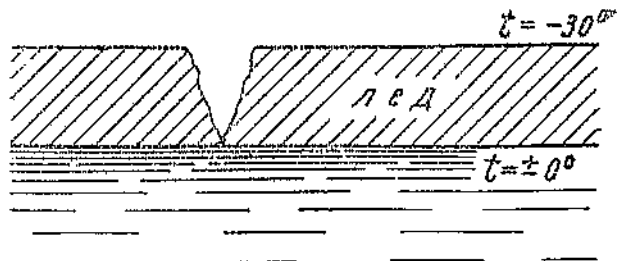


Рис. 2. Схема образования трещины.

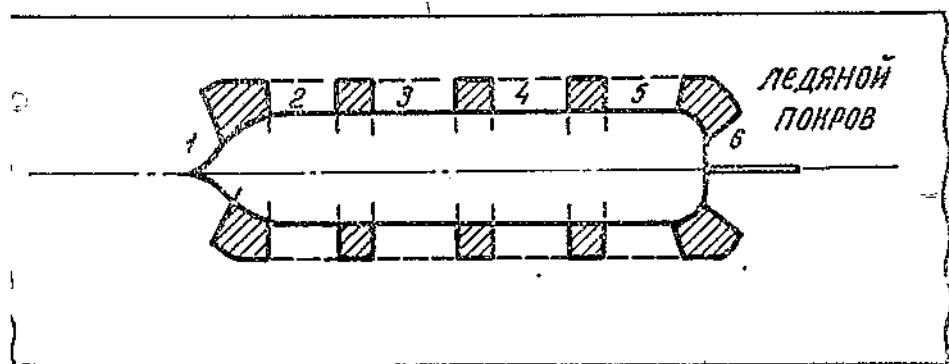


Рис. 3. Схема выморочных работ.

Все изложенное выше подтверждает предположение как о самом образовании трещин, так и о наличии больших разрывающих напряжений в ледяном покрове. Кроме того причиной образования трещины может быть повышение горизонта воды в реке. Тогда ледяной покров, как бы выгибался кверху, также лопается. Но также трещины сейчас же заливаются водой, которая в них и замерзает.

Чтобы предохранить корпус судна от деформаций ледяного покрова, необходимо произвести сумму работ, названных нами выморочными. Заключаются они в том, что судно оказывается во льду так, что остается

стоять не в целом ледяном поле, а как бы поставленное на ледяные опоры, идущие поперек судна в некотором расстоянии друг от друга. Работа по образованию этих опор очень сложна и требует определенной сноровки и привыка. На рис. 3 показано расположение судна и намечены места производства выморозочных работ. Участки, отмеченные цифрами 1, 2, 3, 4, 5 и 6, представляют те поперечные опоры, на которых судно должно остаться стоять после производства выморозки. Участки заштрихованные показывают объем необходимых работ.

Самая работа по выморозке состоит в следующем: в намеченных местах около судна выкалывается лед в виде колодца. Толщина нижней стенки (дна) колодца остается равной примерно 3—4 см. Работа по образованию колодца начинается с границ наружного пунктира, показанного на рис. 3. Как уже отмечено, выморозка начинает вестись перед началом самых сильных морозов. Обычно колодцы делают во всех намеченных точках в один—три рабочих дня. Через 2—3 дня дно колодца увеличивает свою толщину до 6—7 см, а иногда и до 10 см, в зависимости от температуры наружного воздуха. Рабочие через указанные промежутки времени снова приходят к судну и выбирают лед из колодца, оставляя дно той же (т. е. 3—4 см) толщины. С углублением колодца начинается врубание и под судно опять-таки с расчетом, чтобы к следующему приходу рабочих получилось замерзание оставшейся утонченной корки льда. Продолжая указанным способом удалять лед из заштрихованных участков, можно произвести выморозку так, что судно получит опорные ледяные части и просветы под корпусом. Как правило, сквозная выморозка идет только в тех местах, где намечается ремонт днища корпуса. Все же остальные выморозочные траншеи сквозными не делаются, а идут под корпус на 1—2 м.

Интересные явления сопровождают выморозочные работы. Опытный выморозчик по цвету льда определяет толщину оставшейся ледяной корки. Иногда неловкое и неправильное движение инструмента (пешни) пробивает эту сравнительно тонкую ледяную стенку. В таких случаях затопление колодца казалось бы неизбежным, и вся работа, затраченная на его образование, должна пропасть. Однако каждый выморозчик для таких случаев имеет при себе куски котельного железа и кусок сала. В случае пробоя льда он быстро прижимает к отверстию пробоя (забивая его салом) кусок железа, которое, обладая способностью усиленного намораживания, как бы примерзает к отверстию, превращая в лед окружающую его воду. Такое быстрое образование льда помогает сохранить пробитый выморозочный колодец.

При наличии выморозки корпусу судна уже не так страшны деформации льда, так как сплошного прилегания льда к корпусу уже нет, а оставшиеся опорные ледяные перемычки не смогут принести заметного вреда.

По прошествии периода морозов все колодцы могут быть затоплены, и тогда судно снова очутится в сплошном ледяном поле. Затопление трапшей производится уже в первые весенние дни и является совершенной необходимостью, так как можно ожидать неравномерного таяния льда, что повлечет за собой неравномерную осадку судна, вызывающую перенапряженность материала корпуса. Глубина колодцев выморозки в некоторых случаях доходила до 1,25 м. Наблюдая переделку одного колодца, можно было видеть, что толщина основного ледяного покрова сопрягалась с дном выморозочного колодца по некоторой кривой (рис. 4).

Рассматривая это сопряжение, можно сказать, что ледяная перемычка, нагруженная частью веса судна, работает как швеллерная балка с заде-

ланными концами, с равномерно распределенной нагрузкой двух знаков: положительного — вес судна и отрицательного — давление воды. Зная допускаемые напряжения на перерезывание, сжатие и разрыв, можно определить по весу судна количество требующихся ледяных опор, обеспечивающих безопасность судна, в случае ремонта его при выморозочных работах (клепка днища металлического корпуса). Интересные сведения о величине допускаемых напряжений на лед приведены в труде пинж. А. Н. Комаровского, «Структура и физические свойства ледяного покрова пресных вод». ¹ Например по Краугер'у модуль упругости льда при сжатии, растяжении и изгибе равен $E = (50 + t) 10^3$, где t — температура в градусах по Цельсию ниже нуля, взятая с плюсом. Из формулы видно, что E возрастает в прямой зависимости от t и при $t = -30^\circ$ достигает величины $E = 80\,000 \text{ кг/см}^2$, приближаясь по величине к E слабых пород дерева (пихта — $90\,000 \text{ кг/см}^2$).

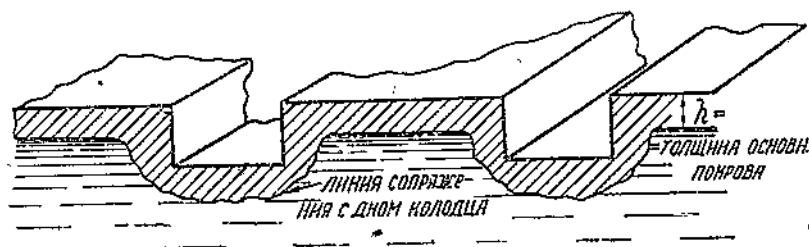


Рис. 4. Схема сопряжения толщины основного ледяного покрова с дном выморозочного колодца.

В этом же труде указывается, что разрушающая нагрузка на срез льда в среднем равна 9 кг/см^2 . Если принять коэффициент запаса $m = 6$, то допускаемое напряжение на срез можно принять равным $\sigma = \frac{9}{6} = 1,5 \text{ кг/см}^2$.

Следует особо отметить, что упругие свойства льда возрастают с уменьшением его температуры, что соответствует видимому более прочному соединению кристаллов льда между собою.

Разрушающее напряжение льда на растяжение в среднем составляет величину $R = 14 \text{ кг/см}^2$. Принимая во внимание это значение, можно сказать, что при толщине льда в 30 см для создания «температурной» трещины на длине одного метра потребовалось бы воздействие усилия $R = 14 \times 100 \times 30 = 4,2 \text{ т}$. Этот небольшой подсчет убеждает нас еще раз в необходимости предотвращения выморозки в условиях стоянки судов во льду при наличии низких температур воздуха.

Упомянув об упругих свойствах льда, надо сказать, что иногда (по времени года) свойства повышенной упругости сказываются особенно заметно. Возьмем осенний период. Кому неизвестно, что, несмотря на небольшую свою толщину, сплошной ледяной покров значительно прочнее толстого весеннего льда? Были случаи, когда при осенней разборке судовых машин приходилось перевозить по льду на берег значительные тяжести. При перемещении повозки с грузом был на-глаз замечен значитель-

¹ Названный труд составлен в 1930 г. по поручению группы ледотехники Государственного института сооружений.

ный прогиб льда, но разрушения его (видимого) не наступало. Иногда раздавался характерный треск рвущегося полотна в месте движения груза. При тщательном рассмотрении пути оказывалось, что он поспит пересекать тонкими белесоватыми жилками. Нет сомнения, что в указанном времени для достижения предельной величины временного сопротивления льда в данном месте было очень недалеко. Но если временное сопротивление (на растяжение) для льда в обычных условиях принимается равным σ , то для осеннего льда оно может иметь несколько повышенную величину за счет особого явления, так называемой «вязкости льда». В данном случае понятие вязкости, имеющее своим измерителем $кг/см/сек$, чрезвычайно наглядно связано с временем года, так как по отношению к осеннему льду можно сказать, что он под действием растягивающей силы «течет медленнее», т. е. медленнее разрушается по сравнению со льдом того же поперечного измерения, но другого времени года (даже зимы). Явление же текучести материала как-раз характеризует его упругие свойства. Следовательно наши предположения о повышенном сопротивлении осеннего льда совершенно справедливы и подтверждаются самой практикой. Отсюда вывод: если лед используется как материал, причем его упругие свойства имеют значение, то желательно образовать его, примерно, в таких же условиях, как образовывается осенний лед. Условия же эти заключаются в образовании льда не замерзанием одного слоя воды к другому, уже замерзшему, а грушировкой отдельно образовавшихся колоний кристаллов льда. Кроме того так же важны и температурное состояние воздуха, скорость перемещения воды (в реке) и т. д.

Что кристаллы осеннего льда весьма плотно соединены друг с другом, доказывается на практике еще глушением рыбы через лед. Глушение заключается в том, что над местом, где стоит рыба, ударяют деревянным молотком по льду, и рыба, находящаяся близко к нижней поверхности льда, оглушается ударом и сносится течением вниз по реке, двигаясь все время подо льдом. Для добычи рыбы (преимущественно налима) таким образом обычно ходят вдвоем, причем на обязанности одного из охотников лежит пребывание прорубей ниже места удара. Через прорубь рыба и извлекается. Повидимому вследствие плотной спайки кристаллов звукопроводность льда велика вообще, а осеннего, в особенности.

В начале этого параграфа нами было отмечено, что лед особенно прочно примерзает к деревянным корпусам судов. Это явление также вполне объяснимо, если принять во внимание, что плававшее судно имело значительный запас влажности в своей деревянной обшивке. Заключенная в поверхностных слоях дерева вода замерзает одновременно с замерзанием окружающей его воды реки. Получается довольно значительная величина сцепления льда с корпусом. Металлические же корпуса судов, не имея пористости на своей поверхности, примораживают лед с гораздо меньшим сцеплением.

Говоря о выморозке, мы упоминали почти исключительно о температурных трещинах льда, так как деформации ледяного поля при колебании горизонтов воды в реке обычно сводятся или к подъему всего покрова (ледяного) в данном участке, подтопляя береговую полосу и не вызывая особо вредных усилий для корпусов судов, или же к опусканию середины ледяного покрова при данной ширине залива. Опускание сопровождается увеличением сжимающих усилий в верхних слоях льда и растягивающих — в нижних. При появлении этих трещин можно наблюдать наличие воды поверх льда.

Влияние весенних лучей солнца начинает сказываться в начале апреля: наблюдается побурение снегового покрова, лежащего на льду, и появление в некоторых местах наледей вследствие частичного таяния снега. К середине апреля почти не остается толстого снегового слоя, так как таяние его идет весьма интенсивно. Так же интенсивно идет и процесс испарения воды в течение дня. Превращение снега в воду, а воды — в пар не оставляет значительного остатка от растаявшего снега на льду. Кроме того, испарение сопровождается охлаждением окружающей среды, а потому как бы задерживает самое таяние коренного ледяного покрова. Как только весь снег, лежащий на льду, будет превращен в воду, т. е. поверхность самого льда получит возможность принимать лучи солнца непосредственно, начинается его интенсивное таяние. Этот момент характеризуется явлением поздравотости льда. Поверхность льда покрывается выходами небольших канальчиков, как бы прорезывающих всю его толщу. Получается такое впечатление, будто природа, имея необходимость ускорить процесс таяния льда, стремится отвести продукт таяния — воду — к нижним слоям льда, оставляя верхнюю его поверхность открытой и подверженной действию солнечных лучей. Все увеличивающаяся интенсивность таяния превращает лед в губку, напичканную водой. Он становится весьма хрупким, теряет свойства вязкости и упругости. Подъем воды в реке производит неравномерный подъем ледяного покрова вследствие различной его насыщенности водой. Неравномерность подъема заставляет лед разделяться на довольно значительные ледяные поля, которые впоследствии раскалываются на ряд отдельных льдин. Наблюдения над весенним льдом в точности подтвердили наличие сквозных канальчиков в толще льда, так как можно было совершенно ясно видеть, что отдельная льдинка набрана из вертикальных стержней, весьма похожих на длинные иглы. При желании расколоть льдину всегда получалось отделение одного ее куска от другого по плоскостям спайности этих игл. Их образование, как указывалось выше, можно объяснить движением нагретой солнцем воды (как продукта таяния) через лед.

В противоположность ледоставу таяние льда на р. Иртыше начинается с верховьев и распространяется вниз по реке. Весенний ледоход представляет очень интересную и мощную картину этого момента. Вся река покрыта слоем движущихся льдин. Так как льдины, находящиеся в разных местах реки (по ширине), движутся с различными скоростями, то над рекой стоит шум от трения льдин друг о друга. На-глаз заметно наличие больших скоростей на фарватере и меньших в прибрежных участках реки или в плесах. Подходя к препятствиям в виде дамбы или ледорезов, льдины под напором лежащих выше ледяных участков поднимаются по ребру ледореза и либо соскальзывают с него, либо под влиянием собственной тяжести ломаются на более мелкие части и проходят дальше.

В момент весеннего ледохода наступает самый ответственный момент отстоя судов в затоках. При повышенных горизонтах реки, а следовательно и при увеличенных расходах, вода, еще не успев залпть пойму, движется с увеличенными скоростями. Масса льда, двигаясь вместе с водой, стремится сорвать плохо защищенные суда с места, и иногда приводит их в полную негодность, разрушая обшивку корпуса. Если осенний лед, обладая значительной вязкостью и режущей способностью, может повредить судно, производя местные выбоины в корпусе, то весенний лед,

имея значительную массу и большие скорости перемещения, обладает громадным запасом живой силы, которая не всегда может быть погашена принятыми мерами, а также и способностью судна сопротивляться этим разрушающим воздействиям. Были случаи, когда баржи слабого крепления раздавливало буквально как орех, ломая все крепления. Отсюда следует сделать такой вывод: весенний ледоход может быть гораздо опаснее осеннего для судов, стоящих в незащищенных участках реки. Затоны же, если они образованы между берегом и противолежащим островом, должны обладать в своих верховых участках вполне надежными ледозащитными сооружениями, правильно расположенными и могущими вынести натиск массы движущегося льда.

В первых числах мая (между 1 и 5) в Омске приходят первые верховые пароходы, движущиеся за льдом. Весенний ледоход в описываемом участке сопровождается обычно S и SW ветрами ниже средней силы.

ПО ВОПРОСУ О ПОСТАНОВКЕ ОПЫТОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ЛЬДА.¹

Опыты предполагается поставить в двух направлениях:

1) для измерения статического давления ледяного покрова и 2) для измерения ударов льда во время ледохода.

1. Можно думать, что давление неподвижного льда на стенки водоема не зависит от величины последнего, а обусловлено случайными быстрого повышения температуры, когда тепловое расширение льда не успевает компенсироваться релаксацией (пластической деформацией без изменения внешних размеров). Поэтому для его наблюдения и измерения должен быть построен вблизи ледовой станции прямоугольный водоем, ограниченный каменными или бетонными стенками, в которые вделываются динамометры минимального перемещения. Последние строятся по схеме, показанной на рис. 1.

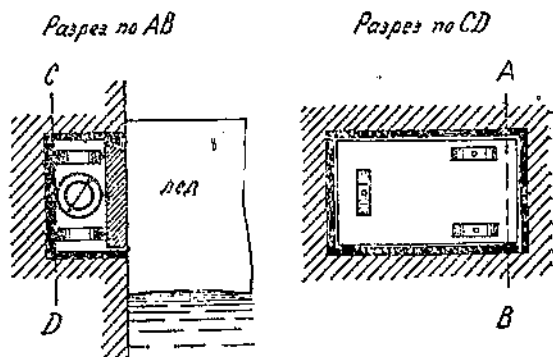


Рис. 1. Схема прибора для измерения статического давления ледяного покрова.

В стену заделывается стальной ящик на уровне ледяного покрова. Крышка, втопленная в ящик заподлицо со стенками, опирается на дно в трех точках с помощью струнных кольцевых динамометров типа ГФТИ. Динамометры снабжены струнами, натянутыми по диаметру, высота строп которых служит мерой нагрузки на кольцо и измеряется с помощью разрабатанных в ГФТИ методов. Устройство колец и струн из одного и того же материала (сталь) обеспечивает независимость показаний от температуры. Заворы между крышкой и стенками ящика перекрываются тонкой упругой пластинкой, обеспечивающей водонепроницаемость. Динамо-

¹ В настоящей заметке указываются лишь возможные основные принципы проектирования динамометрической установки. Конструктивное же ее осуществление естественно потребует значительного усложнения и быть может частично даже коренного изменения. Важный вопрос о числе, размерах и взаимном расположении динамометров оставлен здесь пока также без рассмотрения.

метры устраиваются наибольшей жесткости; допускаемая их деформация и степень вызываемой ею ошибки могут быть вычислены заранее. Таких динамометров желательно установить до 8, по 2 с каждой стороны водосма.

Такие же приборы можно вделать и в искусственные сооружения (например в каменную плотину) на уровне ожидаемого ледостава.

2. Для измерения ударов льда при ледоходе можно идти двумя путями: измерять или собственно силу отдельных ударов, или их живую силу (кинетическую энергию). Первая зависит от жесткости конструкции, получающей удар, и потому не имеет общего интереса. Вторая же определяется исключительно режимом ледохода. В виду небольшой скорости удара расчет напряжений в конструкциях, приготовленных по методу приравнивания живой силы удара потенциальной энергии сооружения, должен давать близкие к действительности результаты. Поэтому представляется целесообразным определить непосредственным измерением величину наибольшей живой силы ударяющих льдин и таким образом получить данные о расчетных динамических нагрузках. Вместе с тем на какой-нибудь опытной конструкции можно было бы проверить применимость указанного метода расчета. Соответственно представлялось бы целесообразным построить по пути изучаемого ледохода (желательно также вблизи станции) следующие две опытные установки:

а) Измеритель живой силы лобовых ударов льдин.

Его можно было бы построить в виде мощного буфера с сильной пружиной, установленного на отдельных возможно жестких свайных кустах на уровне ледохода. Деформация буферной пружины передается на движок реостата, изменяющееся сопротивление которого все время измеряется и регистрируется с берега с помощью какого-нибудь самопишущего аппарата.

б) Измеритель напряжений в элементах ледореза.

Строится деревянный ледорез (статически определенной системы), и на отдельные элементы его натягиваются струны, закрытые водонепроницаемыми крышками (например по типу кессонов). Во время ледохода изменение строя струн непрерывно регистрируется посредством самопишущего прибора (методика еще не разработана, но может быть разработана в случае заказа), что позволяет измерить и напряжение в этих элементах. Если ледорез снабдить еще «измерителем живой силы ударов», описанным выше, то получится возможность сопоставить картину напряжений с картиной ударов и проверить метод расчета.

В случае желания измерить силу ударов на уже возведенные сооружения (каменные мостовые быки, ледозащитные стенки и т. п.), можно вдоль сооружения вделать в кладку на уровне ледохода динамометры, описанные в разделе 1, снабдив их также регистрирующей записью. Однако в виду большей жесткости и потому кратковременности ударов задача изготовления регистрирующего аппарата окажется здесь значительно сложнее.

Вообще следует указать, что если измерение статического давления требует только проектировки и постройки приспособлений и приборов, то для измерения ударов должна быть еще разработана и проверена самая методика измерения, на что может потребоваться от 1 до 2 лет предварительной лабораторной работы.

ОБ УСТРОЙСТВЕ НА Р. НЕВЕ ПОСТОЯННОЙ РАЙОННОЙ ЛЕДОИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ СТАНЦИИ.

1. Предварительные указания.

Значение систематического исследования зимнего режима замерзающих рек общепризнано. Это общее признание стало особенно актуальным с быстрым развитием строительства гидроэлектрических установок. По отношению к ним лед оказывает различные действия. С одной стороны, он давит на сооружения, вызывает закупорку труб и иных отверстий, обуславливает примерзание щитов и производит другие неблагоприятные последствия эксплуатационного характера. С другой стороны, ледяной покров может благоприятствовать правильному движению в силовой установке воды в тех или иных пределах.

Для освоения отмеченных выше, а также других ледовых явлений, связанных с задачами водоснабжения, транспорта и пр., нужно искать наилучшего способа изучения зимнего режима замерзающих рек в целом. Многочисленные спорадические работы в этом направлении, исполненные у нас и за границей, при всей ценности полученных результатов показали необходимость организации непрерывных наблюдений, охватывающих все фазы явлений в течение ряда сезонов при переменных общеметеорологических условиях климата. Для понимания ледовых явлений, происходящих в данном пункте реки и в данный момент, нужно знать, что им предшествовало во времени и пространстве. Такие наблюдения под силу только постоянным организациям, т. е. научно-исследовательским станциям.

Одной из рек, где ледовая научно-исследовательская станция могла бы быть устроена с наибольшим основанием, является р. Нева. Ее небольшая длина, разнообразие гидрологических условий вод, обнимающих озера, собственно реку, дельту и эстуарий, наличие притоков, впадающих непосредственно и через посредство озер, важное значение реки — транзитное, промышленное и бытовое, положение в районе Ленинграда и его научных учреждений и пр. — все это делает р. Неву необыкновенно благоприятным местом для глубокого изучения ледовых явлений в указанном порядке.

До настоящего времени ледовые явления р. Невы неоднократно останавливали на себе внимание различных учреждений и отдельных лиц, вызывая те или иные исследования и приводя к ценным трудам, касающимся ледового режима р. Невы или общих вопросов льдообразования. Среди таких исследований должны быть отмечены исполненные

б. министерством путей сообщения,¹ б. с.-петербургской городской думой,² Государственным гидрологическим институтом,³ Государственным географическим обществом,⁴ Главной физической обсерваторией⁵ и отдельными изыскательскими партиями.

Может возникнуть вопрос: не дали ли уже исполненные на р. Неве ледовые исследования исчерпывающих результатов, делающих дальнейшие систематические наблюдения ненужными? На этот вопрос приходится ответить отрицательно. Ни по своим узким задачам, ни по условиям выполнения предшествующие работы таких результатов не дали и дать не могли. Таким образом при всей своей пригодности для глубокого и всестороннего изучения зимнего режима рек Невы еще надолго будет богатым источником для наблюдения всякого рода, связанных с таким изучением.

Для доказательства обоих высказанных положений следует остановиться на главнейших исследовательских работах в области зимнего режима, исполненных на р. Неве в разное время. Эти работы касаются главным образом среднего течения р. Невы и лишь слегка ее других частей. Соответствующие данные приводятся далее в последовательном порядке, начиная с истока р. Невы из Ладожского озера. Не лишено серьезного значения и то обстоятельство, что главные припоки Ладожского озера в отношении изучения ледового режима были предметом серьезного внимания, не ослабевающего и ныне.

Представляется важным несколько охарактеризовать и отношение к указанным вопросам хотя некоторых из научно-технических организаций, посвящавших им свое внимание до настоящего времени, а также остановиться на перспективном значении ледоисследовательских работ для предстоящего гидротехнического строительства в северных частях СССР.

1 М. Ф. Ционглинский, О наблюдениях над замерзанием р. Невы и исследовании закоров на ней, произведенном в 1903 г. по поручению правления с.-петербургского округа путей сообщения, Доклад Съезду деятелей по водяным путям, «Сборник СПб округа путей сообщения», выпуск 8, 1906 г. и «Известия собрания инж. путей сообщения», 1906 г.; В. Е. Тимонов и М. Ф. Ционглинский, Устройство плотин при больших намерзаниях расхода воды и сильных ледоходах для возможности одновременного удовлетворения интересов судоходства и промышленности, Труды XI Международного судоходного конгресса в Брюсселе, нем., франц. и англ. языках в Брюссельском издании, 1908 г. и на русском СПб, 1909 г.; И. И. Владимиров, Условия замерзания р. Невы, возможность продлить навигацию и предупредить образование подводных затворов льда, Доклад X Съезду деятелей по водяным путям, 1904 г.; И. И. Владимиров, Новые понятия о процессах замерзания рек и образовании зимних затворов льда, 1907 г.; В. М. Лохтин, Ледяной нанос и зимние затворы на реке Неве, Изд. упр. внутр. водн. путей и лесосейн. дорог, 1906 г.

2 М. И. Алтухов, По вопросу об обмерзании водоприемных труб СПб водопровода, Доклад II водопроводному съезду, 1895 г.; «Известия СПб гор. думы», № 25, 1894 г.; И. А. Ячевский, Материалы по вопросу образования донового льда; В. И. Шихидер, Отчет по физико-географическому исследованию юго-западного района Ладожского озера, произведенному в 1906—1907 гг. для целей СПб водопровода;

В. Я. Альтберг, Донный лед. «Известия СПб гор. думы», 1916 г.

3 В. Я. Альтберг, Новое о природе донового льда, «Известия гос. гидрологического института», № 1—3, 1921 г.

4 Русское географическое о-во, Объяснительная записка и программа по собиранию сведений о донном льде. Отчет комиссии под председательством академика Чернышева по изучению донного льда и ее работы 1904 г. «Извест. русск. геогр. о-ва», 1906 г.

5 В. Я. Альтберг, Исследование донного льда в лабораторных и природных условиях, «Геофизический сборник», т. 3, 1916 г.

2. Ледовые явления на среднем течении р. Невы и на подходах к Ленинграду.

Ледовые явления на среднем течении р. Невы и на подходах к Ленинграду были предметом наблюдения с давних пор вследствие их практического значения для столицы и ее окрестностей. От времени до времени предпринимались и некоторые научные исследования этих явлений. Сохранились в б. министерстве путей сообщения остатки произведенных в 1828—1924 гг. работ этого рода в виде профилей с показанием ледяного покрова и приставшего к нему шороха.¹ Наиболее обстоятельное изучение ледовых явлений на указанном участке реки было исполнено в 1902—1904 гг. — в целях выяснения методов борьбы с ледовыми наводнениями — по поручению и под руководством автора инженером М. Ф. Ц и о н г л и н с к и м.² Из собранных им исторических данных и сделанных лично им же тщательно обработанных наблюдений усматривается следующее.³

Сравнение записей водомерных постов на р. Неве у Рожковской пристани и у села Ивановского показывает, что ежегодно при образовании ледяного покрова осенью в этих местах реки получается более или менее значительное повышение уровня, причем в некоторые годы уровень спадает тотчас же после ледостава до меженной высоты, а иногда высокая вода удерживается до весеннего ледохода. Это повышение происходит как следствие зажоров, образовавшихся при ледоставе. Главнейшие зажоры в течение 20 лет, предшествовавших упомянутым исследованиям, происходили в 1888, 1895, 1900, 1902 и 1903 гг. При этом подпором воды затоплялись нижние берега р. Невы и ее притоков, а также некоторые мастерские расположенные в этом районе заводов.

В виду бедствия, причиняемого зажорами прибрежным жителям и заводам, правление СПб округа путей сообщения и решило исследовать зажор 1902—1903 г. К исследованию приступлено в феврале 1903 г. после сильной оттепели. Промеры выяснили, что на протяжении около 6 верст (от 5-й до 11-й версты выше Литейного моста)⁴ под ледяным покровом реки, имевшим в среднем толщину 1—1,5 арш., находится клейкая густая снегообразная масса льда (шорох). Шорох этот настолько плотен, что пробивать его деревянным двухвершковым шестом оказалось затруднительно и пришлось сделать коническую оковку диаметром по верху 4 вершка (0,17 м). После пробития таким инструментом шорох настолько быстро сдавливался, что гиря в пуд (16,4 кг), опущенная вслед за вынутым шестом, застревала в шорохе и не могла пройти его днаковозь. В шорохе попадались иногда и отдельные льдины, которые приходилось или отталкивать, или пробивать пеньями. Толщина шороха определялась при вынимании шеста из лунки. За предел шороха считалось то место, где верхняя горизонтальная полка оковки задевала за шорох и пред-

¹ В. М. Л о х т и н, Ледяной панос и зимние заторы на р. Неве, изд. Упр. вл. водных путей и шоссе.н. дорог, 1906.

² М. Ф. Ц и о н г л и н с к и й, О наблюдениях над замерзанием р. Невы и исследованием заторов на ней (см. выписку на стр. 178). — В этом труде, равно как и в других, датированных в настоящем изложении, терминология видов льда не имеет еще той степени устойчивости, которую она приобрела впоследствии (хотя все еще недостаточную).

³ В. Е. Т и м о н о в и М. Ф. Ц и о н г л и н с к и й, Устройство плотин при больших сечениях расхода воды и сильных ледоходах (см. выписку на стр. 178).

⁴ Для точности сохраняются цифровые указания измерений подлинника в русских мерах.

ставляла препятствие вытаскиванию льста. На указанном протяжении шорох залегал сплошной массой толщиной от 1—3½ саж., причем наибольшей толщины достигал на 6-ой версте (выше Литейного моста), где шорох и лед занимали 50% живого сечения реки (рис. 1). Такое накопле-

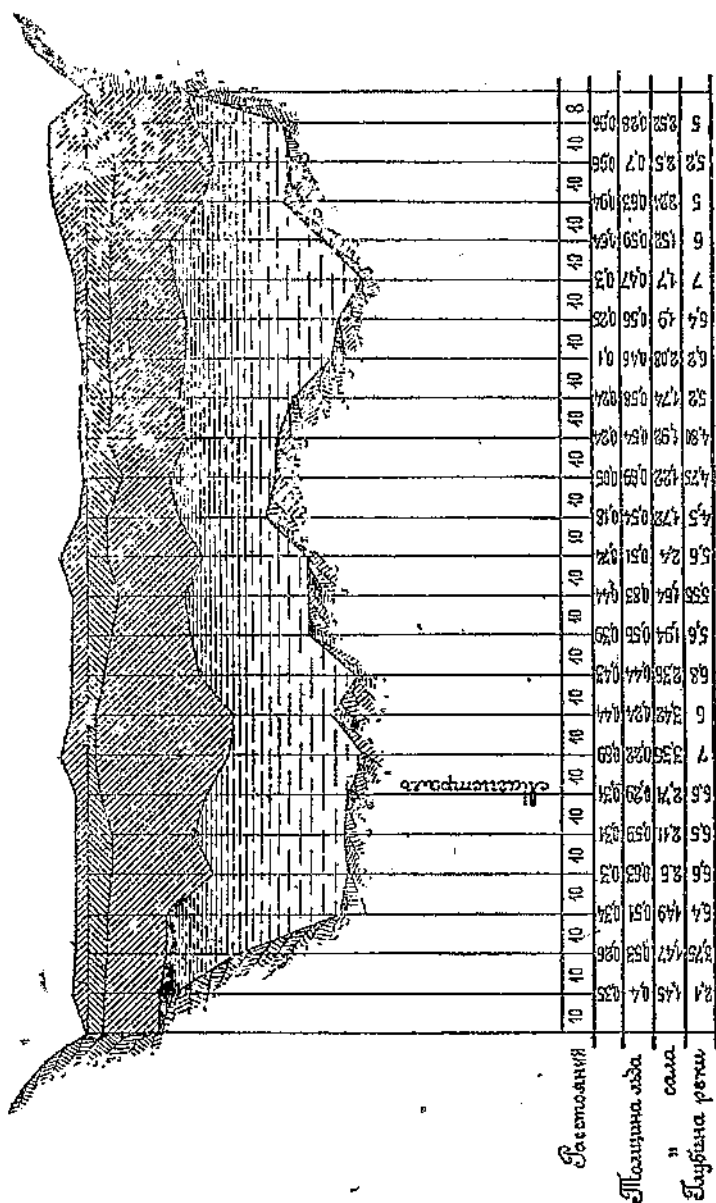


Рис. 1. Поперечный профиль р. Невы, снятый в феврале 1903 г. (размеры в саженях = 2,13 м).

ние шороха вызывало повышение уровня воды и объясняется то обстоятельством, что вода на р. Неве выше запора держалась всю зиму до самого начала весеннего ледохода на уровне, превышающем ординар. Распределение шороха на р. Неве, обнаруженное во время февральских изысканий 1903 г., показано на продольном разрезе реки (рис. 2).

Дальнейшие изыскания производились осенью 1903 г. Результаты наблюдения скопления льда нанесены на поперечных и продольных профилях и на плане, где толщина скопившегося шороха изображена при посредстве линий равной глубины (рис. 3—6). Большое количе-

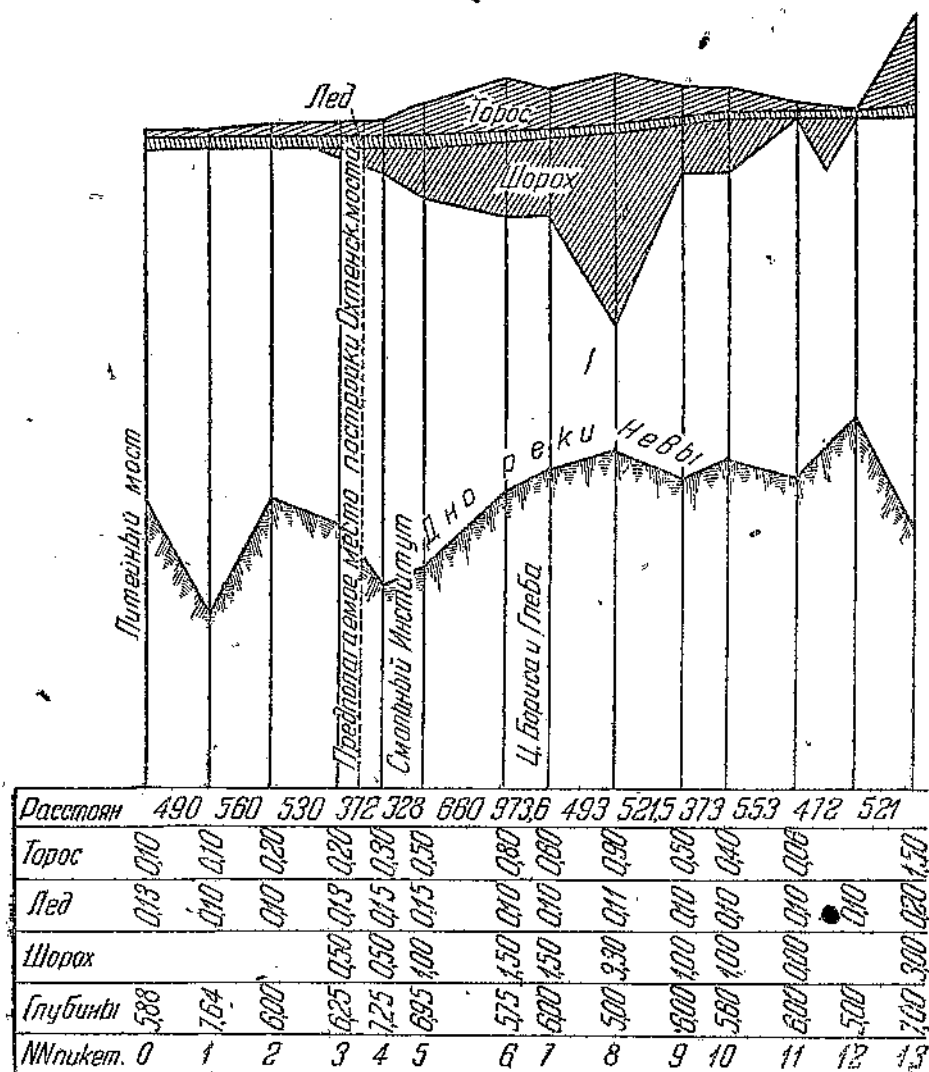


Рис. 6. Продольный профиль р. Невы, снятый в декабре 1903 г. (размеры в сантиметрах = 2,13 м).

ство шороха, найденное подо льдом в самом конце зимы, и его характер, показывали, что этот шорох не мог образоваться исключительно от истираний пришедших из Ладожского озера льдин. Вследствие этого возникало предположение, что здесь имеется налицо образование донного льда подобно тому, как это наблюдалось и на других реках.

Осенью 1903 г. при новых исследованиях замерзания р. Невы и за-

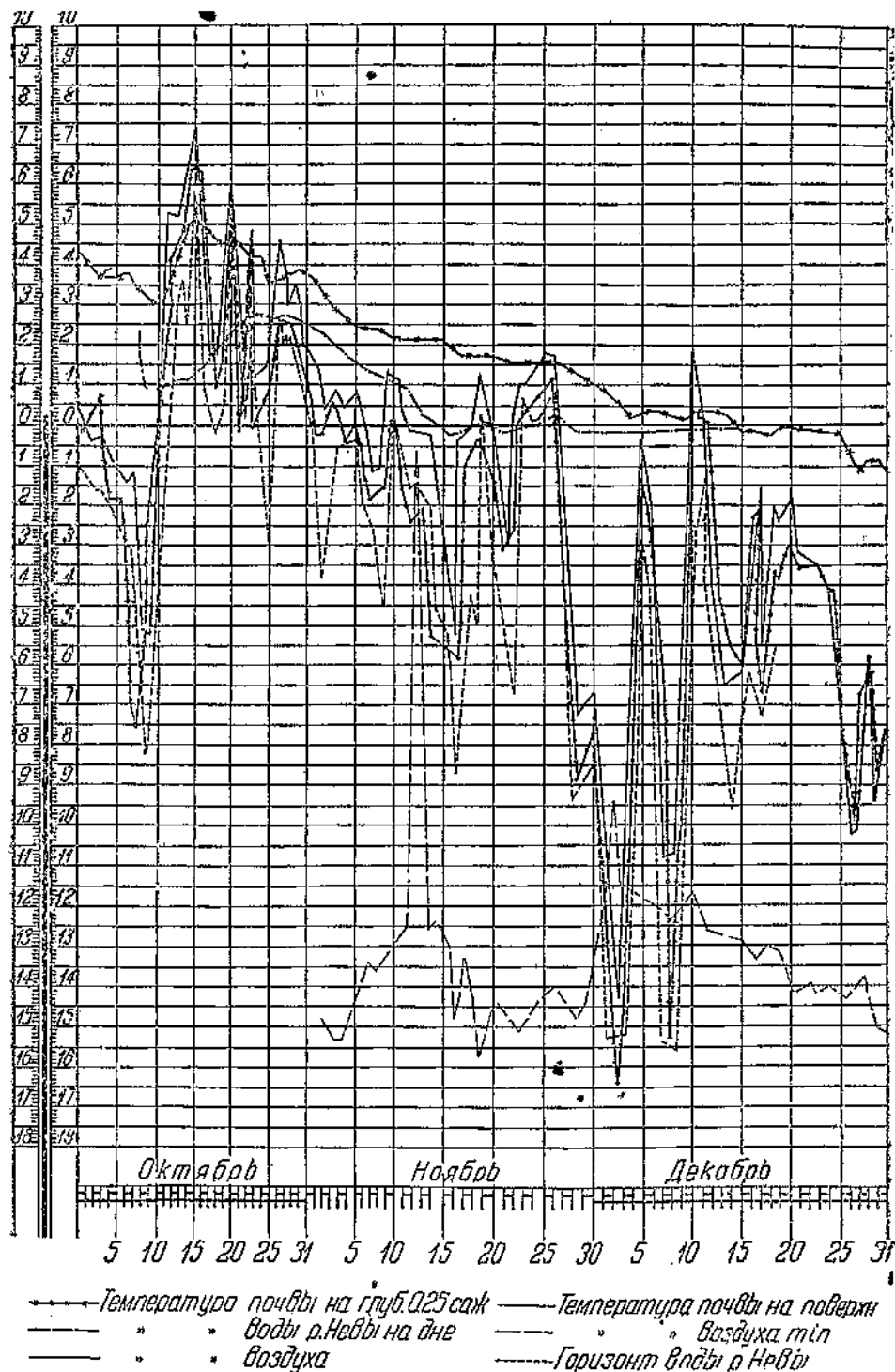


Рис. 7. График колебания суточных температур воздуха, воды и почвы, а также горизонта воды р. Невы за октябрь, ноябрь и декабрь 1903 г. СПб (Ленинград).

дались целью выяснить, образуется ли донный лед на этой реке и при каких условиях. Для этого с начала октября производились наблю-

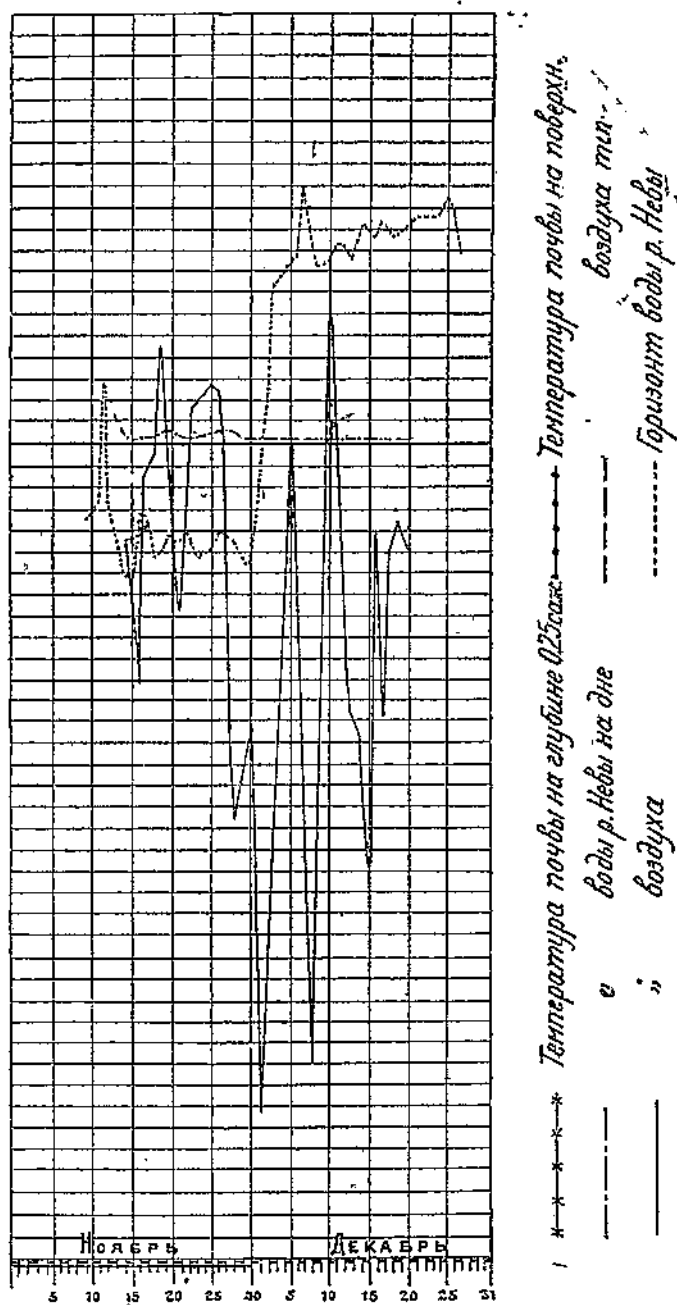


Рис. 8. Графики колебания суточных температур воздуха, воды и почвы, а также горизонты р. Невы за октябрь, ноябрь и декабрь 1908 г. Ивановские порог.

дения над температурой воды реки у истока ее из Ладожского озера возле г. Шлиссельбурга и в пределах Ленинграда на 6-й версте выше Литейного моста. 1 ноября был устроен третий наблюдательный пункт



Рис. 4 и 5. План р. Невы с линиями ровной толщины льда и шорога по изысканиям, выполненным в декабре 1903 г.

(Относительно цифровых указаний см. выписку 4 в § 2.)

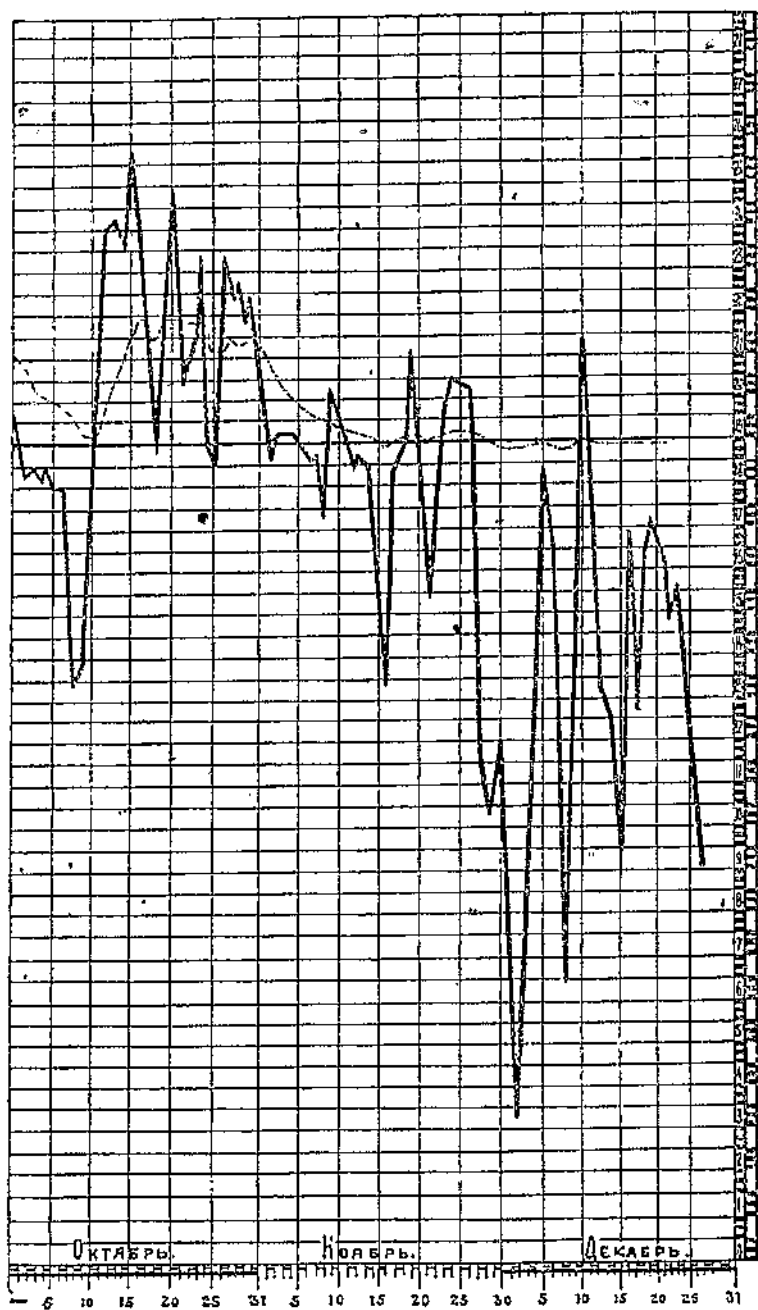


Рис. 9. График колебания суточных температур воздуха и воды за октябрь, ноябрь и декабрь 1903 г. Шлиссельбург.

в порогах на 35-й версте. Одновременно с измерением температуры воды наблюдались температура воздуха и другие метеорологические явления (рис. 7—9).

В связи с колебанием температуры наблюдались следующие явления:



Рис. 10. Корзина, всплывшая со дна на поверхность и покрытая донным льдом.

15 ноября при тихом юго-западном ветре у Шлис-сельбурга показалось сало и мелкий лед, который продолжал идти весь день и 16 ноября. 15 ноября ледоход начался у Ивановских порогов при средней суточной температуре воздуха $-4,2^{\circ}\text{C}$. 16 ноября в 8 часов утра там же была замечена всплывшая на поверхность воды рыбачья сеть. Сеть была поставлена в стороне от сильного течения ниже порога в расстоянии 35—40 саж. (74,7—85,3 м) от левого берега при глубине воды в 2,7 саж. (5,9 м) и доходила до поверхности воды на 0,75 саж. (1,6 м). Всплывшая на поверхность сеть была сложена в несколько раз, и вся ткань была пронизана мелкими тонкими ледяными пластинками. 22 ноября днем была с глубины 1,5 саж. (3,2 м) вынута из воды корзина на 6-й версте, причем оказалось, что корзина, а также и веревка, на которой она была опущена, были покрыты ледяными кристаллами прозрачной (рис. 10). 29 ноября опущенная на том же месте на большую глубину корзина всплыла на поверхность воды вместе с привязанным к ней камнем, причем привязкой канат длиной в 25 саж. (53,3 м) лежал на поверхности реки, вытянувшись под некоторым углом по направлению ее течения (рис. 11).



Рис. 11. Корзина, погруженная на глубину 3,2 м (1,5 саж.), покрытая пластинками прозрачного льда.

Такие же явления всплывания на поверхность воды предметов, опущенных на дно, замечались у Ивановских порогов и около Шлис-сельбурга. Кроме описанных выше случаев образования донного льда, вызванного искусственно, одновременно наблюдались и явления его естественного образования. 22 ноября у села Ивановского много донного льда всплыло на поверхность воды, причем этот лед заключал в себе значи-

тельное количество водорослей и донной травы и имел тот же характер, как и лед на сетях и других предметах, опускаемых на дно. Кроме водорослей и травы, в комьях льда, доходивших в диаметре до 0,3 саж. (0,6 м), было много песка, камешков, комьев глины и др. (рис. 12).

30 ноября в вечеру река стала у Литейного моста, а к трем часам дня 2 декабря ледостав дошел до устья р. Славянки, так что с этого времени наблюдения над образованием донного льда могли производиться лишь у Ивановских порогов. Наблюдения в течение декабря вполне подтвердили указания прежних, причем образование льда на дне реки становилось все интенсивнее.

13 декабря замечено, что все сваи и горизонтальные схватки, находившиеся у левого берега реки на порогах и все время бывшие под водою, покрылись довольно толстым слоем льда, представлявшим в воде светлые полосы и пятна. Такие же полосы и пятна были и на дне реки. При опускывании дна багром легко было ощущать, что оно покрыто слоем донного льда, причем даже слышно было характерное шуршание его. Куски льда удавалось отрывать багром от дна, и тогда они с шумом поднимались на поверхность реки.

На следующий день было замечено еще большее количество льда на дне, и можно было предположить, что вода текла как бы в ледяном русле. В этот день очень часто в разных местах реки поднимали со дна разной величины куски донного льда. Некоторые куски по величине доходили до нескольких кубических сажаней. Они выскакивали на поверхность с такой силой и с таким шумом, что даже издали обращали на себя внимание. Лдины поднимались на пол-аршина выше поверхности воды. В момент выскакивания они были желтоватого цвета воды, но затем вода, пропитывающая лед, стекала вниз, и льдина в части своей над водой принимала вид белоснежной массы. После нескольких качаний льдина приходила в равновесие и уплывала вниз. В следующие дни замечались те же явления образования донного льда, причем температура воды все держалась около 0°.

27 декабря Ивановские пороги покрылись льдом.

Следует обратить внимание, что в период производства наблюдений ни разу не выпал снег в сколько-нибудь значительном количестве. Этим устраняется возможность каких бы то ни было предположений, что наблюдаемые на воде снегообразные массы произошли от смешения снега сводою.

Описанные наблюдения доказали, что на р. Неве осенью при наступлении морозов образуется значительное количество донного льда. Донный лед образуется как в тех частях реки, где течение весьма быстро, так и в частях реки со средней и с очень малой скоростью течения. Так



Рис. 12. Куски донного льда, всплывшие на поверхность воды.

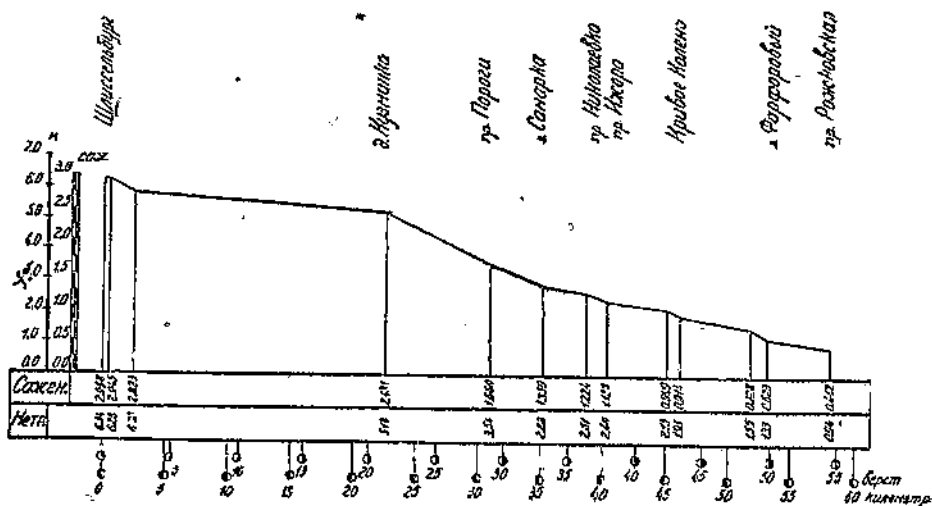


Рис. 13. Продольный профиль р. Невы.

Называемый донный лед образуется не только на дне реки, но и между дном и поверхностью, если только в данном месте имеется какое-нибудь препятствие течению воды. Что касается пунктов, в которых на р. Неве образуется донный лед, то хотя произведенные наблюдения доказали, что таковой может образоваться везде, где только встречаются подходящие условия, однако же главным местом образования донного

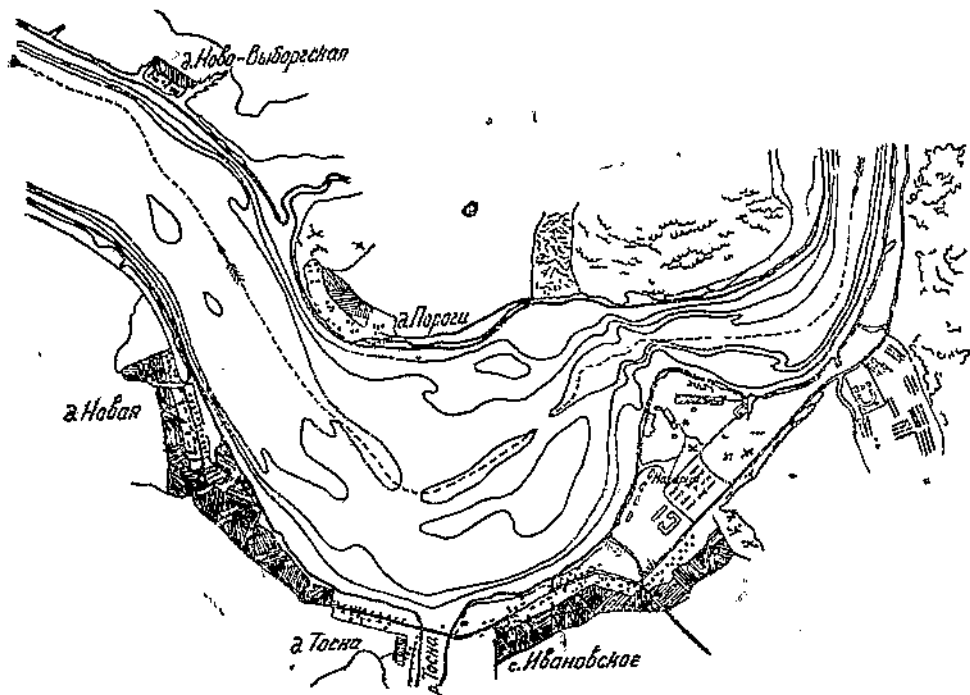


Рис. 14. План порожиной части р. Невы.

льда были Ивановские пороги, где наблюдалось все время массовое образование его (рис. 13 и 14).



Рис. 15. Донный лед, замерзший на поверхности льдин.



Рис. 16. Кусок веревки с дождем льдом.

Наблюдения у Ивановских порогов производились затем в ноябре и декабре 1904 г. В общем картина образования донного льда получилась



Рис. 17. Кусок дерева, опущенный в воду и облепленный донным льдом.

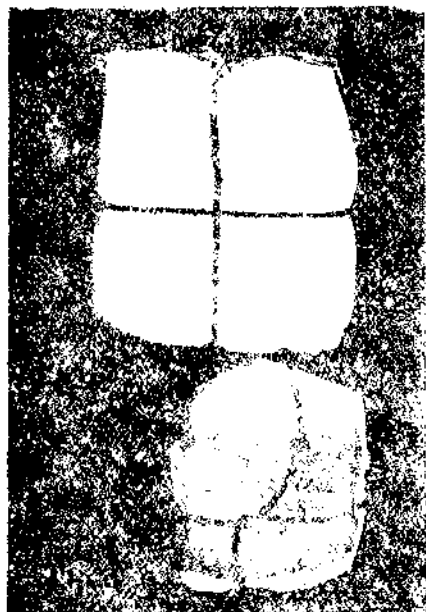


Рис. 18. Бутылки, вынутые из воды: правая была обернута льдом, левая — нет. — Справа — облепленная льдом.

та же, как и при наблюдениях 1903 г., причем некоторые условия образования донного льда выяснились более подробно.

Донный лед образуется как днем, так и ночью; небольшая елка, бро-

шенная на дно реки теплой после захода солнца, всплыла на поверхность воды, поднятая силой облепившего ее донного льда еще до восхода

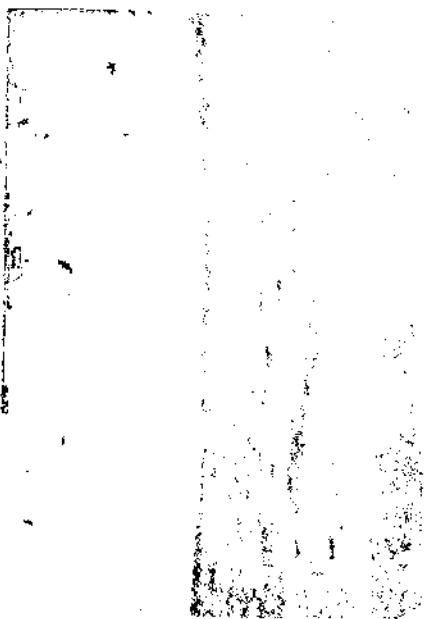


Фиг. 19. Направо — кусок облепленного льда; налево — точно такой же по величине кусок, отказавший при погружении в р. Тосну.



Фиг. 20. Такие же куски льда, что и на рис. 19, опущенные в р. Нева и облепленные донным льдом.

солнца на следующий день. Такие явления замечались как в ясные и морозные ночи (с 2 на 3 ноября: температура воздуха — $8,0^{\circ}$, вода на поверх-



Фиг. 21. Плынувший по реке донный лед.



Фиг. 22. Постепенное образование донным льдом колонии в порогах.

ности — $0,02^{\circ}\text{C}$, на дне $+0,03^{\circ}\text{C}$), так и в пасмурные ночи (с 3 на 4 ноября: температура воздуха — $7,0^{\circ}$, вода на поверхности и на дне $+0,03^{\circ}\text{C}$).

Образование донного льда происходило на самых разнообразных мате-

риалах, опускаемых на дно: на камнях, кирпичках, пакле, дереве, водорослях, стекле и металлах. Самое быстрое образование донного льда замечалось на белом цинковом ведре и в такое время, когда на канате, на котором ведро было опущено в воду, не было еще никаких признаков льда.

Камни, которыми усеяно дно р. Невы у Ивановских порогов, покрываются

Фиг. 23. Оставшиеся после ледостава нагромождения ледяных глыб и донного льда.

донным льдом прежде всего со стороны течения; затем донный лед нарастает все выше и выше, распространяясь и на верхнюю часть камней, образуя на них род шапки, наклоненной по течению. Иногда донный лед поднимается до самой поверхности воды, образуя таким образом

ледяной остров на реке. Сторона камня, обращенная вниз по течению реки, не покрывается льдом. Это явление наблюдалось только на больших камнях; мелкие же камни покрываются льдом сплошь.

Дно реки, покрытое водорослями, способствует весьма обильному образованию донного льда, он сплошь покрывает все дно, значительно возвышаясь над водорослями.

Более поздние наблюдения В. М. Лохтина, произведенные в 1904—1905 гг. попутно при общих изысканиях р. Невы и носившие дополнительный характер к работам М. Ф. Ционглинского, вполне подтвердили выясненную картину (рис. 15—23). Особый интерес

Рис. 24. Общий вид ледоисследовательской установки В. М. Лохтина в Лесном

представляет устройство небольшой ледотехнической лаборатории для искусственного воспроизведения ледовых явлений (рис. 24 и 25). Исполненные в ней опыты привели В. М. Лохтина к окончательному



Рис. 25. Желоба с отложившимися на деревянных порогах нанесенным льдом.

убеждению, что так называемый «донный» лед образуется на поверхности воды и лишь впоследствии прикрепляется ко дну и другим предметам.¹ Но дискуссия по этому вопросу не входит в задачи настоящей работы

3. Ледовые явления в Ладожском озере.

По отношению к ледовым явлениям в Ладожском озере имеются очень скудные данные, собранные не без труда Л. В. В л а д и м и р о в ы м². По этим данным все озеро никогда не замерзает. Место, где озеро не покрывается льдом, находится верст на 15 или 20 на север от мыска Сухо, имеет продолговатый вид и вытянуто с запада на восток верст на 40—50, при ширине верст 10—15. На небе против этого места всегда стоит темное пятно, которое хорошо видно днем и ночью. Донный лед и мелкий верховой одинаково называются «свинцом» (рыбаки говорят — тяжелый как «свинеп»).

Осенью он появляется сначала на каменистых грядках и крупном песчаном грунте глубиной от аршина до трех, бывает разбросан очень редко по дну и часто всплывает. В это время вода делается мутною, — каждая губка свина увлекает за собою песок и мелкий гравий. Когда свин лежит на дне, то кажется комком снега, но, всплывая, оказывается сло-

¹ В. М. Лохтин, Ледяной панос и зимние заторы на р. Неве.

² Л. Л. Владимиров, Новые понятия о процессах замерзания рек и об образовании зимних заторов льда, 197 г.

женным из мелких пластинок. Свин увлекает за собою все находящееся на дне: например, намокшие дрова, бревна, снасти, камни весом до 15 фунтов (6 кг) и более, железо, болты, якоря и т. п.; со всеми этими предметами свин легко поднимается к верхнему льду, где и примораживается. Свин бывает и на трехсаженной глубине, чаще на каменистых местах. Глинистый грунт совсем не имеет свина.

Всплывший свин сносит ветром в одно место, и там он смерзается, образуя сплошную верховую льдину. Маяк Сухо находится в 27 верстах от южного берега, и всюду возле него поднимается свин.

На песчаном грунте свин сплошным слоем не ложится, а на каменистом расстилается сплошным ковром. В это время вода удивительно прозрачна, так как свин не дает подниматься никакой грязи. При морозе этот ледяной ковер лежит недели две и три, но при оттепели или большом снеге тотчас же всплывает. На мелких местах свин нарастает вершков на 8 (35 см) и чем глубже, тем тоньше. На глубине более трех сажень свин можно видеть только всплывающим тонкими пластинками наподобие сплосы со сквозными дырочками. В северной части озера свина совсем не бывает, так как там глубоко. Если поставить сети зимой (подо льдом) в расстоянии 1—2 верст от полового места и подует сильный ветер от полыньи, то в сети набирается столько мелких иголочек, что сети поднимаются к верхнему льду.

Откуда берется этот свин, объяснить трудно, но при тихой погоде и другом ветре (не от полыньи) его не бывает. Осенью куски всплывающего свина бывают величиной до кубического полуаршина. Вообще признается более или менее установленным наличие в Ладожском озере донного льда до глубины 8,5 м, хотя его происхождение не выяснено.¹

По словам рыбаков, донный лед поднимается со дна во время первых сильных морозов, и всплывание его замечается до самого ледостава. Очень часто он всплывает в местах, совершенно свободных от поверхностного льда, и главным образом там, где дно усеяно камнями; песчаное дно не так благоприятно для его образования. Рыбаки указывают на факт, что в тех местах на озере, где имеется песчаное дно, лед зимою сравнительно очень тонок, и там нередко образуются полыньи.

Донный лед, по словам рыбаков, бывает двух родов: а) он поднимается небольшими комьями, представляющими как бы соединение маленьких льдинок, пропитанных водою с примесью песка, или с маленькими камешков, или же б) всплывает в виде небольших отдельных льдинок-чешуек, очень тонких, и в виде продолговатых тончайшего вида кристаллов, также с примесью грунтовых частиц.

Сети и мезежки, которые ставятся рыбаками на глубину от 5 до 7 саж., покрываются в это время обильно чешуйками льда. Это обстоятельство заставляет рыбаков ежегодно следить за появлением донного льда, если они не желают обречь свои снасти на гибель и порчу. Нередки случаи, когда сети при подъеме рвались, не выдерживая тяжести облепившего их льда. Когда же озеро покроется льдом, рыбаки свободно опускают свои сети, не опасаясь вредного действия льда, образования которого не замечают.

¹ В. Е. Тимонов и М. Ф. Циплигинский (см. выноски в § 1).

4. Ледовые явления в приладожских каналах.

Относительно условий замерзания приладожских каналов имеются немногочисленные наблюдения М. Ф. Цпогглинского.¹

На 24-й версте канала б. Александра III был устроен участок для наблюдений над опытной буксировкой судов на приладожских каналах, где производилась нивелировка дна канала. Одна из таких нивелировок производилась в двадцатых числах октября 1904 г. во время морозов, доходивших до -8° . Канал в это время был покрыт льдинами, но сплошным льдом не затягивался, так как этому препятствовали буксирные пароходы, ломавшие лед. Во время нивелировки 24 и 25 октября (температура воздуха -8° , воды $+0,07^{\circ}\text{C}$) при опускании трехсаженной рейки на дно чувствовалось, как она что-то продавливала, а потом свободно проходила слой пла, пока не упиралась в твердое дно канала, причем видно было, как всплывали со дна пластинки льда с илом и грязью. Когда канал покрылся сплошным льдом, вышеописанного явления не замечалось. Факт образования льда на дне канала тем знаменательнее, что на канале не имеется заметного течения; глубина канала около 1,50 саж. (3,2 м).

5. Ледовые явления на реках, питающих Ладожское озеро.

Из рек, питающих Ладожское озеро, исследованиям в отношении ледовых явлений подвергалось пизовье р. Свири еще в конце XIX и начале XX века. Эти исследования не имели официальной организации, были исполнены Л. Л. В л а д и м и р о в ы м по личной инициативе и изложены в его докладе X съезду русских деятелей по водным путям (1904 г.).²

После революции на р. Свири были организованы обширные изыскания в связи с задачами гидроэлектрического строительства, охватывающие собой и зимний режим реки. Эти изыскания продолжают увязываться с ходом работ по постройке Нижне-Свирской (№ 3) государственной районной гидроэлектрической станции. Зимний режим реки Свири охарактеризован в специальном исследовании В. Н. В а л ь м а н а по данным, собранным Свирским строительством в 1928—1930 гг.³

Находящаяся в периоде постройки Нижне-Свирская (№ 3) государственная районная гидроэлектрическая станция расположена на 143 км от истока реки Свири. К маю 1930 г. часть русла, и именно левый проток р. Свири, на месте постройки была закрыта перемычкой. Произведено углубление правого оставшегося открытым рукава реки и частично прорыт судоходный канал с котлованом для постройки шлюза. На водомерных постах, как правило, велось наблюдения над замерзанием и вскрытием реки. Кроме того на отдельных постах и гидрометрических станциях производились в течение всей зимы регулярные промеры толщины снегового покрова, льда и шуги. Специальных наблюдений над образованием донного льда не производилось в виду ненадежности и неподготовленности персонала.

Инструкцией для наблюдений над зимним режимом была установлена твердая терминология явлений. Однако терминология эта чрез-

¹ В. Е. Тимонов и М. Ф. Цпогглинский (см. выписку в § 1).

² Л. Л. В л а д и м и р о в, Образование льда на дне рек, Явления ледохода от всплывания донного льда, Процессы замерзания вод стоячих и текущих, 1904 г.

³ В. Н. В а л ь м а н, Зимний режим р. Свири, Монография, составленная для секции ледотехники гидросектора Государственного института сооружений, 1931 г.

вычайно трудно усваивается наблюдателями и потому не всегда применяется.¹

Для наблюдения над зимним режимом имелись специальные инструкции: 1) инструкция для наблюдения над зимним состоянием рек в районе водомерных постов и над уровнем воды; 2) инструкция по маршрутному обследованию зимнего режима р. Свирь; 3) инструкция для зимних обследований истока р. Свирь и в районе Попова плеса; 4) инструкция для обследования режима реки в районе сооружения.

Наблюдения над температурой воды производились, как правило, на трех гидрометрических станциях в 7, 13 и 21 час. поверхностными термометрами, с ценой деления $0,2^{\circ}$ С. В истоке р. Свирь на Онежском озере велись наблюдения и на различной глубине глубинными термометрами, с ценою деления $0,2^{\circ}$ С.

Водомерные наблюдательные посты обслуживались водомерщиками из местного населения. Подготовленность их в вопросах ледового режима в большинстве случаев была слабая. Наблюдатели стационарных постов имели сравнительно хорошую подготовку для наблюдений за зимним режимом р. Свирь.

Признаками для обнаруживания наличия шуги и донного льда в створах водомерных постов служат непосредственные наблюдения, промеры и металлические сетки. Наблюдения за местами залегания донного льда и его движением велись в истоке р. Свирь, в районе Попова плеса (на 109—112 км) и у места сооружения на 143 км. Ложе реки в истоке — песчано-глинистое, а по мере удаления от истока покрыто отдельными камнями разной крупности. В Поповом плесе грунт крупно-песчаный с галькой и камнями при глубине до 25 м. В районе сооружения грунт ложа реки — песчано-глинистый с отдельными камнями разного размера. Берега реки — от торфяных верхних слоев до смешанных и каменистых. Течение обычное, скорости течения 1—2 м/сек и глубина до 7 м.

Шуга по своему внешнему виду разнообразна как на разных участках реки, так и в пределах одного участка. Цвет шуги в воде — темный, переходящий в белый в всплывших частях, иногда с желтоватым оттенком. Строение ее рыхлое. При больших массах смерзающаяся шуга трудно-проходима обыкновенным лотом. В всплывших частях наблюдаются иногда выкрашенные частицы грунта и посторонние тела.

Образование шуги наблюдается в начале ледостава и в дальнейшем в течение всей зимы в связи с характерными особенностями р. Свирь, сильно порожистой, с наличием большого количества незамерзающих мест, иногда значительной протяженности. Здесь-то и образуется шуга и отсюда сносятся вниз по течению и скапливаются в плесах. Ход шуги наблюдался на Свирь преимущественно сплошной неплотной массой. В связи с наличием шуги наблюдались в зимнее время зажоры. Главные скопления шуги наблюдались на 20—22 км от истока, в 48—58 км ниже порога Остречинского, а самое большое скопление — на 96—112 км в Поповом плесе, ниже больших порогов Медведского и Ситовского и в районе сооружения 139—143 км, ниже Мандрогских и Подъянибеских порогов. При этом в некоторых сечениях в Поповом плесе забитость шугою живого сечения доходила до 85—90%, а в районе сооружения — до 50%. Определенная зависимость всплывания шуги от условий погоды

¹ По данным ответов Свирьстроя от 7 июня 1930 г. на анкету Элоргостроя по ледовому вопросу.

наблюдениями не установлена. Зажоры в створе работ, где русло стеснено перемычками, наблюдались в 1930 г. незначительные. В виду кратковременности наблюдений (перемычки существовали лишь первую зиму) определенного ответа на этот вопрос дать было нельзя.

После постройки перемычки не замерзал только островной проток между о. Негежма и верховым концом перемычки. Выше перемычек в непосредственной близости от них открытых мест не наблюдалось.

Ледовые исследования другого важного притока Ладожского озера — р. Волхова, исполненные в связи с задачами сооружения гидроэлектрической станции, имеют уже новейшую литературу¹ и не требует характеристики в настоящем изложении. Нужды эксплуатации станции заставляют их, однако, непрерывно продолжать.

6. Ледовые явления на нижнем течении р. Невы и ее устьях.

Для целей, которые имеет в виду настоящая работа — обосновать учреждение на р. Неве специальной научно-технической ледопследовательской станции — представляет интерес и вопрос о ледовых явлениях на нижнем течении и в устьях р. Невы. Для их краткой характеристики могут служить результаты наблюдений, относящихся к зиме 1929—1930 гг.²

По этим данным 24 декабря 1929 г., около 15 час. дувший в Финском заливе ветер заметно начал свежеть. Температура забортной воды в этот день была 1° С. К 20 час. состояние свежей погоды перешло на штормовую, термометр для определения температуры наружного воздуха с — 2,5° упал до — 5° С. К 24 час. сила ветра дошла до 7 баллов, а порывы до 8—9 баллов. Температура воздуха упала до — 7° С. Попадавшие на палубу корабля гребни волн тут же замерзли. 25 декабря шторм продолжался при постоянстве ветра как по силе, так и по направлению и при облачном небе (пасмурно 10); температура воздуха держалась не выше — 6° С.

На большом рейде Кронштадта был лед, густота которого могла быть оценена 8 баллами. Далее на малом рейде и в Морском канале находился дрейфующий по ветру лед, занимая все видимое пространство Невской губы. По характеру появившийся лед был блиновидный, частью не смерзшийся в поля, попеременно со льдом берегового припая, имевшего однородную структуру без признаков блиновидности и характерную форму разломанного на крупные куски ледяного поля (крупно-битый лед). Невская губа на 7 баллов была покрыта льдом. Толщина встречаемого кораблем льда колебалась от 2,5 до 10 см. Более толстый лед носил следы явного напластования. Шуги или сала не наблюдалось. Твердость льда, судя по звуку от трения его о борта корабля и по звуку, с которым разбивались носом отдельные куски, была такой, какой обычно бывает лед при своем осеннем образовании в пресных водах при низкой температуре воздуха. В огражденной части Морского канала льда не было вовсе, как и в устье р. В. Невы. Вне канала, в защищенной части губы, ограниченной южным берегом и дамбой канала, держался постоянный лед, образовавшийся на несколько дней раньше.

¹ Е. П. Погапсон, Зимний режим р. Волхова и оз. Ильмень, 1927 г.

² В. Бачманов, Зимние наблюдения в устье р. Невы, «Водный транспорт», № 5, 1930 г.

Около 20 час. 25 декабря начался ледоход в устье р. В. Невы, достигнув к 24 час. 7 баллов (наблюдаемый район — от места лейтенанта Шмидта до устья реки). 26 декабря ледоход продолжался. Лед шел достаточной твердости. 27 пошло густое само. К 18 час. того же числа в устье р. В. Невы лед стал окончательно.

Как видно из изложенного, ледоходу в 1929 г. на р. Неве на всем ее протяжении предшествовало местное образование льда в Невской губе, что по видимому является исключительным случаем. До этого года лед в губу обычно приносился рекой, и ледостав здесь наступал после заполнения губы наносным битым льдом невиского ледохода. Присутствие льда в губе, если он не был только ранее вынесен ветром, что мало вероятно, должно было способствовать совместно с ветрами, дувшими 27 декабря, более быстрому наступлению ледостава в устье р. В. Невы.

К утру 4 января 1930 г., вследствие стоявших оттепелей и работы в устье р. Невы портовых ледоколов и буксирных судов, р. В. Нева вскрылась в своем устье от льда почти до Морского училища. 5 января чистое от льда пространство воды несколько увеличилось вверх по реке, поднявшись выше памятного жертвам русско-японской войны, чему способствовал свежий ветер и вызванный подъем уровня воды в реке.

29 января 1930 г. вслед за наступившей, после продолжительного периода оттепелей, морозной погоды, на р. В. Неве ниже моста лейтенанта Шмидта наблюдался ледоход из молодого свежее-образовавшегося льда-сала. В связи с ледоходом наблюдалось и другое казавшееся странным явление. По течению, особенно по левому берегу реки, на довольно широкой полосе, отстоявшей от берега в 50—60 м, вместе с плывущим льдом, неслись маслянистые пятна. Наблюдение показало, что маслянистые пятна — продукт, поднимаемый на поверхность воды со дна реки. Вначале со дна всплывало небольшое, но густое пятнышко масла, которое быстро растекалось в маслянистый блик и благодаря течению теряло свою круглую форму, разрывалось и растягивалось. Вместе с маслянистым пятном появлялось в его центре незначительное количество льда. Иногда этот пластичный почти прозрачный лед был очень хорошо заметен, так как поднималась целая груда или ком, и иногда, как указано, всплывал незначительный почти прозрачный кусочек в виде тонкой пластинки. Всплывший на поверхность лед в малых количествах был донного происхождения.

При проверке, не имеется ли вблизи и других источников более интенсивного и заметного образования донного льда, такой источник был обнаружен. Якорные канаты стоявших на зимовке судов представляли крупные очаги образования донного льда, которого на одном из канатов паросило на 0,5 м в поперечнике, почти от самой поверхности воды в глубину (насколько различал глаз через толщину водяного слоя). Насевший на якорном канате лед был сходен с инеем по белому цвету со слегка желтоватым оттенком, придаваемым водой, а также по способности оседать на предмет, охватывая последний со всех сторон в несколько слоев. Вода в реке была мутнее обычного. Ближе к поверхности лед с якорного каната отрывался и всплывал. Из-под кормы железной баржи непрерывным потоком всплывал того же вида лед (малые чешуйки) и в такой значительной массе, какой не обнаруживалось нигде по течению реки. Вскоре лед за баржей задержался и спаялся в напластование белого цвета в своей массе как бы от осевшего инея. У якорного каната,

несмотря на течение, стало также образовываться скопление всплывшего на поверхность льда.

Описанный процесс на реке продолжался в течение всего дня. 30 января продолжался ход такого же льда, как и накануне, Масляных пятен больше не наблюдалось. Якорный канат оброс льдом до 1 м в поперечнике от самой поверхности воды, хотя канат был уже покрыт слоем образовавшегося за ночь льда. За баржей и по ее поясу также образовался лед наподобие заберегов. Под кормой баржи смерзшийся накануне лед изменил цвет в массе на светло-голубовато-серый, т. е. на цвет льда заберегов с совершенно гладкой поверхностью. Несмотря на то, что якорный канат вмерз в лед, процесс обрастания его донным льдом продолжался. Всплывание льда на поверхность воды тоже продолжалось.

31 января поле льда у баржи увеличился и замкнулся со льдом якорного каната стоявшего далее судна. Самое судно также начало приобретать незначительный поясик. На якорном канате продолжал держаться лед, как и в предшествующие дни. Заметного увеличения или уменьшения льда не обнаружено. Всплывание льда продолжалось.

1 февраля поясом льда были охвачены все стоявшие в группе суда. Лед слился с заберегами и сильно увеличился в ширине.

Производивший описанные наблюдения Б. Вацманов еще ранее держался того взгляда, что формирование заберегов, повидимому, происходит исключительно за счет образований льда в толще на отмелях и у берегов, где лед обычно появляется ранее наступления ледохода и где следовательно должны иметься благоприятные для этого факторы. Лед этот, всплывая, собирается и сплавается на поверхности в забереги. Другими словами: процесс образования заберегов не есть самостоятельный процесс замерзания воды на поверхности, а является результатом смерзания поднявшихся на поверхность отдельных частиц донного льда, которые в силу тех или других благоприятных факторов имеют тенденцию группироваться в первую очередь у берегов. В зиму 1929—1930 гг. это предположение благодаря случайному наблюдению удалось проверить в натуре. Всплывшие чешуйчатые образования задерживались вдоль баржи и у якорного каната, а впоследствии и у остальных судов вплоть до берега: спаявшись в единое целое, они создали ледяной покров заберегов.

Не следует ли считать, — спрашивает цитируемый наблюдатель, — что процесс образования льда берегового припая при наличии течения является процессом смерзания донного льда, всплывшего на поверхность воды, — процессом, не требующим дальнейшего доказательства, хотя бы в случаях, имеющих местный характер, замерзания до появления наносного льда, до наступления ледохода?

Ответ на этот вопрос, действительно исчерпывающий и убедительный, могут дать только регулярные стационарные наблюдения, охватывающие все фазы явления на значительном пространстве в течение всего хода процесса замерзания и позволяющие отделить влияние случайных или второстепенных условий от влияния условий основных.

7. Ледовые явления в Финском заливе.

Более или менее тесная связь между ледовыми явлениями реки и вод, в которые она впадает, не может быть отрицаема, в особенности там, где к обычным течениям присоединяется еще действие ветровых приливов, как это имеет место для р. Невы. Изучение взаимной связи зимнего

режима реки и прилегающего к ней морского залива представляет несомненный научный и практический интерес.¹

Проведенные до настоящего времени исследования льдов Финского залива преследовали задачи зимней навигации, и даже в этом направлении их возможности были ограничены. Для выяснения же указанной выше зависимости и роли реки в замерзании моря, а также роли моря в замерзаемости реки, остается еще открытое поле действия.

8. Невские ледяные зазоры.

Проведенные в условиях, изложенных выше (§ 1), на р. Неве² наблюдения над образованием донного льда дали возможность утверждать, что: 1) неизменным условием образования донного льда является понижение температуры воды до 0° (при всех случаях наблюдаемых явлений образования донного льда термометр показывал несколько сотых градуса выше или ниже нуля); 2) для образования донного льда требуется открытая, без ледостава поверхность воды; 3) донный лед может образовываться как в ночное, так и в дневное время. В связи с наблюдением образования донного льда, выяснилось также, какое влияние он оказывает на образование зазоров на р. Неве.

Для подробного исследования вопроса об образовании зазоров, а именно для выяснения места образования их, а также определения повышения уровня воды под влиянием зазоров, на протяжении от Литейного моста до Ивановских порогов были установлены 30 водомерных постов, по рейкам которых записывались уровни воды три раза в день: в 8 час. утра, в 1 час дня и в 8 час. вечера. Постепенное образование зазора и высота подпора воды видны из графика показаний водомерных постов за время с 30 ноября по 14 декабря 1903 г. (рис. 26).

Одновременно с установлением ледостава уже к вечеру 30 ноября у Литейного моста заметно было повышение уровня воды в р. Неве, очевидно вызванное зазором, образовавшимся ниже моста. К 8 часам утра 1 декабря новый зазор образовался между водомерными постами № 5 и № 6, причем в названном месте уклон воды с нулевого, бывшего 30 ноября утром, увеличился до 0,00024. Затем зазор постепенно распространялся вверх по течению, повышая уровень воды, и 2 декабря утром между водомерными постами № 7 и № 10 на протяжении 1387 саж. уклон воды доходит до 0,000375 вместо нормального 0,000029.

При ближайшем исследовании ледяного покрова в данном участке реки оказалось, что на всем протяжении между мостом Равенства и Литейным под тонким слоем твердого прозрачного льда находилась такая же густая, кашеобразная масса маленьких ледяных кристаллов, какая была найдена подо льдом весной 1903 г. и о которой упоминалось выше (§ 2), причем порох занимал 18% живого сечения реки.

Выше Литейного моста на протяжении около 3 верст под верхним ледяным слоем было найдено лишь незначительное количество льдин озерного образования, причем присутствие пороха обнаружено только против мостовых быков. У поста № 3 было обнаружено опять скопление пороха,

¹ А. А. Каминский, Толщина льда Невской губы и устья р. Невы, «Изв. Росс. гидролог. инст.», 1921, № 1—3; А. А. Каминский, Толщина льда Невской губы, «Балт. морск. транск.», № 8—9, 1919 г.

² В. Е. Тимонов и М. Ф. Цюнгилеский (см. выноски в § 1).

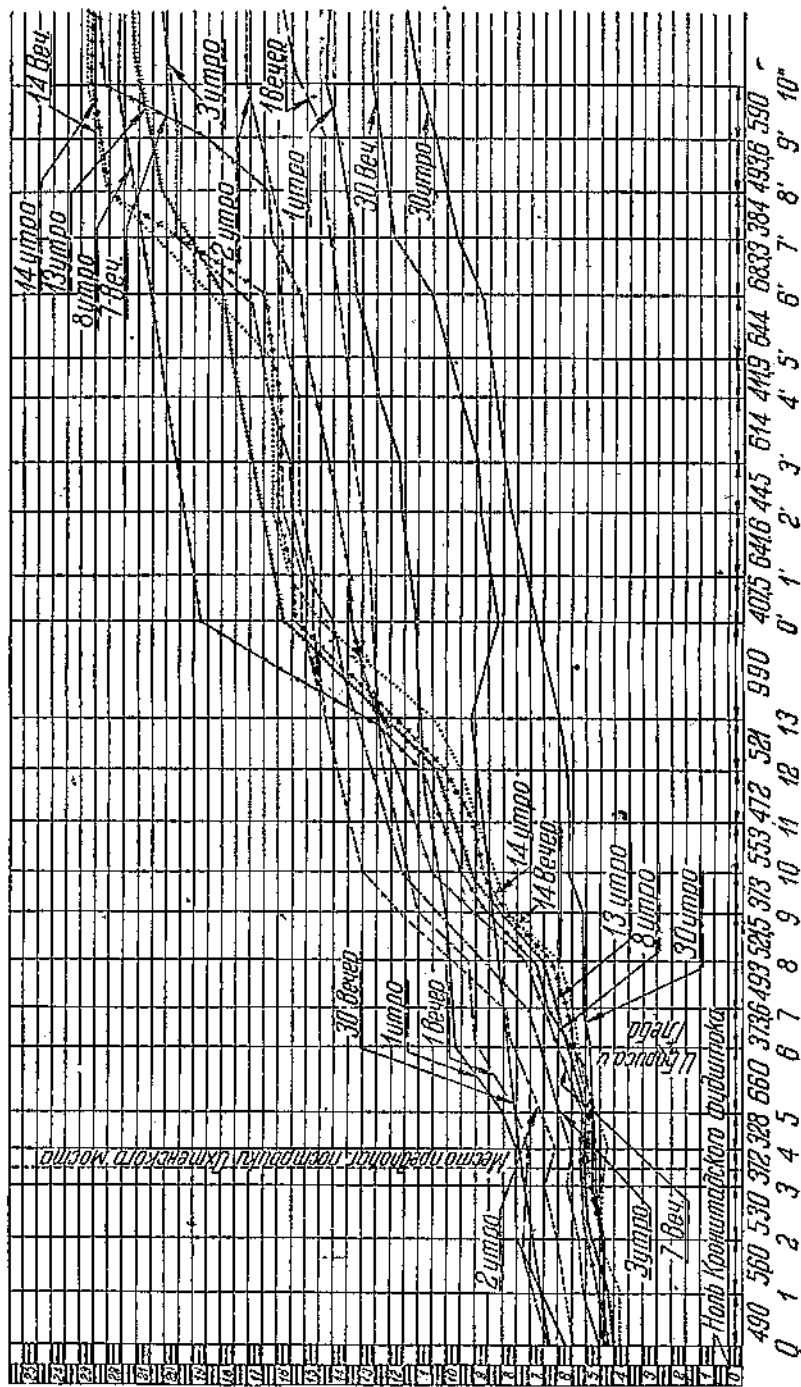


Рис. 26. График колебания воды на р. Цене между Литейным мостом и устьем р. Цикоры за время с 30 ноября по 1 декабря 1930 г.

толщина которого вверх по течению все увеличивалась, достигая своего максимума на водомерном постае № 8, где площадь, занимаемая шорохом, составляла 42% живого сечения реки.

Далее вверх по течению толщина слоя шороха, постепенно уменьшаясь, сошла на-нет около водомерного поста № 11, так что накопление шороха занимало по реке протяжение 5 верст. В месте наибольшего скопления шороха (около деревни Ключки на 8 версте) на протяжении нескольких верст найдено было нагромождение льдин выше поверхности воды. Толщина льдин была очень незначительна — от 0,02 до 0,03 саж. (0,04—0,06 м); самые льдины были поверхностного образования, принесенные из Ладожского озера.

Днем 30 ноября ладожские льдины сперлись в пределах города, задержанные быками мостов Равенства и лейтенанта Шмидта, а также вследствие уменьшения падения реки у устья, и образовали ледостав выше моста Равенства. Приносимый с верховьев вместе с ладожским донный лед местного образования, встречая на пути своем преграду, увлекался течением под ледяной покров, где стал скопляться и вследствие своей легкости прижиматься к нижней поверхности покрывающего реку льда. Он стеснял живое сечение реки и вызывал подпор воды. Тем временем ледостав быстро распространялся вверх по реке, дойдя к 3 часам утра 1 декабря до 6 версты выше Литейного моста.

Приплывавший все в большем количестве донный лед нашел между водомерными постами № 3 и № 5 подходящие условия для своего накопления, а именно: поворот русла реки, нулевой уклон воды, незначительную скорость течения, и сужение русла сравнительно с вышележащей частью реки. Скопление шороха, вызвав значительный подпор между водомерными постами № 5 и № 6, стало распространяться вместе с ледоставом вверх по течению, повышая уровень воды, напор которой, наконец, достиг таких размеров, что сила его стала больше силы встречаемого водою на пути препятствия. Весь зажор под напором этой силы двинулся вниз по течению, ломая поверхностный лед и нагромождая из него торосы, а также сплывая и набивая вниз скопившийся раньше надолгом шорох, пока, наконец, скопление его не достигло такой величины, что могло противодействовать силе напора воды. Уровень воды к этому времени значительно повысился вследствие сильного стеснения живого сечения реки.

Описанное только что явление образования зажора повторилось в верхней части реки, а именно у колена на 21—23 верстах. Разница была лишь та, что новый зажор образовался без участия ладожского льда, который 2 декабря утром перестал прибывать. В этот день выше устья р. Славянки р. Нева при сильном морозе начала покрываться тонким гладким слоем льда местного поверхностного образования. К утру 3 декабря между водомерными постами № 6 и № 7 стал замечаться значительный подъем воды при одновременном понижении уровня воды в месте прежнего зажора на 8-й версте. Хотя и не удалось подробно исследовать новый зажор, однако по изменениям уровня воды можно себе представить ход явления.

Скопление донного льда началось между постами № 5 и № 7 вследствие крутого изгиба реки в этом месте, сужения русла в сравнении с лежащим выше участком реки, а также резкого уменьшения уклона воды, вызвавшего и уменьшение скорости течения реки. Подходящий с верхних частей реки донный лед все больше и больше забивал живое сечение реки, увеличивая подпор воды. Под влиянием ее напора зажор



Рис. 27. Торосы, погруженные на льдин, образовавшиеся на поверхности реки.

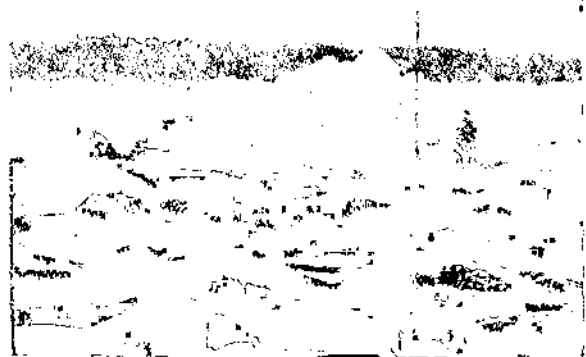


Рис. 28. Торосы из донного льда.

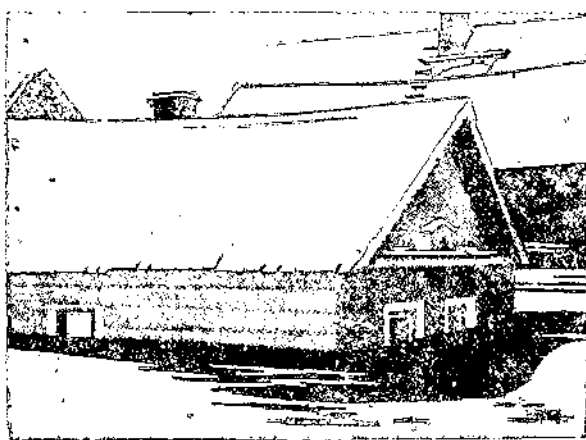


Рис. 29. Наводнение в с. Усть-Пягоре в декабре 1903 г.

сдвигался вниз, образуя над поверхностью воды громадные торосы. Торосы эти по характеру своему резко отличались от торосов, наблюдавшихся на 8-й версте (рис. 27). Они представляли собой груды совершенно сухого шороха, сбитого в бесформенные массы. Шорох был грязный, местами заметны в нем водоросли и песок, очевидно донного происхождения. На фотографии (рис. 28) снят один из характернейших торосов в этом месте. Около него поставлена двухсаженная рейка для наглядного представления о высоте торосов.

Зажор этот вызвал настолько большое повышение воды в части реки выше зазора, что вся набережная р. Ижоры со всеми находящимися в ней жилыми домами и другими постройками, а также многие мастерские Ижорского завода были залиты водою (рис. 29).

К 20 часам 7 декабря самое большое стеснение русла замечено было между водомерными постами № 8 и № 10, приподъеме воды выше уровня 30 ноября, а уклон воды между указанными постами доходил до 0,00051 вместо нормального 0,00073. Часам к 23 того же дня вследствие значительного усиления ледохода с Ивановских порогов, уровень воды на poste № 10 увеличился

еще на 0,33 саж. Зажор не выдержал напора, и вся масса воды высотой до 1,50 саж. (3,2 м) сплошным валом двинулась вниз, толкая перед собою зажор и ломая покрывавший нижнюю часть реки лед, который под влиянием морозов предыдущих дней успел достигнуть толщины около четырех вершков. Движение льда на протяжении 10 верст продолжалось несколько часов, и к 3 часам утра 8 декабря зажор остановился между постами № 13 и № 0, вызвав ниже завода «Большевик» значительный подъем воды, которым были затоплены все помещения завода и близлежащие деревни.

К 14 декабря в колене на 21—23-й версте образовался зажор того же рода, как зажор 8 декабря, причем стеснение русла доходило до 56,6% (рис. 3).

Приведенные результаты исследований в связи с результатами наблюдений, произведенных в феврале 1903 г., доказывают: 1) что на реке Неве между Литейным мостом и устьем реки Ижоры (на протяжении 25 верст) есть два места, где образование зажоров не только возможно, но почти неизбежно, а именно большепелги на 3—8-й и на 21—23-й версте; 2) что зажоры происходят от скопления в указанных местах донного льда, образующегося главным образом в Ивановских порогах и других участках реки с каменистым и ровным дном.

Борьба с образовавшимися уже зажорами признавалась невозможной в виду грандиозности явления.

Предлагаемое, обычно проведение продольного канала во льде для облегчения стока воды и уменьшения ее напора в данном случае неприменимо: во-первых потому, что проведение такого канала на протяжении многих верст потребовало бы значительного времени и больших расходов, а во-вторых, потому, что оно привнесло бы пользу лишь настолько, насколько с проведением канала увеличилось бы свободное живое сечение реки, т. е. не принесло бы почти никакой пользы. Шорох, скопившийся под ледяным покровом, столь крепко к нему прилегает и частицы его имеют столь прочную связь между собою, что он не уносится из-под льда даже быстрым течением. Вследствие этого с прорытием канала мог бы быть унесен вниз по течению лишь тот шорох, который оказался бы на ширине канала; остальной же шорох попрежнему оставался бы на месте и стеснял живое сечение реки.

Также признавалось неприменимым и другое средство — взрывы пороха или пироксилина.

Произведенные в этом направлении опыты показали, что, хотя собственно ледяной покров взрывами разрушается, но на причину зажоров — ледяной шорох — они действия не оказывают (рис. 30). При осмотре контрольных лунок было обнаружено, что даже в ближайших к месту

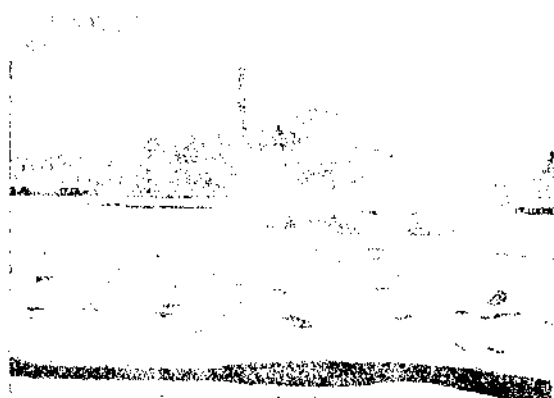


Рис. 30. Взрыв в месте скопления (под ледяным покровом) донного льда.

варыва не заметно было какого бы то ни было передвижения шороха. Лупки попрежнему оказывались чистыми, а боковые стенки окружавшего их шороха оставались попрежнему вертикальными. Горизонт воды после взрыва несколько не изменился.

Но если борьба с образовавшимся при посредстве ледяного шороха зазором представляется более или менее безнадежной, то этого отнюдь нельзя сказать относительно предупредительных мер, имеющих целью помешать зазору образоваться. Среди них особое значение может иметь в условиях р. Невы работа ледоколов во время ледостава, выполняемая в местах зазоров до тех пор, пока не замерзнут части реки, доставляющие шорох.

9. Обмерзание водозаборных труб на р. Неве.

Ледовые явления по р. Неве, помимо зазоров, вызывающих подтопы, причиняют населению другие весьма существенные ущербы в области водоснабжения. Всасывающие трубы водопровода покрываются при известных случаях льдом. Последний затрудняет всасывание, а иногда и совсем его останавливает. Следствие — прекращение водоснабжения на более или менее длительное время. При устройстве на р. Неве вододействующих станций подобные явления в устьях труб, подающих воду к турбинам, неизбежны, и к борьбе с ними надо быть готовыми.

Для характеристики явлений обмерзания водовсасывающих труб на р. Неве могут быть приведены некоторые данные относительно прекращения водоснабжения Ленинграда в 1914 г.

В ночь на 1 декабря 1914 г. водозаборные трубы водопровода оказались закупоренными льдом. Город почти сутки оставался без воды.

Общее расположение водозаборных труб водопровода, подвергшихся закупорке льдом, видно из рис. 31. Здесь показано 6 труб разного протяжения, доведенных до соответственных размеров путем постепенного удлинения.

Городская управа образовала особую комиссию «для всесторонней разработки вопроса проектирования приспособлений и сооружений, обеспечивающих непрерывное действие водопровода даже в момент интенсивного образования действия донного льда».

Это послужило толчком к изучению вопроса о ледовых явлениях в этой области, далеко еще впрочем не доведенного до подлежащего конца.

События, о которых идет речь, так описывались в ежедневной прессе того времени.¹

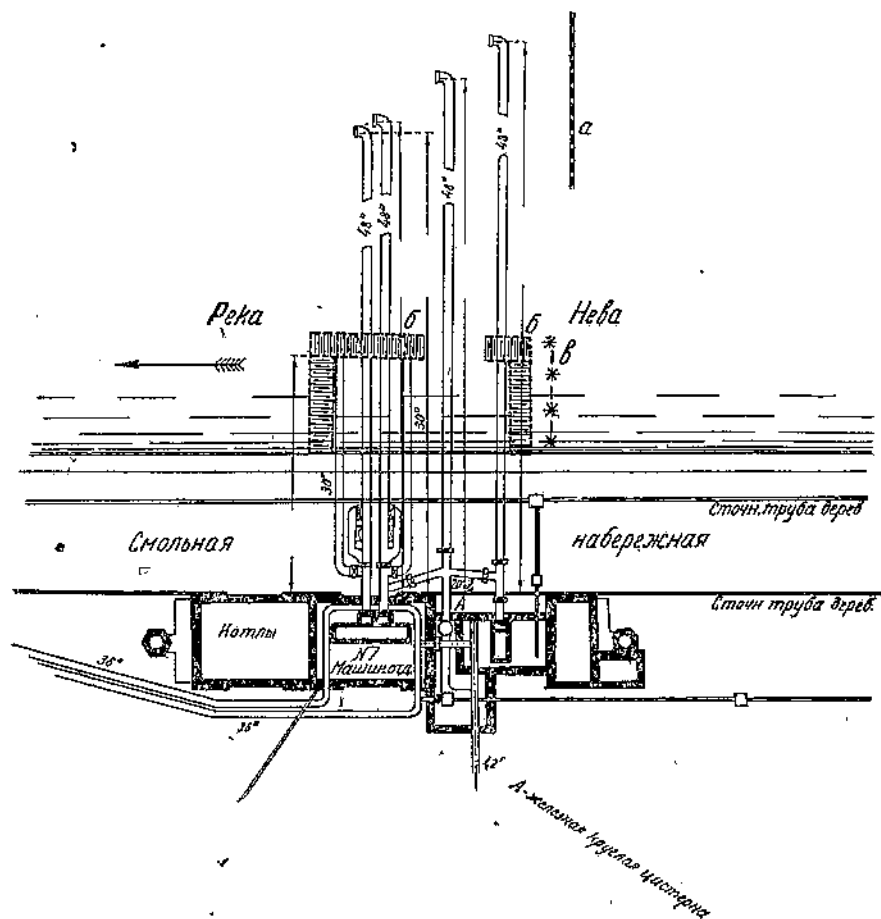
«Сегодня ночью дежурные по водопроводу обнаружили новую закупорку водоприемной трубы. Была поднята тревога, и на городскую водопроводную станцию были мобилизованы все силы. Туда приехали члены управы, инженеры и техники городских водопроводов и др. Оказалось, что, как и вчера, донным льдом затерло приемную трубу.

Была пущена в ход работа водолазов. Но и здесь пришлось столкнуться на ряд затруднений. С наступлением зимнего времени все водолазные учреждения закрыты, и водолазы распущены. Те же, которые пришли на работу, вынуждены были спуститься на дно с громадной опасностью для жизни, так как затор произошел на большой глубине 8—9 саж.; кроме того, поверхностный

¹ «Биржевые ведомости», № 14629, 1 декабря 1914 г.

лед мог каждую минуту перерезать гутаперчевую трубку для пропускания свежего воздуха.. В 5 час. утра получилось сообщение из Кронштадта, что оттуда едут военные подолзавы.

Положение создалось в высшей степени критическое. Лазареты и больницы, а также масса других учреждений, пользующихся цент-



пс. 31. План водозаборных устройств с.-петербургского (Ленинградского) водопровода с оказанием намечавшихся в 1914 г. сооружеий для борьбы с ледовыми затруднениями.

ральным отоплением, не отапливаются; пожарным нет возможности тушить за отсутствием воды.

В первую очередь город позаботился о снабжении населения столицы водой. Переговоры об организации развоза воды в пожарных бочках не дали еще положительных результатов, так как это потребовало бы специальной и очень сложной организации, к тому же пришлось бы черпать воду из Невы неочищенной. Больничной комиссией для нужд лазаретов, а главным образом, для отопления их, предложено срочно вступить в переговоры с ближайшим пожарным депо и организовать немедленно снабжение лазаретов и больниц во-

дою. Для снабжения обывателей водой в некоторых пожарных частях были поставлены тендеры. Напор воды был самый незначительный. В большинстве районов дворники с ведрами ходили за водой на Неву, Б. и М. Невки.

Работа по прочистке трубы на главном водопроводе идет усиленным темпом. Прибывшая из Крошгадта команда водолазов снабжена аппаратами новейшей системы. Сами водолазы — люди с огромным опытом и хорошо знающие свое дело.

Помимо водолазной работы, одновременно с очисткой трубы снаружи в главной станции по водоприемной трубе пропускается паропроводная труба для согревания ее внутри паром. Этим предполагается оттаивать те куски льда, которые закупорили трубу.

Работа чрезвычайно кропотливая, так как паропроводную трубу приходится пустить длиной в 90 саж.

В 1 час дня на Петроградской стороне работа водолазов закончилась, и вода стала поступать в трубы. Пущены в ход машины. Население Петроградской и Выборгской сторон получило воду.

С утра наблюдались в Петрограде небывалые для столицы сцены: веренищами тянулись люди с ведрами, ковшами, бутылками и чайниками и черпали воду из Невы. Многие, напуганные слухами о лопнувших трубах, о прекращении функций водопровода, решили запастись водою на более продолжительное время.

Затор в главном водопроводе — явление чрезвычайно редкое. В Петрограде был аналогичный случай 21 год тому назад, в 1893 г. Тогда город был три дня без воды.»

Общее присутствие городской управы, по докладу особой комиссии по обследованию городского водопровода, в заседании 10 февраля 1915 г. признало необходимым для всесторонней разработки вопроса проектирования приспособлений и сооружений, обеспечивающих непрерывное действие водопровода, даже в момент особо интенсивного образования действия донного льда, образовать особую комиссию из техников, пригласив в нее специалистов этого дела.

В образованной комиссии приняли участие, кроме техников управления городских водопроводов, приглашенные в качестве экспертов лица: 1) С. П. Пята (главный инженер по переустройству водоснабжения), 2) А. А. Воронцов (профессор Технологического института), 3) Л. А. Ячевский (горный инженер, член горного ученого и геологического комитетов), 4) Е. В. Контковский (военный инженер), 5) В. В. Ольденбургер (главный механик московских водопроводов) и 6) Л. Б. Гембаржевский (инженер варшавских водопроводов).

Заседания этой комиссии состоялись 26 и 27 февраля 1915 г., причем по «всестороннему» рассмотрению вопроса остановки водоснабжения 1 декабря 1914 г. признано было, что причиной закупорки водоприемных труб как коротких, так и длинных, явились особые физические и метеорологические обстоятельства, создавшие необходимые и достаточные условия для лучеиспускания, благодаря чему металлические водоприемные трубы могли охладиться ниже температуры окружающей их воды, которая в тот момент имела температуру 0°. Вследствие этого произошло обмерзание концов водоприемных труб так называемым донным льдом. В целях предупреждения в будущем повторения подобного явления приглашенные на заседание специалисты высказались за рациональность устройства

при коротких трубах специального бассейна, оградив место забора воды дамбой. Дамба эта, выделив часть площади, охраняла бы место забора воды от ледохода и давала бы возможность образовываться ледяному покрову еще до общего ледостава в реке, так как появлению ледохода на р. Неве всегда предшествует понижение температуры воздуха, достаточное для замерзания водной поверхности при тихой воде. Образовавшийся же ледяной покров служил бы препятствием лучеиспусканию предметов, находящихся в данном месте под водою, в случае благоприятных к этому условий, а потому не происходила бы закупорка труб доплым льдом.

Комиссия ограничилась рекомендацией устройства бассейна лишь для 30'' коротких труб в виду неосуществимости такого устройства при больших 48'' трубах, заканчивающихся в 90 саж. от берега на фарватере. Однако поступление воды по двум 30'' коротким трубам и через специальный клапан на одной из больших труб обеспечивает подачу в город около 12000000 ведер воды в сутки. Приняв же во внимание запас воды в резервуарах главной станции и соорудившейся южной в количестве около 3000000 ведер, в город может быть подано около 15000000 ведер, что вполне исключает повторение полной приостановки водоснабжения. Вместе с тем комиссия высказалась за устройство приспособления для возможности промывки водоприемных труб обратным током воды, а также за организацию собственной водолазной станции при водопроводах.

Из перечисленных мероприятий заслуживает особого внимания устройство короткой защитной от ледохода дамбы (60 саж.), которой надеялись уничтожить причину образования донного льда. Приведем некоторые расчетные данные, касающиеся определения размеров дамбы, предложенные составителями проекта.

На рис. 32 показан разрез проектировавшейся дамбы, отдельные части которой имеют следующие обозначения:

1. Внутренние сваи — 6 вершк., по 3 сваи на погонную сажень дамбы.
2. Наружные основные ряды свай, по 6 свай на погонную сажень в каждом ряду.
3. Охранный ряд свай, по 6 свай на погонную сажень.
4. Насадки на внутренние сваи.
5. Продольные схватки из 5 вершковых бревен.
6. Наружная насадка размером 10'' × 10''.
7. Ветон в мешках состава 1 : 3 : 4.
8. Речной песок.
9. Булыжный камень.
10. Железный анкер — 1½'', по 1 анкеру на сажень.
11. Поперечные парные схватки из пятивершковых бревен.
12. Булыжная мостовая и перила.
- 13—14. Перила.

За силы, действующие на дамбу, принимались: 1) сила течения реки, 2) удар льда во время ледохода; силы сопротивления; 3) вес дамбы; 4) сопротивление на вырывание свай.

1. Сила течения, стремящаяся сдвинуть дамбу $P = \gamma \times F \times \frac{v^2}{2g}$, где: F — площадь давления = 3,4 кв. саж. ¹

¹ Цифровые величины приводятся в тех мерах, в каких они принимались в цитируемом расчете.

γ — вес куб. сажени воды = 600 пуд.

v — скорость воды, саж./сек.

g — ускорение силы тяжести в секунду = 4,6 саж.

Принято: v ср. = 0,54 саж. в секунду.

v наб. = $3 \times 0,54 = 1,62$ саж. в секунду.

Следовательно давление воды, имеющей скорость = 1,62 саж. на 1 пог. саж. дамбы, получится равным:

$$P = 3,4 \times \frac{1,62^2 \times 600}{2 \times 4,6} = 600 \text{ пуд.} = \text{ср } 10 \text{ тонн.}$$

В запас прочности введен коэффициент = 1,5. Следовательно $P = 900 \text{ п.} = 15 \text{ тонн.}$

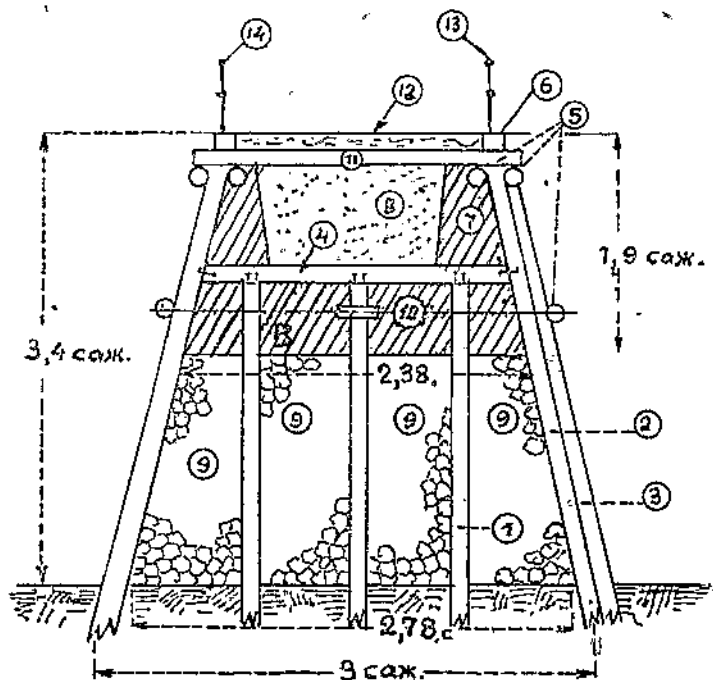


Рис. 32. Поперечный разрез проектировавшейся в 1914 г. при водозаборных устройствах с.-петербургского (Ленинградского) водопровода охранной дамбы.

2. Удар льда во время ледохода.

Конструкция дамбы рассчитана на случай сильного ледохода; живая сила удара поглощается бетонной шайкой значительных размеров. Для уменьшения силы удара впереди бетонной шайки расположены 2 ряда сплошных свай. Сила удара льда признается величиной, которую нельзя технически точно учесть. Поэтому принят ударный коэффициент равный 2 для величины давления воды $P = 900$ пудов, которая была уже вычислена выше, и получено, что полное расчетное давление на 1 погон. сажень дамбы $P = 2 \times 900 = 1800 \text{ пуд.} = 30 \text{ тонн.}$

3. Вес погонной сажени дамбы, при удельном весе каменного ядра дамбы = 2, средней ширине дамбы = 2,5 саж., и высоте трапециoidalного сечения = 3,4 саж., равен: $2 \times 2,5 \times 3,4 \times 600 = 10200 \text{ пуд.} = 170 \text{ тонн.}$ Вес погонной сажени бетонной шайки при ширине ее

в 2 саж., высоте 2 саж. и весе одной куб. сажени бетона, погружен-
но го в воду, в 600 пудов, равен $2 \times 2 \times 600 = 2400$ пуд. = 40 т.

4. Сопротивление на вырывание свай введено в расчет, ибо свайные
ряды соединены анкерами и поперечными насадками, забетонированы
в верхней планке дамбы.

Принимая предельную нагрузку на сваю = 10000 пуд., допускаемую
нагрузку равной одной трети предельной, получено, что сопротивление
свай на вырывание можно принять в 3000 пуд.

Исходя из приведенных данных, был найден коэффициент устойчивости
дамбы.

Принятая вес бетонной планки = 40 тонн, давление льда = 30 тонн,
сопротивление свай = 50 тонн, опрокидывающий момент определен
в 102 тонно-саж. при полной высоте дамбы = 3,4 саж.

Сопротивляющийся момент, принимая во внимание только вес бетона
и сопротивление 4 свай, подсчитан в 360 тонно-саж.

$$\text{Коэффициент устойчивости} = \frac{360}{102} = 3,5.$$

По тому же вопросу при техническо-строительном комитете б. министер-
ства внутренних дел также была образована особая комиссия, которая
выработала следующие одобренные министерством меры для предупре-
ждения в будущем остановки водоснабжения:

1. Построить открытый, легко доступный для очистки от льда канал к
водоприемным цистернам, находящимся внутри машинных зданий бере-
говых отделений.

2. Иметь на водопроводной станции пароход и знающих дело водолазов
с водолазным баркасом.

3. Установить на обоих берегах створы для точного и быстрого опреде-
ления местонахождения концов водоприемников.

Не возражая против последних двух из предложенных мероприятий,
городская управа признала, что устройство открытого водопроводного
канала неосуществимо. Присоединение открытого канала к одной из
цистерн, заложенных на глубине 20 футов, находящихся внутри машинных
зданий и служащих одновременно фундаментом для насосов, не представ-
лялось возможным произвести без остановки действия насосов, ибо, во
избежание осадки здания и цистерн из-за обилия грунтовых вод, потребо-
валось бы сделать ограждения фундаментов здания внутри и снаружи двой-
ными шпунтовыми рядами. Между тем в подвалах машинных зданий
проложены 36" и 42" напорные магистральи, мешающие забивке шпун-
товых рядов; эти магистральи в случае производства намеченных работ
подлежат временной разборке, что равносильно весьма продолжитель-
ной приостановке водоснабжения. Вместе с тем городская управа при-
знавала желательным: 1) организацию собственной водолазной станции;
2) устройство приспособления для возможности промывки водоприемных
труб обратным током воды; 3) организацию и постановку научных иссле-
дований термического режима р. Невы.

В дальнейшем вопрос об устройстве открытого подводного канала под-
вергся новому рассмотрению.¹

Техническо-строительный комитет не согласился с предположением,
что ограждение коротких труб дамбой может быть признано равноценным

¹ Доклад общего присутствия б. петроградской городской управы от 2 декабря 1915 г.
№ 864.

устройству открытого канала, всегда доступного для осмотра и очистки. Члены техническо-строительного комитета, выяснив на месте условия работы, пришли к заключению о возможности присоединения канала к цистернам береговых отделений, лишь производя работы при помощи сжатого воздуха. Вместе с тем была намечена следующая схема присоединения канала: в котельной берегового отделения (№ 7) устраивается круглый железный колодец и от него соединения трубами к цистерне и каналу (рис. 31).

Согласно этому заключению, изменившему первоначальное постановление комитета о необходимости устройства канала для подвода воды прямо в цистерны, управлением городских водопроводов был составлен проект такого канала и разсланы запросы соответствующим фирмам для выяснения возможности ныне произвести требуемые работы, а также их стоимости.

Со своей стороны автор настоящего изложения внес (в качестве гласного Думы) заявление, в котором, на основании личного исследования запроса об остановке водоснабжения столицы 1 декабря 1914 г., предлагал вниманию Думы следующие обстоятельства.¹

«1. Причины катастрофической остановки водоснабжения 30 января — 1 декабря 1914 г. не заключают в себе ничего исключительного и стихийного, а являются обыкновенными распространенными обстоятельствами эксплуатации речных водопроводов во время образования ледяного шороха, имеющими место в большом числе сооружений Европы и Америки.

2. Явления влияния ледяного шороха на условия забора воды в водопроводах в 1914 г. представляются менее неблагоприятными, чем в 1893 г., так как о большой вероятности очень серьезного засорения льдом труб главной станции администрации водопровода почти за сутки до наступления такого засорения была предупреждена временным затруднением под действием льда в питании этой станции и временным прекращением по той же причине поступления воды в петроградскую станцию.

3. Обширный опыт эксплуатации водопроводов из замерзающих рек Европы и Америки дает достаточно определенные и хорошо известные водопроводным специалистам указания относительно мер, при посредстве которых может быть предупреждена остановка водоснабжения под влиянием льда.

4. Администрация петроградских водопроводов в течение ряда лет совершенно игнорировала этот опыт и ничего не сделала для обеспечения при посредстве упомянутых мер непрерывности подачи воды водопроводами в зимнее время, в том числе не осуществила даже предусмотренную с 1894 г. столь элементарную и явно нужную меру, как промывка водоприемных труб обратным током воды.

5. Более того, эта администрация существенно ухудшила те условия обеспечения в указанном отношении, которые были созданы после задержки в водоснабжении 1893 г.:

а) удлинением водозаборных труб с 50 до 84—89 саж. и на глубину до 9 саж., что привело их устья к главной струе течения, где больше протекает ледяного наноса и где очистка от льда более затруднительна;

¹ Доклад общего присутствия 6. петроградской городской управы от 1 сентября 1915 г. № 1294.

б) уничтожением всяких береговых обозначений устьев водозаборных длинных и запасных коротких труб, вследствие чего отыскание этих устьев при катастрофе 1914 г. представило огромные трудности и вызвало большие потери времени;

в) уничтожением находившегося на одной из длинных труб близкого к берегу (15 саж.) водозаборного отверстия;

г) отсутствием водолазной команды;

д) отсутствием водолазного баркаса;

е) освобождением от управления водопроводами управлявшего ими лица без назначения нового управляющего.

6. Предложенные городской управой меры для предупреждения остановки водоснабжения под действием льда, основанные на недостаточно правильном освещении вопроса о причинах катастрофы 1914 г., не соответствуют обстоятельствам дела и не только не достигнут намеченной цели, но, создавая иллюзию безопасности и вводя этим городское общественное управление и население города в заблуждение, могут привести к еще более серьезной катастрофе, чем бывшая в 1914 г.

7. Для обеспечения Петрограда от повторения перерывов водоснабжения по причине льда и т.п., необходимо прежде всего изменить порядок управления водопроводами, поставив во главе их ответственного и сведущего главного инженера, избранного путем конкурса городской думой и подчиненного ей без посредствующей инстанции в виде члена управы.

8. Главному инженеру должно быть предложено немедленно составить проект полного обеспечения исправного действия водопроводов в зимнее время и срочно внести таковой в Думу.

9. Принимая во внимание, что в настоящем 1915 г. в Петрограде мобилизована мелкая и средняя промышленность, не имеющая собственных водоснабжений, и значительно возросло число лазаретов с центральным отоплением, вследствие чего остановка водоснабжения имела бы еще более тягостные последствия, чем в 1914 г., надлежит в ожидании осуществления упомянутого выше проекта коренных мер немедленно осуществить следующие экстренные предохранительные меры:

а) обозначить устья всех всасывающих труб точными и постоянными береговыми знаками;

б) устроить промывку всех труб обратным током воды;

в) обеспечить станции водолазами и водолазными принадлежностями;

г) устроить поверхностные береговые водоприемники, где отгребание льда возможно без водолазов;

д) восстановить находившееся на одной из труб главной станции вблизи берега водозаборное отверстие и сделать такие же на всех длинных трубах в расстоянии 15 саж. от берега;

е) устроить мостки к устьям коротких труб и к береговым клапанам длинных».

Не входя в дальнейшее рассмотрение вопроса о закупоривании льдом водоприемных труб ленинградского водопровода, чему должно быть посвящено особое исследование, сказанное может считаться достаточным для объяснения необходимости систематического изучения явлений указанного порядка при посредстве учреждений, действующих постоянно и не создающих в момент разразившейся катастрофы.

10. Вопрос о ледовых явлениях на р. Неве перед 6. Инженерным советом м-ва путей сообщения в 1912 г.

Серьезный ледяной зажор, происшедший на р. Неве в 1912 г., дал повод к возобновлению обсуждения вопроса о борьбе с этим неблагоприятным явлением. Вопрос был внесен на рассмотрение 6. Инженерного совета м-ва путей сообщения, который принял следующее постановление:¹

I. Главной причиной образования зажоров на р. Неве следует, на основании имеющегося материала, считать ледяной шорох (рыхлая, губчатая ледяная, пропитанная водой масса), который, преимущественно в тех местах, где имеется препятствие свободному течению, и вследствие этого постепенно заполняя площадь живого сечения реки, производит подпор, вызывающий поднятие горизонта воды. Для всестороннего исследования этого явления желательно дальнейшее систематическое изучение на р. Неве условий ее замерзания и в частности зажоров с выяснением состава таковых, их происхождения и процесса образования.

II. При указанном в п. I характере зажоров на Неве применение взрывных работ едва ли может дать практические результаты для устранения этих зажоров.

III. Имея в виду указания, изложенные в предшествующих пунктах I и II, средствами для устранения образования зажоров могли бы явиться:

1) или устранение причин, способствующих самому образованию шороха, почему, если бы оправдалось предположение, что Ивановские пороги являются местом происхождения наиболее значительного количества шороха, предполагаемые опыты над искусственным образованием поверхностного льда на этих порогах могут в случае их успеха дать существенные результаты по уменьшению зажоров ниже порогов;

2) или же работы пароходов-ледоколов, если к производству их в необходимом для обеспечения успеха размере не будет встречено препятствий со стороны городского управления и других заинтересованных ведомств.

IV. Для решения вопроса о постоянном употреблении пароходов-ледоколов для борьбы с зажорами на р. Неве следовало бы организовать теперь же опыты с ледокольными работами, а также составить соображения об организации и стоимости постоянных работ пароходов-ледоколов по сравнению со стоимостью устройства оградительных сооружений, необходимых для защиты от вызываемых зажорами затоплений населенных мест и заводов на берегу реки.

V. Желательно производство лабораторных опытов в искусственных лотках для выяснения различных условий образования донного льда и других явлений, связанных с зажорами.

VI. Все исследования, направленные к разрешению вопроса о борьбе с зажорами на р. Неве, желательно поставить под непосредственное руководство совещания с участием представителей заинтересованных ведомств.

Заключение это было утверждено министром путей сообщения лишь в V и VI пунктах, причем было поручено проф. В. Е. Тимонову составить и представить на утверждение Инженерного совета программу тех исследований, которые должны быть произведены под руководством совещания при с.-петербургском округе путей сообщения.

¹ В. Е. Тимонов, Об организации систематического изучения ледяного покрова на наших реках и способов борьбы с вызываемым льдом затруднениями в навигационной и береговой жизни, Доклад XV съезду русских деятелей по водным путям, 1913 г.

11. Программа 1912 г. систематических исследований ледовых явлений на р. Неве

Исполняя возложенное на него в указанном выше порядке поручение, автор выработал следующую программу исследований ледовых явлений на р. Неве.¹

Часть I. — Съемки и измерения.

А) Составление карты р. Невы на всем пространстве района зажоров, принимая под таким местом, откуда лед может сдвигаться в зажоровое скопление и куда последнее может разрешаться, и ниже его до устья реки с показанием всех препятствий движению льда и нанесением речных регулирующих трасс.

Б) Составление планов и профилей береговых пространств, затопляемых во время зажоров с показанием зданий.

В) Устройство сети водомерных постов для непрерывного наблюдения за изменениями горизонта воды в районе зажоров и гидрометрических станций для исследования колебаний расхода воды.

Г) Систематические наблюдения над изменениями толщины и состава ледяного покрова на р. Неве, и в частности:

- а) регулярные промеры льда и шорха на всем пространстве района зажоров;
- б) периодическое составление карт в горизонтальных ледяного покрова и его продольных и поперечных профилей чрез промежутки времени, достаточные для возможности предвидеть ход развития ледяных скоплений и установить заблаговременно их места;
- в) составление графиков нарастания льда и шорха в наиболее опасных местах для выяснения пределов возможного скопления их в этих местах.

Часть II. — Наблюдения явлений природы и изучение бытовых условий.

А) Изучение явлений образования льда в Ладожском озере и в. Неве и условий его движения в р. Неве, каковы:

- а) поверхностное образование льда; б) донное образование льда; в) движение шорха;
- г) наиболее важные пункты льдообразования; д) наиболее важные пункты остановки в движении ледяных масс.

Б) Исследование вопроса о влиянии освобождения некоторых частей р. Невы от ледяного покрова на местные бытовые, административные и санитарные условия, и в частности:

- а) о влиянии ледокольных и ледоварочных работ на условия стоянки на Неве зимующих и строящихся судов;
- б) о влиянии этих работ на условия зимнего сообщения по р. Неве;
- в) о влиянии их на санитарные и иные условия прилегающих местностей.

Часть III. — Опытные работы и составление проектов постоянных работ.

А) Исследование действия взрывов на ледяной покров и скопления льда, а именно:

- а) исследование действия взрывов на твердый лед и шорх при применении зарядов разной силы и разного состава;
- б) исследование влияния числа одновременных взрывов, расстояния между пунктами взрывов, взаимного расположения их по отношению к направлению течения;
- в) исследование способов удаления наименьшего количества льда для образования судопроходного канала, пределов этого удаления, скорости этой работы;
- г) выяснение возможности предупреждения взрывными работами скопления масс плотного льда и шорха;
- д) определение стоимости взрывных работ при разных условиях и границ их полевого действия.

Б) Исследование действия пароходов-ледоколов на скопление льда и условий успеха работы ледоколов по предупреждению образования зажоров и устранению образовавшихся зажоров, а именно:

- а) исследование действия пароходов-ледоколов разных типов и силы на твердый лед и шорх при разной толщине слоя последних и разных иных условиях, каковы погода, форма русла, скорость течения и пр.;
- б) исследование влияния одиночного действия пароходов-ледоколов или употребления их группами на предупреждение зажоров и их устранение;

¹ В. Е. Тимонов. См. выноски в § 9.

н) исследование устранения измелченного льда и шороха с судового фарватера;
г) исследование расхода энергии в разных условиях, стоимости ледокольных работ и пределов их полезного действия.

В) Опыты над искусственным замораживанием р. Новы в местах с быстрым течением.

Г) Выяснение финансовых условий непротавления зажорам и борьбы с зажорами и составление соответствующих проектов и смет.

Часть IV. — Лабораторные и литературные изыскания.

А) Изучение явлений образования и движения льда в искусственных бассейнах и лотках и в частности:

а) изучение условий замерзания воды в зависимости от скорости ее движения, размеров живого сечения потока, свойств русла, колебаний температуры и пр.;

б) изучение относительного значения донного и поверхностного льда;

в) изучение условий движения льда плотного, гребчатого и мелкозернистого;

г) изучение условий образования ледяных скоплений и условий их разрезания.

Б) Изучение литературы по вопросу о льде на реках и озерах и условиях успеха борьбы с ним с составлением общего обзора этого вопроса и в частности:

а) составление возможно полного указателя литературы о замерзании открытых водоемов и связанных с этим вопросов;

б) составление систематического обзора движения льда и соответствующих наблюдений и опытов;

в) составление систематического обзора способов борьбы со льдом в разных условиях и в особенности в условиях, сходных с нескими, результаты этой борьбы и ее стоимость;

г) составление описания типов речных сооружений, конструкции коих находятся в зависимости от льда.

Эта программа получила одобрение и была преподана в установленном порядке с.-петербургскому округу путей сообщения. Намеченные исследования не получили, однако, желаемого развития вследствие наступившей вскоре мировой войны.

12. Вопрос о систематическом изучении ледяного покрова рек перед XV Съездом русских деятелей по водным путям в 1913 г.,

Указанный выше вопрос был выдвинут автором в докладе «об организации систематического изучения ледяного покрова на наших реках и способов борьбы с вызывающимися льдом затруднениями в навигационной и береговой жизни». Основные тезисы доклада таковы:

Невские зажоры и затопление казенных заводов.

Борьба с зажорами посредством взрывов льда и разномыслие относительно ее последствий.

Предупреждение зажоров замораживанием мест с быстрым течением и разномыслие относительно способа осуществления этого предложения. Суждения инженерного совета о неских зажорах.

Отсутствие сведений о замерзании рек вообще.

Последствия этого отсутствия сведений для судоходства, фабричной промышленности, населенных местностей, водоснабжения и пр.

Необходимость тщательного и систематического изучения впадою жизни рек и озер.

Бездействие в указанном отношении нынешних изыскательных организаций.

Отсутствие инструкций.

Программа исследований явлений Невских зажоров, составленная проф. В. Е. Тимоновым.

Съемки и измерения.

Наблюдения явлений природы и изучение бытовых условий.

Опытные работы и составление проектов постоянных работ.

Лабораторные и литературные изыскания.

Для иллюстрации неопределенности сведений о свойствах ледяного покрова докладчик остановил внимание съезда на зажоре в р. Неве, бывшем в 1912 г. и вызвавшем затопление мастерских Обуховского завода.

По более или менее обстоятельному ознакомлении с положением дела для устранения этого зажора был командирован один из выдающихся инженеров С. Г. Врублевский, который произвел на Неве взрывные работы с целью понизить горизонт воды, поднятый зажором. Работы продолжались около 12 дней, после чего горизонт воды упал. И появились два разных изложения обстоятельств этого дела различными лицами. С. Г. Врублевский был убежден и доказывал это при помощи целого ряда обстоятельных данных, что именно вследствие исполненных работ по взрыву льда и получился тот результат, который явился конечным финалом дела, т. е. понижении горизонта воды. Другие же лица, которые изучили работы С. Г. Врублевского по его же данным, утверждали что, сравнивая все обстоятельства устранения зажора 1912 г. с подобными обстоятельствами другого года, когда никаких взрывов не производилось, они могут доказать, также при помощи ряда определенных соображений, что зажор 1912 г. разрешился сам собою, что, хотя взрывы льда производились, но они не имели никакого влияния на понижение горизонта воды и что этот горизонт упал исключительно вследствие того, что подпертая зажором вода вынесла скопившийся шорох из-под льда и уничтожила причину подъема воды. При дальнейшем изучении этого вопроса в особом совещании, которое было образовано при с.-петербургском округе путей сообщения в целях всестороннего выяснения вопросов о мероприятиях для предупреждения образования зажоров р. Невы, мнения разделились. Одни были на стороне С. Г. Врублевского, другие — его противников.

В этом же совещании, между прочим, обсуждался и вопрос о том, как не только бороться с образовавшимся зажором, но как можно его предупредить. При этом было обращено внимание на предложение другого специалиста в гидротехнических вопросах, инженера В. М. Лохтина, который еще ранее указывал на целесообразность для этой цели улучшить в ледовом отношении те места р. Невы, на которых, по его мнению и мнению некоторых других исследователей, образуется мелкий лед или шорох, впоследствии забивающий подледное живое сечение реки. Таким местом, по мнению В. М. Лохтина, является по преимуществу часть Невы, которая носит название, впрочем совершенно неправильно, невских порогов. Русло Невы здесь сильно суживается. Это сужение вызывает подпор воды и быстрое течение ниже подпертого места. Быстрое течение и называют порогами. Предполагается, по мнению некоторых исследователей вопроса о замерзании Невы, что в этом пункте по преимуществу образуется большое количество мелкого льда, который впоследствии, скопясь в разных благоприятных для этого местах, задерживает течение Невы и вызывает подпоры. Поэтому В. М. Лохтин рекомендовал искусственно замораживать такие пункты, которые являются как бы фабрикой шороха. Он указал, что эта операция является в высшей степени простой, что для этого достаточно было бы опустить в воду отдельные ветки ели, на которые намерзал бы лед, и таким образом вредные места затягивались бы постепенно льдом.

В противоположность этому мнению существовало другое. С. Г. Врублевский в официальном рапорте правлению с.-петербургского округа

на вопрос о том, как он полагал бы устранить фабрику пороха в Ивановских порогах, очень подробно изложил, что это могло быть сделано при помощи искусственного замораживания Невы на протяжении 10 верст, но для этого следует применить те же приемы, которые употребляются для образования ледяных катков, т. е. в реку опустить трубки, по которым могла бы двигаться охлаждающая жидкость и обращать водную массу в ледяную.

В своем заключении, к которому присоединился и съезд, докладчик предложил, чтобы инструкция для исследования водных путей управления внутренних водных путей и шоссейных дорог была дополнена требованием относительно изучения жизни рек во время образования, существования и разрушения ледяного покрова и в таком дополненном и исправленном виде была бы предложена, после соответствующего ее утверждения, к руководству нашим изыскательным партиям.

13. Вопрос об устройстве ледоисследовательской станции на р. Неве, как элемента гидротехнической лаборатории Ленинградского института путей сообщения в 1929 г.

В 1929 г. под руководством автора настоящего изложения был составлен проект развития гидротехнической лаборатории Ленинградского института путей сообщения.¹ Проект этот в его последнем варианте заключает в себе:

а) создание новой насосной установки при нынешнем помещении лаборатории для обслуживания всех устройств, имеющихся и могущих быть осуществленными при институте с использованием как источника водоснабжения прилегающего к институту пруда;

б) создание в подвальном этаже здания, занимаемого лабораторией, или в ином более удобном месте отдела испытания грунтов, вспомогательной гидротехнической лаборатории для студенческих занятий и склада моделей;

в) создание во дворе института двух открытых или легко покрытых площадок для моделей значительного масштаба с большими расходами воды;

г) создание у прилегающего к институту пруда длинного лотка для испытания судовых моделей и гидрометрических приборов с выходом в пруд для опытов над движением судов в неограниченной воде;

д) создание на берегу пруда опытного судоподъемника;

е) создание на берегу пруда пляжа с установкой для производства волнения в целях исследования береговых явлений;

ж) создание на берегу реки Фонтанки, вблизи института, свободного опытового района для речных и канальных исследований особого порядка и пристани для опытовых судов;

з) создание на территории ленинградского морского порта обширного опытового поля (до 20 гектаров) с особой гидрометрической станцией для исследования морских и речных вопросов на моделях особо крупного масштаба в связи с наблюдениями в натуре некоторых явлений;

¹ В. Е. И а ж и ц к и й, Гидротехническая лаборатория им. проф. В. Е. Т и м о н о в а после ее переустройства в 1926 г., «Труды лаборатории», вып. 9, 1927; В. Е. Т и м о н о в. Научно-исследовательская и производственная деятельность гидротехнической лаборатории Ленингр. ин-та инж. путей сообщения им. Я. Э. Рудзутака и ее перспективы при дальнейшем расширении лаборатории, «Сб. ин-та инж. пут. сообщ.», № 107, 1930 г.

в) устройство в Детском селе гидравлического лотка с резервуаром для исследования плотинных и иных гидротехнических конструкций на моделях особо крупного масштаба с очень значительными секундными расходами воды;

ж) устройство в Ивановских порогах р. Невы опытно-наблюдательной станции для изучения явления донного льда и других факторов зимнего режима реки;

з) устройство в пределах помещения существующей лаборатории опытового бассейна для испытания судовых моделей малого масштаба.

Предложение, касающееся устройства на р. Неве опытно-наблюдательной и ледовой станции, мотивировалось необходимостью систематического изучения зимнего режима рек на реальном и легко доступном примере в продолжении тех отрывочных исследований, которые делались от времени до времени. При этом предполагалось, что параллельно с наблюдениями и опытами большого масштаба должны производиться и соответствующие чисто лабораторные исследования.

Проект развития гидротехнической лаборатории Ленинградского института путей сообщения получил только частичное осуществление, не коснувшееся ни в какой мере вопроса о ледовой станции на р. Неве, и этот вопрос остается вполне открытым. Более того — все возрастающее значение больших рек СССР, и в частности реки Невы, как источников энергетических ресурсов, дает основание думать, что его разрешение в порядке, указанном в настоящем труде, при посредстве соответствующих организаций представляется настоятельно необходимым и своевременным.

14. Обследование ледовых явлений, установленное Энергостроем на гидроэлектрических станциях в 1930 г.

В 1930 г. Энергостроем было установлено систематическое обследование ледовых явлений на гидроэлектрических станциях. С этой целью станциям предложено доставлять Энергострою, а также государственному институту сооружений в Москве и государственному гидрологическому институту в Ленинграде сведения по следующей программе:

А. Основные данные.

Станция. Местоположение. Основные сведения. Состав сооружений. Число агрегатов. Их данные. Характер нагрузки. Зимняя нагрузка. Возможность ее беспрепятственного отключения в случае аварий или нарушений нормальной работы станции.

Б. Лед и его проявления.¹

1) Ведутся ли на имеющихся гидрометрических постах наблюдения над ледовым режимом реки, в частности над шугой и донным льдом?

2) Установлена ли твердая терминология и признаки оттаяния шуги от донного льда и от прочих ледовых наносов (намокший снег, измельченный лед, забереги и пр.)?

3) Какие имеются инструкции для зимних наблюдений (приложить их)?

4) В какие часы производятся измерения температуры воды? Каким способом и какими термометрами? Деление шкалы последних и точность отсчета.

5) Персонал наблюдательных постов. Его подготовленность и осведомленность в вопросах ледяного режима.

6) Признаки, по которым обнаруживается в створе наблюдения наличие шуги или донного льда (непосредственное наблюдение, контрольные метки, приборы и т. п.).

7) Ведутся ли наблюдения за местами залегания донного льда и его движением? В каких участках реки наблюдается образование шуги и образование донного льда? Характеристика ложа реки, берегов, направления течения и глубина на этих участках (по возможности приложить карту реки и ее продольный профиль, хотя бы в схематичном виде). Грунт. Нет ли подводных камней и выступающих из воды?

8) Внешний вид шуги и донного льда. Цвет, плоучасть, строение (губкообразный, рыхлый, смятый), имеются ли включения посторонних тел и веществ).

9) Время образования и хода шуги. При каких обстоятельствах и условиях погоды наблюдается образование шуги и донного льда? Время дня. Погода. Влажность. Облачность. Наблюдается ли образование при солнечном свете? Время выплывания. Явления, сопровождающие выплывание (шум, переворачивание глыб, изменение цвета). Размер выплывающих глыб. В какое время преимущественно наблюдается выплывание (в солнечную погоду, в теплую или также и в холодную пасмурную)? Характер хода (сплошной массой или отдельными глыбами). Бывают ли заморы или затары и в каких местах? Сколько живого сечения стеснено? Не бывают ли заморы в створе работ, где русло стеснено дамбами и перемычками?

10) Наблюдается ли незамерзшие места (полыньи) выше плотин, в ее верхнем бьефе, на каком расстоянии от плотины, как долго полыньи остаются незамерзшими? Наблюдается ли связь между образованием полыньи и появлением донного льда? Подробно описать более подробно участки реки, где образуются полыньи (план, глубина, причины образования полыньи).

!

Б. Ледовые затруднения.

1) Не бывает ли случая забивки донным льдом или шугою мельниц на реке? Забиваются ли головы каналов или самые каналы и колеса? При какой погоде происходит забивка (см. выше п. 9)?

2) Бывают ли ледовые затруднения с силовой станцией? Какого характера, когда происходят? Перечислить даты затруднений работы за последнюю году (по возможности за более длительный период). Время начала затруднений (час дня). Метеорологические условия.

3) Краткое описание сооружений станций (приложить план, разрезы); головное сооружение, канал, водонапорный бассейн, силовая станция. Имеются ли решетки? Их тип, размеры, сечение полоз, зазор. Эскиз устройства. Рассчитаны ли на полное забитие? Устройство водонапорного бассейна или входных отверстий турбинных камер (у низконапорных установок). Трубопроводы, размеры. Как уложены; открытая ли местность, поросль или лесные насаждения? Расположение по отношению к господствующим ветрам. Канал или тоннель? Длина, размеры, направления. Силовая станция. Размеры турбин. Поперечное сечение станции. Отводный канал.

4) Где происходит забивка льдом? При каких обстоятельствах начинается и как обнаруживается? Откуда лед приносится? Происходит ли забивка сразу или постепенно? В последнем случае время полной забивки и толщина наростшего слоя. Внешний вид наростшего льда. Было ли замечено включение в лед посторонних тел и веществ? Возможно подробнее описать явления, базировавшиеся главным образом на станционном журнале, дополнив его рассказами очевидцев. Показания последних выделить от записей журнала, указывая по крайней мере должность и положение очевидцев, а по возможности и фамилию.

5) Выписки из станционных журналов. Нагрузка, открытие лючков, горизонты и т. п. Ход измерения нагрузки, как основной фактор работы станции (график работы станции во время аварии). Пробовали ли уменьшать нагрузку агрегатов? Какие нарушения в нормальной работе турбин были замечены с ледовыми затруднениями (забивка водопровода, перегрев подшипников, нагрев масла в охлаждающей ванне подшипника и т. п.)? Не было ли забивки колес или направляющих аппаратов турбин?

6) Возможно подробнее и полнее описать, какие меры защиты и ликвидации ледовых затруднений были приняты и их успешность. Если очищались решетки, то как производилась эта операция и как долго длилась. Не пробовали ли поддерживать работу турбины путем шурования решеток граблями, скребками и т. п.? Сколько рабочих было занято на работах?

7) Как долго станция стояла? Во сколько можно оценить остановку станции (недоработка энергии) и стоимость мероприятий по борьбе со льдом?

8) Какие меры борьбы со льдом предполагаются применить в будущем? Не предполагается ли применять электрическое оборудование?

9) Принимались ли какие-либо меры для ликвидации полыньи, какие именно, и какие получились результаты?

Цель предпринятого в указанном порядке обследования — «введение единого метода изучения явлений донного льда и шуги, а также разработка способов борьбы с их вредными влияниями на гидротехнические сооружения вообще и в частности на работу гидростанций».

Несомненно важное значение поставленной цели в связи с особенностями предмета исследования, конечно, не позволит ограничиться однократным доставлением требуемых сведений с мест. Нужны три группы данных:

а) доставляемые однократно для характеристики установок;

б) доставляемые неоднократно для характеристики способов производства наблюдений;

в) доставляемые периодически для сообщения результатов каждого сезона.

Полученный таким порядком материал требует для его научной обработки наличия параллельных исследований, поставленных на вполне научной базе, что может быть осуществлено лишь при наличии хотя бы одной постоянной научно-исследовательской ледовой станции.

15. Научные исследования ледовых явлений, возникшие вокруг практических нужд р. Невы и ее бассейна.

Обстоятельства производства на р. Неве и в ее бассейне исследований ледовых явлений должны были привести и привели к постановке научных вопросов о природе льда и о законах его образования, развития и исчезновения, а также взаимодействии льда и водного потока, его русла, сооружений и пр. Попытки найти решение этих вопросов в научных работах западных ученых не привели к удовлетворительным последствиям.¹ Разные учреждения и лица стали на путь самостоятельных работ, отмеченных в предшествующем изложении и нашедших себе развитие в экспериментальных исследованиях В. Я. Альтберга.² Предложенная им теория образования донного льда вызвала возражения канадского профессора Барнеса³ и у нас еще не встретила общего признания.⁴

Из сказанного видно, что вокруг практических нужд р. Невы и ее бассейна возникали научные исследования ледовых явлений, еще не давшие окончательных выводов и нуждающиеся в широкой дальнейшей постановке. Последняя возможна только при наличии соответственной организации. Ее и даст намечаемая постоянная ледоисследовательская Невская станция.

16. Заключение.

Приведенные в предшествующем изложении данные и соображения дают основание для признания необходимости создания в северо-западном районе водной сети СССР постоянной ледоисследовательской станции и притом на р. Неве. Станция эта должна обнимать собою наблюдение над условиями зарождения, стабилизации и разрушения ледяного покрова, его влияния на русло, берега и самые воды речного потока, его действия на сооружения, устраиваемые с разными целями, каковы мосты, плотины и пр., способов борьбы с ними и его использование и т. д.

Независимо от результатов исследований, применяемых к гидротехническим задачам самой реки Невы и ее ближайших водоемов, названная станция должна являться в известной мере базой для взаимной увязки наблюдений на отдельных реках и других водосмах района, их корректирования, упрощения, ускорения и приведения к виду, допускающему безбоязненное использование для практических целей.

Состав устройств, постоянных и временных, каким должна располагать ледовая станция, в виде реперов, футштоков, мареграфов, створов,

¹ Е. И. Погансон, Зимний режим р. Волхова, 1927 г.

² «Известия росс. гидрол. института», № 1—3, 1921 г.

³ Barnes, Ice Engineering, 1928 г.

⁴ Е. И. Погансон, см. выше.

наблюдательных зданий, судов, инструментов, ледяных динамометров и других аппаратов, взрывчатых материалов и пр. и личный состав этой станции могут быть вполне определенно установлены лишь по выработке программы работ и составления инструкции, учитывающей срочность и очередность работ, а также и финансовые возможности. Отправным пунктом для последней цели может служить, повидимому, в известной мере программа, составленная автором еще в 1912 г. (§ 10), с введением в нее дополнений и изменений, необходимых при современном более широком значении изучения ледовых явлений на реках. Такая дальнейшая разработка задачи требует, конечно, прежде всего принципиального решения вопроса о создании на р. Неве постоянной районной ледоисследовательской станции.¹

¹ Настоящее исследование составлено автором, как руководителем группы ледотехники Государственного института сооружений, в сентябре 1930 г.; дальнейшее развитие заключающихся в нем идей по вопросу о Невской ледоисследовательской станции изложено в особой монографии того же автора, подготовляемой к печати.

Проф. В. Е. Тимонов.

ИНОСТРАННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЛЕДОВЕДЕНИЯ.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛЬДА НА ГИДРОСИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ ПО ДАННЫМ АМЕРИКАНСКОГО ОБЩЕСТВА ГРАЖДАН- СКИХ ИНЖЕНЕРОВ.

1. Введение.

Отводя в своем тематическом плане обширное место ледотехнике и взяв на себя, в частности, инициативу разработки проекта специальной ледоисследовательской станции с ледотехнической при ней лабораторией, Научно-исследовательский институт гидротехники Энергоцентра признал необходимым предварительно собрать в возможно полной мере путем специальной командировки представителя института все доступные материалы об отдельных попытках подобной постановки ледовых исследований за границей.¹

До осуществления такой научной заграничной поездки было намечено производство по указанному вопросу анкеты посредством письменных сношений с учреждениями и отдельными деятелями Европы и Америки, занимающимися изучением свойств ледяного покрова, условий его образования, действия льда на сооружения, борьбы с ледовыми затруднениями и пр., а также посредством некоторых особых библиографических изысканий.

Получаемые этими путями данные, помимо своего прямого назначения, отмеченного выше, могут представить интерес и для общих вопросов ледотехнического дела в СССР. Сообщение соответственных сведений, приуроченных к отдельным странам, представляется поэтому вполне уместным, хотя бы в кратком изложении.

В первом из намечаемых с этой целью очерков имеется в виду дать краткую характеристику работ по ледовым вопросам Американского общества гражданских инженеров. Материалами послужили здесь данные, сообщенные автору, как пожизненному члену названного Общества, его дирекцией, а также дополнительные сведения, любезно присланные ему инженером Дж о н о м Ф р и м е н о м, членом ледовой комиссии Общества.

¹ См. В. Е. Тимонов, Ледотехника как совокупность научных дисциплин важного значения для народного хозяйства СССР, Известия Научно-исследовательского института гидротехники, № 2.

3. Общие указания.

Вопросы, связанные с влиянием ледовых явлений на условия устройства и эксплуатации гидросиловых установок, многократно останавливали на себе внимание американской техники и получили специальное освещение в трудах особой комиссии энергетической секции Американского общества гражданских инженеров, учрежденной в 1923 г. и закончившей свои занятия в 1929 г. (American Society of Civil Engineers. Paper N 1788. «Ice as Affecting Power Plants», Final Report of Committee of Power Division With Discussion C. M. Daily, Transactions, Vol. 95 (1931), p. 1134).

Комиссию составляли: Фримен (John Freeman), председатель; Шенехон (Francis Shenehon), инженер-консультант; Харпер (John Harper), инженер о-ва «Niagara Falls Power Company», Мед (Daniel Mead), профессор гидравлики и санитарной техники.

Работы комиссии производились в трех направлениях: производства наблюдений, составления программы и собирания фактов из текущей практики. Имелось в виду также поставить некоторые экспериментальные исследования, но это намерение не было осуществлено. Метод работ комиссии состоял в предварительном изучении отдельных вопросов ее членами и посторонними приглашенными лицами, в осмотрах гидросиловых установок, в библиографических изысканиях и, наконец, в последующем обмене мыслей по собранным материалам.

Доклады составили следующие лица:

Шенехон и Фримен (два отдельных доклада) — о применении пара и нагретого воздуха для устранения ледовых затруднений на гидросиловых установках.

Мед — о конструкции решеток, способных предупреждать ледовые затруднения или бороться с ними.

Сабп — о ледовых затруднениях на гидросиловых установках на р. Сент-Мэри и мерах борьбы с ними.

Уокер — о ледовых затруднениях в устьях водозаборных устройств больших паровых станций и мерах борьбы с ними.

Мерфи (I. Murphy), инженер-электрик канадского министерства железных дорог и каналов — об образовании льда и мерах борьбы с ней в Канаде.

Хогг (T. Hogg), инженер общества «Hydro-Electric Power Company of Ontario» — о ледовых проблемах гидросиловых установок.

Проф. Барнес — о составе воды и природе льда.

Из осмотров должно быть отмечено посещение председателем комиссии в 1927 г. гидроэлектрических установок Норвегии и Швеции и ознакомление на месте со способами, применяемыми скандинавскими инженерами для борьбы с ледовыми затруднениями.

Библиографические изыскания производились в 1926—1927 гг. систематически в библиотеке американского инженерного общества по следующей программе: 1) ледовые явления на подходах к гидросиловым установкам и ледовые явления на таковых, сопровождающиеся уменьшением напора; 2) плавающий лед, втягиваемый в водозаборные или водоподводящие каналы; 3) ледяной покров и его действие на элементы гидросиловых установок; 4) шуга и ее действие на элементы гидросиловых установок; 5) поверхностный рыхлый лед разных видов (см. ниже в отделе физической характеристики льда) и его действие на эле-

менты гидросиловых установок; 6) комплексные ледовые явления и их действие на элементы гидросиловых установок.

В настоящем кратком обзоре деятельности указанной ледовой комиссии имеется в виду охарактеризовать принятую постановку вопроса в целом и дать некоторые указания относительно рекомендуемых мер борьбы с ледовыми затруднениями на гидросиловых установках.

3. Теоретические обоснования замерзания воды.

В рассматриваемом докладе ледовая комиссия приняла для теоретического обоснования замерзания воды соображения и данные, предложенные проф. Барнесом в его докладе 7 января 1929 г. энергетической секции Американского общества гражданских инженеров — о составе воды и природе льда (Prof. Barnes, The Constitution of Water and Nature of Ice, Proceedings Am. Soc. Civ. Eng., March 1929, p. 685) и воспроизводящие в той или иной мере указания его известного трактата по ледотехнике (Prof. Barnes, Ice Engineering, Montreal, 1928).

Существенные черты этих обоснований сводятся прежде всего к признанию наличия в воде, приближенной к моменту замерзания, льда в жидком состоянии, подобно тому, как в насыщенном растворе какой-либо соли последняя находится в жидком состоянии перед моментом кристаллизации. Эта идея поддерживалась Рентгеном еще в 1892 г. Признается далее, что вода в парообразном виде имеет простые молекулы (гидроль). В жидком виде вода имеет двойные молекулы (дигидроль), а в твердом — тройные (тригидроль). По мере изменения температуры воды от точки кипения до точки замерзания в ней все возрастает количество молекул типа тригидроля. При 100°C они составляют около 16%, а при 0° достигают 37%. Эти положения, а также идентичность молекулы льда и тригидроля считаются доказанными исследованиями физических свойств воды — удельной теплоты, плотности и вязкости.

Чтобы вызвать образование твердого льда из насыщенного ледяного раствора, каким является вода при 0° , необходимо некоторое ничтожное понижение температуры (до $-0,01^{\circ}$). Первые ледовые осадки имеют коллоидальный характер. В дальнейшем хлопья растут и, проходя через коллоидально-кристаллические формы, развиваются в настоящие кристаллы. В естественных условиях процесс происходит при весьма ничтожном переохлаждении воды вследствие непрерывного ее подогревания выделяющейся при замерзании теплотой. В лаборатории можно достигнуть переохлаждения до нескольких градусов и получить таким образом сильно перенасыщенный раствор льда. В таком растворе кристаллизация происходит очень быстро, если в него бросить кусочек льда или привести жидкость в движение.

4. Физическая характеристика льда.

В отношении вопроса о структуре и физическом свойстве льда ледовая комиссия вполне солидаризовалась с суждениями проф. Барнеса, и труд его, указанный выше, был использован ею полностью. Имея в виду остановиться на выводах и предложениях этого труда в другом месте,

е) Поверхностный ледовый покров типа «а», разрушающийся (гниющий) на месте и распадающийся иногда на длинные игольчатые кристаллы (honeycomb ice).

ж) Плавающий на поверхности воды снеговой покров или лежащий на ледяном покрове снег, пропитанный водой и давящий на лед своей тяжестью (slush ice).

з) Замерзший снеговой покров типа «ж» (snow ice).

и) Тонкий ледовый покров типа «а», взламывающийся на некоторых реках по мере образования (shell ice).

к) Нагромождения льда, образовавшегося из водяных брызг или иного действия воды (floe ice).

2. Срединные формы.

л) Капнеобразная масса ледяных частиц, наполняющая собой толщу открытой текущей переохлажденной воды и являющаяся игольчатой формой твердого льда, образующееся из тригидрольных молекул воды (frazil или needle ice).

м) Скопление льда типа «л», «п», «ж», «и», и «б» под сплошным ледяным покровом типа «а», образующееся ниже открытого речного участка с быстрым течением (hanging ice).

3. Донные формы.

н) Скопления кристаллов льда, образующихся на погруженных в воду предметах (камни и пр.) и, возможно, возрастающих за счет льда типа «л» (anchorage ice).

Следует указать, что старшим гидрологом В. Я. Альтбергом составлен по поручению Научно-исследовательского института гидротехники труд под заглавием «Донный лед и его роль в народном хозяйстве СССР», рассматривающий в числе других и вопрос о формах льда (рукопись этого труда находится в названном Институте).

6. Вредные ледовые явления на гидросиловых установках.

Вредные ледовые явления на гидросиловых установках, могущие оказывать то или иное неблагоприятное воздействие на работу последних, классифицируются ледовой комиссией Американского Общества Гражданских Инженеров следующим образом:

а) Уменьшение стока из озера или искусственного водохранилища вследствие ледообразований в водовыпускном русле.

б) Скопления льда в водохранилищах — естественных или искусственных.

в) Скопления льда в подводящих каналах или передовых водоемах (аванкамерах).

г) Уменьшение напора силовой установки, вследствие подпора низовых вод под влиянием ледообразований в русле, отводящем отработавшую воду.

д) Затруднения в маневрах затворов при температуре воздуха ниже 0°.

е) Ледообразования на водосливах или застревание на них льдин, ведущие к уменьшению водопрпускной способности от забивания ледяными массами.

ж) Ледообразования на элементах водохранилищных устройств при колебаниях уровня воды в водохранилищах.

- з) Давление льда на гидротехнические сооружения.
- и) Закупорка льдом решеток.
- к) Закупорка льдом задвижек и турбинных кожухов.
- л) Ледообразования на предохранительных сетках водозаборов конденсационных устройств паровых машин.

Все эти виды ледовых явлений могут происходить в разных географических широтах и при разных степенях холода. Успех борьбы с ними признается не зависящим непосредственно от этих обстоятельств и возможным везде при условии принятия должных мер.

7. Методы борьбы с ледовыми затруднениями.

По отношению к методам борьбы с ледовыми затруднениями на гидросиловых станциях ледовая комиссия указывает, что в общем ледовые затруднения — «консолидированные холодовые затруднения» и что основным средством борьбы является тепло, применяемое в зависимости от обстоятельств и условий данного случая, в виде:

- а) теплового запаса воды, скопленной в водохранилищах (естественных или искусственных) под толстым покровом из льда и снега;
- б) солнечного излучения;
- в) нагретого воздуха, получаемого в качестве побочного продукта из генераторных кожухов;
- г) конденсационной воды паровых установок, могущей направляться для согревания всасывающей воды;
- д) электрической энергии и т. д.

Эти общие указания иллюстрируются комиссией примерами из американской и иностранной практики успешно осуществленных приемов борьбы с ледовыми затруднениями того или иного рода. Наиболее существенные из этих указаний приводятся далее в порядке, принятом выше для классификации вредных ледовых явлений.

8. Уменьшение стока.

Уменьшение стока из озера вследствие ледообразований в водовыпускном русле поясняется примером р. Сент-Клар, служащей водоотводом из озера Гурон. Падение этой реки от Порт-Гурона до оз. Сент-Клар на протяжении 40 миль составляет 5,5 футов. Расход ее сильно изменяется при переходе от летнего режима к зимнему, когда река покрывается льдом, так как в этот период одновременно уменьшается живое сечение и увеличивается сопротивление стоку от добавочного трения о лед. Уменьшение расхода вследствие этих причин доходит до 50%. Подобные же явления наблюдаются на р. Ниагаре и р. Св. Лаврентия. Средством борьбы является обращение реки с быстрым течением в ряд подпертых глубоководных бьефов с медленно движущейся водой. Это средство имеется в виду к осуществлению на р. Св. Лаврентия после ее преобразования в крупнейшую судоходно-энергетическую артерию.

9. Скопление льда в водохранилищах.

Скопление льда в водохранилищах, естественных или искусственных, могут являться источником крупных затруднений в работе гидросиловых установок во время более или менее длительного осеннего или весен-

него ледохода. Ледины разных размеров и состава, кроме непосредственного воздействия на элементы гидросиловых установок, образуют от времени до времени ледовые заграждения в истоках водопроводных русел; заграждения эти однако могут быть и полезными, задерживая дальнейший ледоход.

Подобные благоприятные явления наблюдаются на оз. Ири в истоке р. Ниагары, на оз. Венери в истоке р. Гота (Швеция) и др. Отсюда мысль об устройстве для систематической задержки льда в истоках озерных рек искусственных сооружений в виде дамб типа волномолов или иных, предлагаемых к осуществлению, между прочим, для истоков р. Ниагары (A. Ekwal, «Utilisation of Water Power and Inland Navigation, World Power Conference, 1926, Section 27, p. 7).

10. Скопление льда в каналах и водоемах.

Скопление льда в водоподводящих каналах или передовых водоемах (аванкамерах) влечет за собой много эксплуатационных осложнений и затруднений. Если подводящий канал длинен, потеря напора в нем возрастает вследствие образования сплошного ледяного покрова или вследствие покрытия поверхности воды медленно движущимися льдинами, или вследствие образования ледяного затора. Наилучшим способом борьбы с этим неудобством признается сброс в сторону льда, стремящегося поступить в водопроводящий канал или аванкамеру (из реки или резервуара). При этом поверхностная вода, несущая лед, направляется по линии движения потока, а энергетическая вода берется из средних или нижних слоев предпочтительно под прямым углом к первому направлению (B. Grot, Ice Diversion, Hydraulic Models and Hydraulic Similarity, Transactions, Americ. Soc. C. E., Vol. LXXXII). Направляющие донные перегородки или заборные трубы могут содействовать созданию устойчивого поперечного течения нижних слоев воды. Энергетическую воду можно пропускать под экранной стеной, параллельной поверхностному течению, и притом со скоростью, достаточно малой, чтобы не было засасывания льда.

Все эти указания широко используются на практике. Так, они применяются неоднократно на гидросиловых установках Ниагарского водопада. Станция компании «Олтарно» имеет поверхностный ледосбросный поток и параллельную ему экранную стену, прикрывающую водозаборные устройства турбин. Подход к водозаборному каналу компании «Ниагара Фоллс» ограждается бонами и искусственно образуемыми ледовыми скоплениями для направления ледохода к водопаду. На случай попадания плавающего льда в этот канал, или образования в канале льда, устроен подъемник с бесконечной цепью, который механически привлекает льдины из воды и сбрасывает их в сторону. Раньше для этой цели применялся особый ледоспуск.

Наиболее благоприятным решением вопроса о борьбе со льдом на подходах к гидросиловым станциям признаются забор воды из глубоких бассейнов, хорошо утепленных покровом из льда и снега. В таких резервуарах даже в середине зимы температура воды у дна близка к температуре при наибольшей плотности; по мере приближения к ледовому покрову температура воды понижается и у льда достигает около 0°. Покров из льда и снега является изолирующим слоем, который

препятствует потере тепла из воды. С другой стороны, имеется приток тепла от радиации дна и в известной мере от солнечной радиации, проникающей сквозь ледо-снеговой покров. Замерзание воды у нижней поверхности последнего также освобождает некоторое количество тепла. При таких условиях в воде с медленным течением и взаимным перемещением слоев в вертикальном направлении средняя температура воды значительно выше 0° ($+1,6^{\circ}\text{C}$).

С указанной целью отепления было предложено (Ф р и м е н о м) устройство у Нпагарского водопада, ниже водозаборов названных трех установок, водоподъемной плотины с подпором в 10 фут. (3,05 м), которая замедляла бы скорость течения и позволяла бы образовываться сплошному ледяному покрову между оз. Ирп и водопадом. В некоторых случаях возможно обеспечить создание такого покрова посредством бонов, как это имеет место у Трольгетанской станции на р. Гота в Швеции.

Наиболее яркое выражение принципов отепления источника энергетической воды нашло себе применение в новейших скандинавских гидро-электрических установках, находящихся в северных районах Швеции, каковы Порьюс на р. Люлео и Рьюкан на р. Мана. На обеих установках вода берется из глубокого резервуара, укрытого толстым слоем льда и снега, и проводится к турбинам и от них в нижний бьеф по высеченным в гранитной скале туннелям, причем замерзание избегается вполне. Но на той же реке, где находится вторая из названных станций, имеется лежащая ниже установка (Свелтфосс), на которой нельзя было предупредить ледовые затруднения указанным порядком, и на борьбу с ними приходится тратить до 10% энергии, добываемой в периоды морозов.

11. Уменьшение напора.

Уменьшение напора вследствие подпора низовых вод под влиянием льдообразований в отводящем отработавшую воду русле находит место на гидросиловых установках многих рек Америки. Такова река Св. Лаврентия у Монреаля, где (у Лачинских порогов) происходит зимний подпор до 12 фут. у Моррисбурга (пороги Пиа), где зимою подпор достигает 11 фут. и др. Спрямление и углубление русла может способствовать улучшению зимнего стока. Более коренным решением вопроса является замена мелководной порожистой части глубоководным плесом с медленным течением воды.

12. Затруднения в маневрах.

Затруднения в маневрах затворов при температуре воздуха ниже 0° устраняют применением пара, получаемого наиболее удобно из электрически нагреваемого котла. Применение сжатого воздуха, выпускаемого в виде пузырьков на верхней по течению стороне затвора, также оказывает часто полезное действие и вместе с тем устраняет давление льда на затвор. Возможно и непосредственное нагревание затвора электрическим током, как это делается на гидросиловой установке в Сольбергфоссе (Норвегия, Осло).

13. Водосливы.

Ледовые затруднения на водосливах, ведущие к уменьшению их водопропускной способности, особенно в случаях, когда ледоход происходит при высоком уровне воды, требует от водосливов непрерывного, воз-

можно более длинного гребня. Поэтому применение для закрывания водопропускных отверстий откатных затворов с большими пролетами предпочтительнее стонесевских или тейнторовских щитов. Еще лучше опускаемые затворы, как совершенно освобождающие гребень водослива. Для воспрепятствования намерзанию льда на гребне водослива может служить в пустотелых бетонных плотинах система нагревательных труб, проложенных в камере плотины и питаемых паром от электрического котла (плотина Норрфорс системы Альберсена в Швеции). Отмечается возможность устраивать бычки по водосливу без наклонного ледорезного ребра, а с плоской обращенной вверх по течению гранью, так как образующийся перед ней водяной конус достаточен для отталкивания в сторону бревен и льдин (плотина Хаммерфоссен в Швеции).

14. Намерзание льда в водохранилищах.

Ледообразование на элементах водохранилища при колебаниях уровня последнего могут вызывать более или менее значительные повреждения. Они обнаруживались в Америке, например в горных водохранилищах, при непрерывном опорожнении их в зимние месяцы, а также на бетонных плотинах, где под влиянием намерзания льда бетонная кладка разрушалась. Средства защиты — придание бетону особой водонепроницаемости или оботривание плотины. Второе признается более действительным, когда оно возможно по конструктивным соображениям. Например в многосводчатых плотинах, где можно устроить изоляционную стену на низовой стороне, снабдить пустоты плотины отопительными приборами того или иного типа и поддерживать в них температуру около $\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$, что достаточно для предохранения верхней стороны от намерзания льда (Multiple — Arch Dam at Gem Lake on Rush Creek California, Transactions. Am. Soc. C. E., Vol. 89 (1926) p. 713).

15. Давление льда.

Давление льда на гидротехнические сооружения определяется обычно как функция сопротивления льда раздавливанию. Принимая последнее в 400 англ. фунтов на кв. дюйм (2,8 кг на кв. см), Барнес (Ice Engineering p. 214) дает для давления льда в слое толщиной 6, 8, 10, 12 дюймов соответственно 28 000, 33 400, 48 000 и 57 600 фунтов на пог. фут (37,6; 51,5; 64,4; 77,3 т на пог. м). Другие авторы предлагают иные величины. Так, Велль (Proceedings, Am. Soc. C. E., vol. I, 1911, p. 41) находит, что плотина, подверженная полному давлению льда, должна быть рассчитана на сопротивление в 43 000 — 48 000 фунтов на пог. фут (57,7 — 64,4 т на пог. м), а Фан-Бурен (American Civil Engineers Handbook, Fourth Edition, p. 709) рекомендует 40 000 фунтов на пог. фут 53,7 кг на пог. м). Для плотины в Кенсико было принято 47 000 фунтов на пог. фут (63,1 т на пог. м), для плотины Кросс-Ривер — 24 000 фунтов на пог. фут (32,2 т на пог. м) и т. д. (тот же источник, что и для данных Фан-Бурена). Для многосводчатой плотины на р. Люлео (Швеция) за полярным кругом, где температура падает до -45°C и толщина льда превышает 3 фута, было принято давление льда несколько менее 40 000 фунтов на пог. фут (53,7 т на пог. м). Эти разнообразные и вообще очень значительные величины давлений признаются несоответствующими физической действительности, так как, ледяное поле должно

потерять свою цельность ранее достижения льдом предельного напряжения. Вспалзывание же краев этого поля на откосы резервуара должно препятствовать развитию сколько-нибудь значительного давления льда на плотину. Доказывается (Transactions Amer. Soc. C. E. Vol. 75, p. 164), что приятие для расчета плотин указанных выше больших величин давления льда приводит к абсурдно большим размерам низких плотин, не оказывая влияния на размеры высоких плотин.

Признается ненужным (Amer. C. E. Handbook) принимать в расчет давление льда на плотины за исключением случаев, когда резервуар имеет очень короткое протяжение и его откосы очень круты. Для уменьшения фактического давления льда на плотины следует пропильвать (ручным способом) прорез во льде вдоль плотины или пускать струи сжатого воздуха.

Специальное исследование вопроса о действии ледяного покрова на сооружения было выполнено, в порядке, указанном в § 4, инж. п. с. А. Н. Комаровским в 1930 — 31 гг. Труд этот напечатан Энергоиздатом и имеется в рукописи в библиотеке Научно-исследовательского института гидротехники.

16. Закупорка решеток.

Закупорка льдом металлических решеток, достигающих уровня воды в реке, несущей шугу, может при длительной морозной погоде достигнуть полной водонепроницаемости. Где такая возможность имеется, решетки или их опоры, или то и другое, должны быть рассчитаны на полное статическое давление воды. Там, где решетки помещены в отапливаемой камере, все же необходимо соблюдать приведенные выше условия для опорных частей, так как их повреждение влечет за собой длительную остановку для исправления. Желательно обогревание решеток для предупреждения обмерзания. Естественнее и простейшее устройство для этого — камера решеток с экранной стеной для задержки плавающего льда, отапливаемая теплым воздухом из генераторных кожухов (пример — установка Норрфорс в Швеции). При таких условиях поддержание в камере температуры воздуха несколько выше 0° оказывается достаточным для предупреждения обмерзания решеток. Если возможно, следует помещать решетки так, чтобы они подвергались действию солнца и вместе с тем были предохранены от ночной радиации.

Однако на реках с большими количествами шуги (например, р. Гота в Швеции) нужны еще дополнительные меры. Там тонкие сетки в шуговой период вынимаются, а остаются только грубые решетки с расстоянием между стержнями в 6 дюймов и больше, причем имеется наготове электрическое обогревание, которое может быть пущено в ход по первому требованию. Электрическое обогревание нужно не непрерывно, а главным образом во время пиковых нагрузок. Оно требует значительного расхода энергии. По шведским данным Эквалл, главного инженера водных сил Швеции, на установках с подпором от 20 до 60 м оно поглощает от 30 до 40% производимой энергии.

Наличие в реке донного (якорного) льда, поднимающегося большими массами, увлекающего с собой песок, гравий и камни и движущегося ниже поверхности воды, усложняет отвод льда в сторону, уменьшает защитное действие экранных стен и затрудняет извлечение из воды нижних решеток.

17. Закупорка задвижек и кожухов.

Закупорка льдом задвижек и турбинных кожухов может происходить в небольших установках с турбинами на горизонтальных осях. В этих случаях применение пара, электрического тока или сжатого воздуха давало удовлетворительные результаты. Кроме таких мер предлагается ряд других: например устройство турбинных кожухов из бетона с заделанными в кладку электрическими грелками (Hogg, *The Canadian Engineer*, Novemb. 11, 1924, p. 497), применение для разрушения льда термита (Barnes, *Engineering Journal*, *The Engineering Institut of Canada*, Nov. 1926), применение хлористого кальция и пр. Ледовая комиссия Американского общества гражданских инженеров находит, что в подобных случаях гораздо рациональнее не прибегать к драстическим мерам, когда уже произошла закупорка, а, напротив, правильное предупреждать последнюю такими мерами, как поддержание температуры на несколько тысячных градуса выше нуля во всех местах, где можно опасаться примерзания льда к металлическим конструкциям.

18. Предохранительные сетки водозаборов.

Ледообразования на предохранительных сетках водозаборов конденсационных устройств паровых машин могут быть источником серьезных затруднений, подобных тем, какие встречаются в водопроводной практике на водозаборах речных и озерных водопроводов. Средства предупреждения и борьбы здесь те же. К ним прибавляется еще применение для сотривания обратного тока конденсационной воды. Этому методу придается большое значение в экономическом отношении (Walker, *Proceedings Amer. Soc. C. E.* March 1929, p. 689).

19. Вывывы.

В заключение ледовая комиссия Американского общества гражданских инженеров останавливается на вопросе о борьбе с ледяным покровом у гидросиловых установок посредством взрывов, отмечая, что это — особое искусство, требующее умелого применения взрывчатых и других веществ (Barnes, *Breaking of the Allegheny Ice Gorge of March 1926*, *Engineering Journal*, *The Engineering Institut of Canada*, Nov. 426).

20. Библиография льда в соотношении с гидросиловыми установками.

Разработанная ледовой комиссией Американского общества гражданских инженеров библиография льда обнимает собой нижеследующие названия трудов.

1881. — Francis J. B., *Anchor Ice*, 1881. (In «*Transactions*», Am. Soc. C. E., Vol. X, (1881), pp. 192 — 194; part of Presidential Address).

1882. — Report on Ice Harbor at the Head of Delaware Bay, 1882. (In *Annual Rept.*, Chfr of Engrs., U. S. A., 1882, Pt. 1, pp. 785 — 790.)

1884. — Ludlow, William, *Observations on the Crushing Strength of Ice*, 1884. (In «*Proceedings*», Engrs. Club of Philadelphia, v. 4, pp. 93 — 99.)

1891. — Dumble, J. H., *Some Observations on the Expansion and Contraction of Ice on Canadian Waters*, 1891. (In «*Transactions*», Canadian Soc. C. E., v. 5, pp. 270 — 308.)

Abstract, Movement of Bridge Piers by Expanding and Contracting Ice, 1893. (In «*Engineering News*», v. 29, pp. 41 — 42.)

- Editorial, 1893. (In «Engineering News», v. 29, p. 37.)
- 1893 — Failure of Small Dam, 1893. (In «Engineering Records», v. 27, p. 400.)
- 1894 — Freeman, John R., Hoisting Apparatus of the Canal Head-Gates at Sewall's Falls, N. H., 1894. (In «Transactions», Am. Soc. C. E., Vol. XXXII (1894), pp. 278—294; Discussion, pp. 294—332.) Pages 295, 304, 306—320 contain data from actual experience on the formation of anchor ice on canal head-gates.
- 1897 — Hudson, H. B., Effects of Mississippi River Floods on New St. Anthony Falls Dam, 1897. (In «Engineering News», v. 37, p. 290.)
- 1898 — Leonard, R. W., Masonry Pier Moved by Ice and Replaced, 1898. (In «Transactions», Canadian Soc. C. E., v. 12, pp. 131—134.)
- 1899 — Failure of a Minneapolis Dam by Ice Pressure, 1899. (In «Engineering Records», v. 39, pp. 542—549.)
- Rickey, W., Failure of Dam at Minneapolis Due to Previous Weakening Through Ice Pressure, 1899. (In «Engineering News», v. 41, p. 307.)
- Severe Test of Bridge Masonry, 1899. (In «Engineering Records», v. 40, p. 554.)
- 1903 — Cairns, R. A., Wigwam Reservoir Masonry Dam of Water-Works of Waterbury, Conn., 1903. (In «Engineering News», v. 49, pp. 418—419.)
- 1905 — Canadian Niagara Power To-Day, 1905. (In «Electrical World», v. 45, pp. 17—20.)
- 1906 — Barnes, H. T., Ice Formations with Special Reference to Anchor Ice and Frazil, 1906. (Pub. by Wiley, N. Y., 260 pp.)
- Patton, W. M., Practical Treatise on Foundations, 1906, Second Edition. (N. Y., Wiley, pp. 49, 107—113.)
- 1908 — Dilibos, M., Glaces de Mer, Glaces de Rivières, Manœuvres de Préservation et de Déglacage. (Protection from breaking of sea and river ice.) 1908. (In «Mémoires et Travaux» de la Société des Ingénieurs Civils de France, 1908, Pt. 2, pp. 860—923; Abstract, «Minutes of Proceedings», Inst. C. E., Vol. 179, pp. 441—442.)
- 1911 — Harrison, C. L., Provision for Uplift and Ice Pressure in Designing Masonry Dams, 1911. (In «Transactions», Am. Soc. C. E., Vol. XXXVII (1897), p. 142.)
- 1912 — Failure of Dam from Ice Pressure, 1912. (In «Engineering News», v. 65, p. 681.)
- Failure of dam, 150 ft. long, 21 ft. high, and 15 ft. wide, belonging to Port Henry Light & Power Co., Rockport N. Y. Ice, 3 ft. thick.
- Partial Failure of a Masonry Dam, Caused by Ice Pressure, 1912. (In «Engineering Records», v. 65, p. 94.)
- Wall, E. E., Ice Trouble at the St. Louis Water-Works, 1912. (In «Engineering News», v. 67 pp. 212—213.)
- 1914 — Barnes, H. T., Hayward, J. W., and McLeod, N. M., Expansive Force of Ice, 1914. (In «Proceedings», Royal Soc. of Canada, Series 3, v. 8, Section 3, pp. 29—48.)
- Fuqua, P. D., Breaking a Heavy Ice Jam in the Great Miami River, 1914. (In «Engineering News», v. 71, pp. 997—998.)
- Hendry, M. C., Ice-Troubles in Hydro-Electric Plants, 1914. (In «Canadian Engineer», v. 27, pp. 693—694.)
- Holtwood Dam Weathers Early Ice Run in Susquehanna River, 1914. (In «Engineering Record», v. 69, p. 421.)
- La Motte, A., Dynamiting Ice Jams, 1914. (In «Engineering Records», v. 69, p. 365.)
- Winter Operation of Stoney Gates, 1914. (In «Engineering Records», v. 70 p. 691.)
- Barnes, H. T., Crushing Strength of Ice, 1914. (In «Transactions», Royal Soc. of Canada, Series 8, v. 8, Section 3, pp. 19—22.)
- 1915 — Allner, F. A., Ice Fighting Is Systematized at Holtwood Hydro-Electric Plant, 1915. (In «Engineering Records», v. 72, pp. 66—68.)
- Allner, F. A., Severe Frazil Ice Attack at Holtwood Plant Does not Disturb Service, 1915. (In «Engineering Records», v. 72, pp. 113—115.)
- Bligh, W. G., Dams and Weirs, 1915. (Am. Tech. Soc., Chic., 206 pp.)
- Smith, C. W., Construction of Masonry Dams. (McGraw-Hill, N. Y., 272 pp.)
- Use of Special Gates to Prevent Ice Formation at Intake Screens, 1915. (In «Electrical World», v. 66, pp. 1030—1031.)
- 1916 — Morrison, C. E., and Brodie, O. L., Masonry Dam Design, 1916. (John Wiley Sons, N. Y., 267 pp.)
- 1917 — Greager, W. P., Engineering for Masonry Dams, 1916. (John Wiley Sons, N. Y., 229 pp.)
- Preventing Ice Troubles at a Connecticut Hydro-Electric Plant, 1917. (In «Electrical World», v. 69, pp. 184—185.)
- Smith, J. C., The Hydro-Electric Power Plant of the Cedars Rapids Manufacturing & Power Co., at Cedars, P. Q. 1917 (In «Canadian Engineer», v. 32, pp. 211—213; Abstract from «Transactions», Canadian Soc. Civ. Engrs.

1918 — Daily, C. M., Keeping Ice from Ports of Water Intake, 1918. (In «Engineering News-Record», v. 80, pp. 900 — 901.)

Davis, A., Protection of Keokuk Dam Gates from Ice Pressure by the Use of Air, 1918. (In Stone & Webster «Journals», v. 22, pp. 190 — 206.)

Groat, B. F., Ice Diversion, Hydraulic Models, and Hydraulic Similarity. 1918. (In «Transactions», Am. Soc. C. E., Vol. LXXXII (1918), pp. 1138 — 1151, and discussion.)

Installing Apparatus to Protect Dam from Heavy Ice, 1918. (In «Electrical World», v. 71, p. 778.)

New Installation Keeps Ice Away from Keokuk Dam. 1918. (In «Engineering News-Record», v. 80, pp. 821 — 823.)

Pierce, C. H. Effects of Ice on River Discharge, 1918. (In «Journals», Boston Soc. C. E., v. 5, pp. 414 — 419.)

Purcell, J. M. Ice in Hydro-Electric Plants. 1918. (In «Power», v. 48, p. 951.)

Slush Ice Prevention at the Denver, Colorado Water-Works Intake. 1918. (In «Engineering News-Record», v. 80, pp. 615 — 616.)

1919 — Bromley, C. H. Operation at Holtwood. 1919. (In «Power», v. 49, pp. 850 — 854.)

Russell, S. R. Method of Breaking Up Ice Gorges with Dynamite. 1919. (In «Engineering and Contracting», v. 51, pp. 217 — 218.)

Stickle, H. W. Monongahela River Navigation. 1919. (In «Proceedings», Engrs. Soc. W. Pa., 34, pp. 245 — 266; Discussion, pp. 267 — 277; Abstract, «Engineering and Contracting», v. 50, pp. 283 — 284.)

Wilson, R. M. Design of Hydro-Electric Plants for Combatting Ice Troubles. 1919. (In «Journals», Eng. Inst. of Canada, v. 2, pp. 383 — 395; Discussion in «Canadian Engineer», v. 36, pp. 237 — 242.)

1920 — Balderston, C. Ice Inside Cast-Iron Column Raises Floor. 1920. (In «Engineering News-Record», v. 84, p. 116.)

Carpenter, J. S. Ice Protection for Hydro-Electric Plant. 1920. (In «Power Plant Engineering», v. 24, pp. 1125 — 1126.)

Concrete Road Uninjured by Weight of Ice Jam. 1920. (In «Engineering News», v. 85, pp. 29 — 31.)
Eckhard, G. F. Large Highway Bridge Wrecked by Pressure of Cake Ice. 1920. (In «Engineering News», v. 84, pp. 902 — 904.)

Groat, B. F. Ice Diversion for St. Lawrence River Power Co. 1920. (In «Canadian Engineer», v. 39, pp. 545 — 552; Abstract in «Engineering and Contracting», v. 55, pp. 45 — 46.)

Merriman, M. Ice Pressure. 1920. (In Am. Civil Engr's, Handbook, 4th Edition.)

1921 — Murphy, J. Ice Formation and Its Prevention. 1921. (In «Canadian Engineer», v. 40, pp. 291 — 292, 294.)

1922 — Gaby, F. A. Queenston-Chippewa. Development of the Hydro-Electric Power Commission of Ontario. 1922. (In «Journals», Am Inst. Elec. Engrs., v. 41, pp. 508 — 526.)

Ice Handling Methods. 1922. (In «Proceedings», Nat. Elec. Light Assoc., v. 77, pp. 526 — 529; Abstract, «Power», v. 55, pp. 948 — 949.)

Stevens, J. C., Winter Overflow from Ice Gorging on Shallow Streams. 1922. (In «Transactions», Am Soc. C. E., v. LXXXV (1922), pp. 677 — 696; Discussion, pp. 697 — 698.)

Wegmann, E. Design and Construction of Dams. Seventh Edition 1922. (Wiley, N. Y. 555 pp.)

1923 — Anderson, C. N., Ice Prevention on Trash Racks by Electric Heating. 1923. (In «Electrical World», v. 82, p. 340.)

Skerrett, R. G., Reducing Ice Pressures with Compressed Air. 1923. (In «Canadian Engineer», v. 45, pp. 181 — 185.)

Walker, W. T., Ice Problems of Hydro Plants. 1923. (In «Engineering and Contracting», v. 60, pp. 1254 — 1264; Abstract of paper read before American Society of Civil Engineers, 1923.)

1924 — Bombing an Ice Jam. 1924. (In «Aviations», v. 16, p. 459.)

Effects of Ice on River Flow at Keokuk. 1924. (In «Electrical World», v. 83, p. 336.)

Freeman, John R., General Review of Current Practice in Water Power Production in America. 1924. (In «Transactions», First World Power Conference, v. 2, pp. 359 — 394.)

Hogg, T. H., Ice Problems at Hydro-Electric Plants. 1924. (In «Canadian Engineer», v. 47, pp. 498 — 500.)

Hollow Concrete Bridge Piers Built Like Chimneys. 1924. (In «Engineering News-Record», v. 93, p. 757; Discussion, v. 93, p. 924, and v. 94, p. 164.)

Hyatt, R. S., Preventing Ice Formation on Water Turbines. 1924. (In «Electrical World», v. 83, p. 386.)

Kennedy, J. H., Ice Control Methods at Shelburne Falls. 1924. (In «Power Plant Engineering», v. 28, pp. 895 — 896.)

Ruths, A., Ice Troubles in Norwegian Water Power Plants. 1924. (In «Transactions»,

First World Power Conference, v. 2, pp. 771 — 788; Abstract, «Engineering», v. 118, pp. 73 — 74, also «Engineering and Contracting», v. 62, pp. 805 — 809.)

Samson, A. F., Measures Taken in Sweden Against Ice Troubles at Water Power Plants. 1924. (In «Transactions», First World Power Conference, v. 2, pp. 806 — 811.)

Westerlind, A., Recent Practice in Swedish Water Power Engineering. 1924 (In «Transactions», First World Power Conference, v. 2, pp. 338 — 358.)

1925 — Broadhead, A. P., Prevention of Damage from Anchor Ice. 1925. (In «Electrical World», v. 86, p. 1108; also, «Engineering and Contracting», v. 65, p. 53.)

How to Blast Ice Jams. 1925. (In «Engineering and Contracting», v. 63, pp. 489 — 490.)

Ice Shove on High Bridge Piers. 1925. (In «Engineering News-Record», v. 93, p. 924; v. 94, pp. 164 — 165.)

Loughland, G. E., Ice Formations in the Main Sierra Canal, 1925. (In «Engineering and Contracting», v. 63, pp. 775 — 780; copied from «Military Engineer».)

Lowy, H. W., Overcoming Ice Difficulties at the Holtwood Power Plant, 1925. (In «Journals», Boston Soc. C. E., v. 12, pp. 142 — 149.)

1926 — Barnes, H. T., Ice Conditions in St. Lawrence River, 1926. (In «Canadian Engineer», v. 50, pp. 207 — 208.)

Carroll, E., Guniting Up-Stream Face of Dam as Precaution Against Ice Damage, 1926. (In «Engineering News-Record», v. 97, p. 432.)

Dispositif d'Evacuation des Glaces et Corps Flottants dans les Usines à Turbines Verticales. (Removal of Ice and Trash in Vertical Turbine Installations.) 1926. (In «Génie Civil», v. 88, p. 237; also, «Power», v. 63, p. 977.)

Franz, J., Preventing Ice on Flash-Boards. 1926. (In «Electrical World», v. 88, p. 1175.)

Ice Gorge Puts Power Plants Out of Commission, 1926. (In «Power», v. 63, p. 391.)

Ice Jams Do Much Damage Along Allegheny River, 1926. (In «Engineering News-Record», v. 96, p. 503.)

Reid, C. R., Overcoming Slush Ice Troubles, 1926. (In «Power», v. 63, p. 977.)

Removal of Ice and Trash in Vertical Turbine Installations, 1926. (In «Power», v. 63, p. 706.)

1927 — Schwenkhausen, H. Bisherige Ergebnisse der Eislastforschung der Studiengesellschaft für Hochspannungsanlagen e. V. (Previous Results of Ice Pressure Research of the Studiengesellschaft for High-Tension Installation.) 1927. (In «Elektrizitätswirtschaft», v. 26, Spp. 10 — 18.)

Ленинград, февраль 1932.