

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

---

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Л. Г. КАЧУРИН, И. А. СМИРНОВ, Л. И. ГАШИН

# ОБЛЕДЕНЕНИЕ СУДОВ

Учебное пособие

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
имени М. И. КАЛИНИНА

ЛЕНИНГРАД  
1980

I.

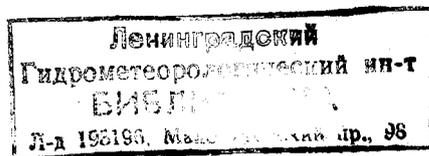
УДК 551.574.42.620.124.72.

*Одобрено Ученым советом  
Ленинградского гидрометеорологического института*

В учебном пособии рассматриваются гидрометеорологические условия обледенения морских судов, приводится методика расчета и прогноза обледенения, дана схема построения климатических карт вероятности обледенения.

Пособие предназначается для студентов гидрометеорологических институтов и университетов, специализирующихся в области морских прогнозов, предвычисления погоды и прикладной климатологии.

Пособие может использоваться в качестве руководства по расчету и прогнозу обледенения судов как в береговых подразделениях, обслуживающих промысловый и морской флот, так и непосредственно на судах для расчета интенсивности и степени их возможного обледенения, а также времени безопасного плавания в зоне обледенения. Изложенные в нем методы расчета и прогноза обледенения судов рекомендованы к внедрению решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим прогнозам Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды от 8 июня 1977 года.



© Ленинградский гидрометеорологический институт (ЛГМИ), 1980 г.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие круглогодичного рыболовства и освоение отдаленных океанических и полярных районов предъявляют повышенные требования к обеспечению безопасности мореплавания и ведения промысла. В связи с этим надежный прогноз обледенения как основной метод пассивной защиты судов приобретает первостепенное значение.

В течение 1967—1973 гг. был выполнен ряд методических работ: подготовка, рассылка, сбор и обобщение анкет для специальных наблюдений за обледенением судов, подготовка инструкций и руководств по наблюдению за обледенением судов [1], по прогнозированию и штормовому предупреждению условий обледенения [2, 3].

В 1975 г. был издан проект «Методических указаний по прогнозу обледенения судов» [4], в зимний период 1975—1977 гг. проводилась его проверка в условиях оперативной работы прогностических органов Гидрометслужбы.

В основе предлагаемого учебного пособия лежит переработанное и дополненное издание «Методических указаний по прогнозу обледенения судов». В нем изложен численный метод анализа обледенения различных категорий рыбопромысловых судов: типа РС (водоизмещением 150—300 т); типа СРТ (водоизмещением 300—500 т) и типа СРТМ (водоизмещением 500—1200 т), а также судов близких к ним по размерам и конструкции. Дана схема краткосрочного прогноза обледенения судов, включен раздел, посвященный построению климатических карт опасности обледенения, позволяющих рассчитывать интегрально-вероятностные характеристики обледенения.

Учебное пособие составлено по материалам многолетних исследований коллектива кафедры экспериментальной физики атмосферы ЛГМИ. В исследованиях участвовали Л. И. Гашин, И. А. Смирнов, Н. Ф. Пашковская, М. В. Долгов, Е. В. Баранов и др. Параграф «Использование метеорологических спутников для оперативной информации об обледенении судов» написан с участием Т. А. Ширяевой.

При написании пособия использован опыт применения всех предшествовавших руководств по прогнозу обледенения [2—4].

Раздел, посвященный синоптическому и численному прогнозам обледенения судов изложен по работам [2, 3], раздел расчета волнения на морях — по руководству [2], а результаты исследований степени опасности обледенения различных категорий судов — по статье [5].

Авторы выражают свою признательность В. И. Бекряеву (Ленинградский гидрометеорологический институт), Б. А. Бирману (Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных), Н. Ф. Буянову (Дальрыбвтуз), В. И. Воробьеву (Ленинградский гидрометеорологический институт), В. В. Панову (Ордена Ленина Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт), Б. А. Савельеву (Московский государственный университет), В. П. Смирнову и Г. Г. Тараканову (Ленинградский гидрометеорологический институт), А. П. Тюрину (Министерство рыбного хозяйства СССР), замечания и советы которых были учтены при окончательном редактировании пособия.

Авторы благодарны работникам Мурманского, Камчатского, Колымского УГМС, УГМС Эстонской ССР, Калининградской и Клайпедской гидрометобсерваторий и Дальневосточного научно-исследовательского гидрометеорологического института, осуществившим проверку методов расчета и прогноза обледенения, изложенных в настоящем пособии.



## ВВЕДЕНИЕ

В северных и умеренных широтах при неблагоприятных условиях (низкая температура воздуха, ветер, волнение и т. д.) наблюдается одно из самых грозных явлений на море — обледенение.

Обледенение в значительной степени затрудняет работу промыслового флота, связанную с продолжительным пребыванием в суровых климатических условиях с низкими температурами воздуха и частой повторяемостью штормов. Образование льда на палубных механизмах, антеннах и локаторах препятствует их нормальному использованию, а работа людей на палубе, покрытой льдом, становится опасной.

В результате обледенения увеличивается вес судна, снижается высота надводного борта и повышается центр тяжести, вследствие чего уменьшается остойчивость и ухудшается маневренность судна. При интенсивном обледенении судно может потерять остойчивость и опрокинуться.

Гибель судов при обледенении, а тем более угроза гибели в некоторых районах Мирового океана, не столь редкое явление. По статистическим данным Межправительственной морской консультативной организации (ММКО) ежегодно от обледенения гибнет около 10 судов, а в критическом положении оказываются десятки и даже сотни судов. Эти цифры свидетельствуют о том, что проблема обледенения судов приобрела первостепенное значение. Не случайно этой проблемой занимается Организация Объединенных Наций [6, 7].

Опасности обледенения в той или иной степени подвергаются суда почти всех типов, независимо от их размеров, водоизмещения и конструкции. Однако наибольшую опасность оно представляет для малых судов, которые в штормовую погоду подвергаются сильному забрызгиванию и заливанию забортной водой, в результате чего происходит их интенсивное обледенение. К таким судам относятся (табл. 1) сейнеры океанические (СО), рыболовные сейнеры РС-300, средние рыболовные траулеры типа СРТ-300, СРТ-400, средние рыболовные траулеры рефрижераторные (СРТР), а также суда других типов, близких к ним по размерам и архитектуре. Эти суда в зимнее время работают в промысловых районах, где часто наблюдается обледенение: в Беринговом, Ба-

ренцовом, Охотском и Балтийском морях, в северных частях Японского и Черного морей.

Таблица 1

Размеры и водоизмещение промысловых судов

Тип судна	Длина, м	Ширина, м	Водоизмещение, т
СО	29,0	7,0	200
РС-300	33,9	7,0	240
СРТ-300	39,2	7,4	464
СРТ-400	39,2	7,4	464
СРТР-400	43,6	7,6	545
СРТР-540*	50,8	8,8	735
СРТМ*	54,2	9,3	912
СТ*	49,1	10,5	1197
РТ*	58—73	11,0	1100—1300

\* Суда неограниченного района плавания в осенне-зимний период.

Обледенению подвергаются и более крупные промысловые суда, такие как средние рыболовные траулеры морозильные (СРТМ), сейнеры траулеры типа СТ, а также рыболовные траулеры типа РТ, которые обычно работают в отдаленных от берегов промысловых районах, вследствие чего и для них опасность обледенения велика. К таким районам следует отнести Норвежское, Гренландское и Берингово моря, северо-западную Атлантику, северную часть Тихого океана, а также районы, прилегающие к Антарктиде.

Опасности, связанные с обледенением, вызывают необходимость ограничения районов плавания отдельным категориям судов, приводят к сокращению сроков навигации, затрудняют планирование различных промысловых работ в море, а иногда приводят к срыву рыболовных операций.

Хотя обледенение судов известно давно, причины его возникновения и интенсивности нарастания льда в различных условиях до настоящего времени недостаточно изучены, что объясняется трудностями как экспериментального, так и теоретического характера. Исследование обледенения судов в природных условиях опасно, чрезвычайно сложно и связано с большими материальными затратами. Специальные же наблюдения за обледенением судов начались совсем недавно.

Теоретические исследования процесса обледенения судов, учитывая исключительную сложность явления, не позволяют пока еще в полной мере получить необходимые практические результаты.

В последние годы в Советском Союзе и в зарубежных странах (США, Япония, ФРГ, Канада, Великобритания) большое внимание уделяется изучению гидрометеорологических условий обледенения судов, физики этого процесса. Ведутся поиски активных методов борьбы с обледенением, которые предусматривают изменение конструкции судна для уменьшения обледенения, а также различных способов, обеспечивающих ослабление процесса нарастания льда или его своевременный сброс в море [9, 11].

Однако это не снимает проблему прогноза обледенения судов, тем более, что с каждым годом районы плавания судов расширяются, сроки пребывания в море увеличиваются.

В Советском Союзе служба прогнозов обледенения существует с 1966 г. Начиная с этого времени, были проведены исследования условий обледенения как в натуральных, так и в лабораторных условиях, собрано и обобщено большое количество фактических данных по обледенению, выполнен статистический анализ типовых синоптических положений, при которых наблюдается обледенение, разработаны критерии интенсивности и степени опасности обледенения судов [2, 3, 8—11].

В последние годы разработаны физические схемы расчета обледенения судов, учитывающие основные факторы, от которых зависит обледенение: температуру воздуха, скорость ветра, волнение, температуру воды и ее соленость, тип судна и режим его плавания. Кроме того, получены и обобщены новые данные по обледенению судов, содержащие количественные характеристики обледенения. В дальнейшем для расчета обледенения предполагается использовать информацию, получаемую с метеорологических спутников Земли. Все это направлено на создание надежной методики прогнозирования обледенения судов, которая позволит разработать мероприятия по обеспечению безопасности плавания и работы судов в различных погодных условиях.

## Глава I

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛЕДЕНЕНИЯ СУДОВ

#### 1.1. ВИДЫ ОБЛЕДЕНЕНИЯ

Под обледенением судов понимается такое явление, когда поверхность судна покрывается ледяной коркой, образующейся из замерзших частиц воды. Обледенение связано с явлением глубокого переохлаждения воды в капельно-жидком состоянии и возникает во время плавания судов при отрицательной температуре воздуха и сильном ветре. В зависимости от характера источника этой воды условно различают три вида обледенения.

1. Обледенение в потоке морских брызг, образующихся при ударе волн о корпус судна (брызговое обледенение). При этом нередко процесс обледенения сопровождается заливанием палубы забортной водой.

2. Обледенение в атмосферных осадках — в переохлажденном тумане, дожде или мороси (пресноводное обледенение).

3. Смешанное обледенение, которое образуется при совместном действии забрызгивания, заливания и атмосферных осадков.

Механизм брызгового обледенения может быть описан следующим образом. Во время движения судна от ударов корпуса о волны образуются брызги, которые наносятся ветром на судно и замерзают. При сильном ветре и штормовом волнении одновременно с забрызгиванием судна происходит заливание палубы, вода частично стекает за борт через штормовые портики и шпигаты, а часть ее остается на палубе и замерзает. Водяные брызги, сдуваемые с гребней волн, также могут попасть на судно и замерзнуть.

При плавании судна вблизи кромки льда возможно его обледенение в случае попадания на палубу ледяной каши, сала, шуги и снежуры.

Обледенение возможно также в реках и озерах при отрицательной температуре воздуха и сильном ветре, обуславливающим попадание воды на конструкции судна.

При брызговом обледенении происходит отложение льда на бортах судна, открытых палубах и установленных на них механиз-

мах и промысловом оборудовании, такелаже, рангоуте, лобовых и боковых стенках надстроек. При этом основная масса льда нарастет на наветренной стороне судна.

Предельная высота конструкций судна, подверженных обледенению, зависит от скорости ветра и высоты волн. Чем сильнее ветер и больше высота волн, тем выше летят брызги морской воды, а следовательно, выше будет распространяться обледенение. Естественно, что толщина образующегося льда будет уменьшаться с высотой.

Количество льда, нарастающего на судне в условиях брызгового обледенения, зависит как от конструкции самого судна, так и от гидрометеорологических условий и может достигать опасных пределов. При этом опасность такого обледенения заключается не только в том, что суда в период обледенения принимают на палубу, такелаж и рангоут большое количество льда, но и в том, что в результате обледенения высоких конструкций судна (вант, мачт, антенн и др.) сильно ухудшаются мореходные качества судна (стойчивость, управляемость, непотопляемость и др.), что может привести к опрокидыванию и гибели судна.

При обледенении в переохлажденных осадках, а также в тумане или в зоне парения моря образуется пресный лед. В переохлажденных осадках обледеневают все части судна, включая высокие конструкции: мачты, антенны, локаторы и т. п. Пресноводное обледенение наблюдается сравнительно редко. Его интенсивность, как правило, мала, но образующийся пресный лед обладает большой прочностью и значительной силой сцепления с обледеневающей поверхностью.

При смешанном обледенении, образующемся в результате сочетания забрызгивания, заливания и атмосферных осадков, скорость нарастания льда на судне соответственно увеличивается.

## 1.2. СТАТИСТИКА ОБЛЕДЕНЕНИЯ

Обледенение судов в северном полушарии наблюдается осенью, зимой и весной и продолжается примерно четыре месяца в морях Северной Атлантики и пять месяцев — в дальневосточных морях. Наибольший период обледенения судов наблюдается в северной части Атлантического океана, а также в Беринговом и Охотском морях. При этом максимум обледенения судов приходится на январь—февраль.

В арктических морях обледенение судов возможно в летнее и осеннее время при отрицательной температуре воздуха и сильном волнении на поверхности моря. Чаще всего обледенение отмечается в конце навигации по открытой воде, т. е. во второй половине сентября и в октябре.

Статистический анализ свыше 3000 случаев обледенения рыбопромысловых судов в северо-западной части Атлантического и Тихого океанов, а также в Гренландском, Норвежском, Барен-

цевом, Балтийском, Беринговом, Охотском и Японском морях показывает, что основной причиной обледенения являются брызги морской воды (около 90% случаев). При одновременном действии брызг, тумана, дождя или мороси обледенение наблюдается реже (6% случаев). На долю случаев обледенения вызванного туманом, дождем или моросью, приходится 3%, а обледенения от совместного действия брызг и снега — 1%.

В арктических морях основной причиной обледенения также являются брызги, образующиеся при сильном волнении моря (или при одновременном попадании на судно брызг морской воды и осадков).

Таким образом, брызговое обледенение является наиболее опасным и часто встречающимся видом обледенения. Поэтому этот вид обледенения является основным при диагнозе и прогнозе обледенения судов.

Статистический анализ гидрометеорологических условий, при которых происходит обледенение судов [2, 3, 11], показал, что главными факторами, влияющими на обледенение, являются: температура воздуха и воды, скорость и направление ветра, волнение, атмосферные осадки и наличие ледяного покрова на поверхности моря.

Обледенение судов (3500 случаев за 1965—1973 гг.) зафиксировано при температуре воздуха от 0 до  $-26^{\circ}\text{C}$ , скорости ветра от 0 до 55 м/с, температуре воды от  $+6$  до  $-1,8^{\circ}\text{C}$ , высоте волны от 0 до 10 м [11]. Анализ дифференциальных повторяемостей гидрометеорологических элементов показывает, что наиболее часто обледенение наблюдается при значениях элементов, соответствующих середине диапазона их возможного изменения (рис. 1). Исключение составляет температура воды, распределение повторяемости которой не имеет явно выраженных максимумов, что связано с малыми ее вариациями.

Следовательно, чем ниже температура воздуха и воды и сильнее ветер (волнение), тем вероятнее обледенение. Однако в действительности сочетание низких температур воздуха и сильных ветров сравнительно редкое явление.

Обработка наблюдений показала, что брызговое обледенение начинается при температуре воздуха близкой к температуре замерзания воды данной солености. Так, по наблюдениям в Японском и Баренцевом морях с соленостью 30—34‰ обледенение начинается при температуре воздуха  $-1,6 \div -2,2^{\circ}\text{C}$ . По данным исследований в Балтийском и арктических морях нарастание льда на судне начинается при температуре воздуха  $-0,8 \div -1,4^{\circ}\text{C}$  и даже  $-0,5^{\circ}\text{C}$  в районах, расположенных вблизи устьев рек Невы, Западной Двины, Енисея, Оби, Лены [8].

Нижними пределами скорости ветра и волнения, при которых еще наблюдается забрызгивание судна, а следовательно и обледенение, являются скорость 5 м/с, волнение 2 балла.

Большинство случаев опасного обледенения наблюдалось при сочетании скорости ветра более 15 м/с, температуре воздуха ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ , волнении моря более 5 баллов.

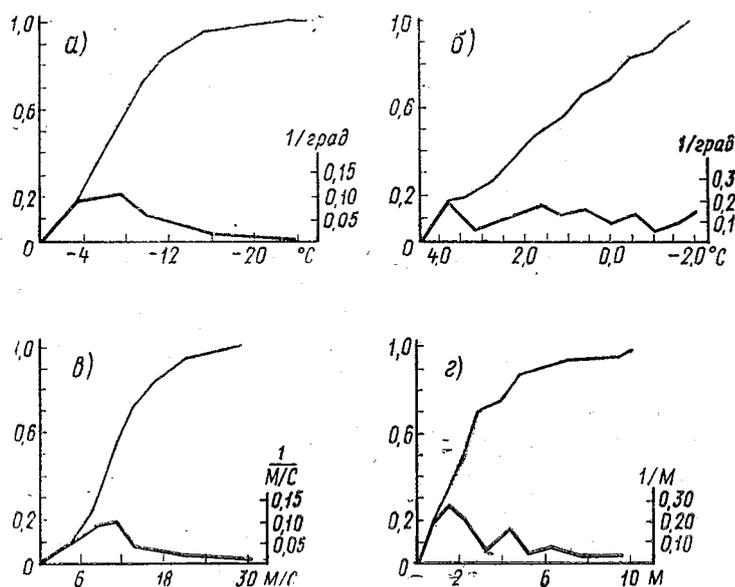


Рис. 1. Вероятность обледенения морских судов при различных значениях метеорологических элементов:  
*a* — температура воздуха; *б* — температура воды; *в* — скорость ветра; *г* — высота волны.  
 Жирная линия — дифференциальная вероятность (при данном значении метеорологических элементов), тонкая линия — интегральная (накопленная) вероятность

### 1.3. ИНТЕНСИВНОСТЬ ОБЛЕДЕНЕНИЯ СУДОВ И СТЕПЕНЬ ЕГО ОПАСНОСТИ

Под интенсивностью обледенения судна понимается скорость нарастания льда на всех конструкциях судна в целом. Она измеряется в тоннах за час (т/ч).

Интенсивность обледенения зависит как от гидрометеорологических условий, так и от типа судна, высоты и формы его бортов, наличия такелажа, дополнительных грузов на палубе, режима движения. Оценка интенсивности обледенения судов в различных условиях является одним из необходимых этапов при прогнозе обледенения судов.

Существуют различные подходы к решению этой задачи. Можно, например, использовать найденные из наблюдений зависимости интенсивности обледенения судов от отдельных гидрометеорологических параметров: температуры воздуха, скорости ветра и так далее или комплекса, объединяющего два или более таких

фактора. Однако, чтобы подобные зависимости приобрели достаточно высокую статистическую обеспеченность, необходимо громадное количество наблюдений.

Построение чисто теоретических схем обледенения с учетом сложности конструкции самого судна и брызгового облака пока не представляется возможным. Обычные приемы физического моделирования здесь также неприменимы.

Наиболее приемлемым для рыбопромысловых судов оказался путь отыскания корреляционной связи между фактической интенсивностью их обледенения в различных гидрометеорологических условиях и величиной комплексного теоретического критерия, рассчитанного для фигуры правильной формы, находящейся в тех же условиях, что и судно при обледенении. Методика расчета интенсивности обледенения, использующая эту зависимость, рассматривается в главе II.

Анализ результатов наблюдений за обледенением судов показывает, что при одних и тех же гидрометеорологических условиях скорость нарастания льда (интенсивность обледенения) разная для разных типов судов (см. главу II). В связи с этим, расчет обледенения целесообразно выполнять отдельно для трех групп рыбопромысловых судов. К первой группе относятся (см. табл. 1) малые рыболовные суда типа РС водоизмещением 150—300 т. Во вторую группу включены суда типа СРТ водоизмещением 300—500 т. К третьей группе относятся промысловые суда типа СРТМ водоизмещением 500—1200 т (суда неограниченного района плавания в осенне-зимний период).

Опасность, которая грозит обледеневшему судну, зависит не только от скорости нарастания, но и от общего количества льда. При длительном пребывании судна в гидрометеорологических условиях, способствующих обледенению, и при отсутствии на судне эффективных средств борьбы с обледенением количество образовавшегося льда может превысить критическое значение и привести к потере остойчивости и опрокидыванию судна. Учитывая, что максимально допустимое количество льда для судов типа РС, СРТ и СРТМ разное, опасность обледенения для них при одной и той же интенсивности будет также разной.

Таким образом, степень опасности обледенения для данного типа судна определяется величиной ледовой нагрузки, которая зависит от интенсивности обледенения, времени нахождения в условиях обледенения и исходной остойчивости судна. Обычно [2, 5, 12, 13, 34] она оценивается интервалом времени, за который в данных гидрометеорологических условиях судно принимает критическую ледовую нагрузку.

Для качественной характеристики степени опасности обледенения судов в зависимости от времени нахождения в зоне обледенения рекомендуются следующие градации [2, 5].

*Слабое обледенение.* Судно находится в зоне обледенения, команда не ведет борьбу с ним, критическое состояние может на-

ступить не ранее, чем через 24 часа. Время обычно оказывается достаточным для выхода из зоны обледенения и обкалывания льда.

*Умеренное обледенение.* На судне, находящемся в зоне обледенения, команда не производит околку льда, критическое состояние наступает не ранее чем через 12 часов. Этого времени обычно оказывается достаточно, чтобы выйти из зоны опасного обледенения при одновременной борьбе с ним.

*Сильное обледенение.* При тех же условиях судно окажется в критическом положении менее чем за 12 часов.

Основным показателем для оценки остойчивости судна принято считать возвышение центра тяжести  $Z_g$ . Чтобы узнать, будет ли остойчиво судно при разных загрузках, необходимо рассчитать значение  $Z_g$  и сравнить его с предельным по «Нормам остойчивости морских судов» [14] значением  $Z_{gк}$ . Поэтому при обледенении решение задачи сводится к расчету центра тяжести при различных ледовых нагрузках на судовых поверхностях и сравнению их с критическими значениями  $Z_{gк}$  для этих же ледовых нагрузок. Равенство значений  $Z_g$  и  $Z_{gк}$  указывает на критическое состояние судна. Дальнейшее увеличение ледовой нагрузки неизбежно ведет к опрокидыванию судна.

По значениям  $Z_g$  и  $Z_{gк}$  построены графики критического состояния судов в зависимости от интенсивности обледенения судов и времени нахождения в зоне обледенения [5]. Значения  $Z_g$  рассчитывались по ледовой нагрузке с помощью диаграммы, прилагаемой к «Информации об остойчивости».

На рис. 2 приведены графики критического состояния судов типа РС, СРТ и СРТМ для 100% исходной нагрузки. В соответствии с данными, приведенными на рис. 2, указанным выше степеням опасности обледенения, соответствуют различные интенсивности обледенения судов типа РС, СРТ и СРТМ. Они приведены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость степени опасности обледенения промысловых судов от интенсивности обледенения (в т/ч)

Тип судна	Степень опасности обледенения		
	слабое	умеренное	сильное
РС	<0,7	0,7—1,8	>1,8
СРТ	<1,5	1,5—4,0	>4,0
СРТМ	<3,5	3,5—8,0	>8,0

Таким образом, зная интенсивность обледенения, можно по графику на рис. 2 или по табл. 2 оценить степень опасности обледенения судов типа РС, СРТ, СРТМ и, соответственно, время их безопасного нахождения в зоне обледенения.

Выполненная таким образом оценка степени обледенения предполагает полную загрузку судна. Однако в условиях эксплуатации происходит расходование топлива, воды, масла, провизии, что приводит к изменению нагрузки. В результате этого остойчивость может оказаться недостаточной раньше, чем предусмотрено графиком на рис. 2 и табл. 2. Поэтому судоводитель должен постоянно контролировать загрузку судна, а в условиях обледенения — уметь количественно оценивать обледенение судна, чтобы своевременно принять соответствующие меры.

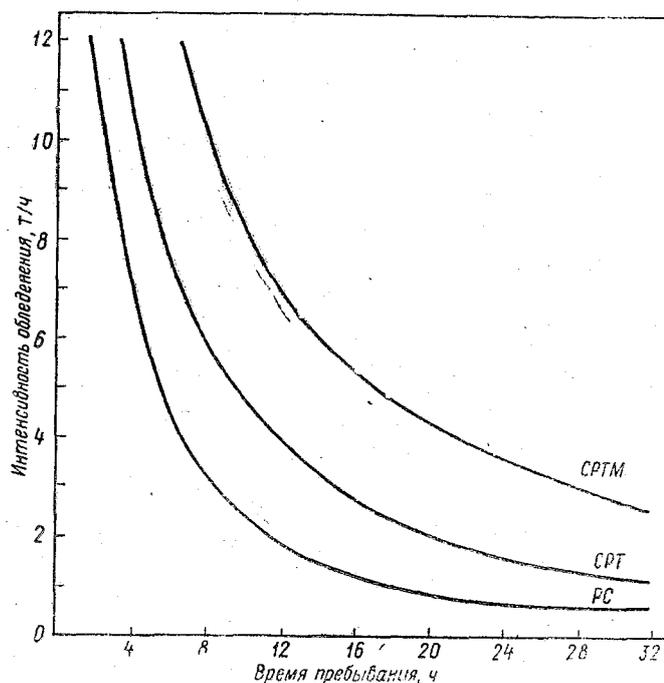


Рис. 2. Критическая ледовая нагрузка при различных значениях интенсивности обледенения и времени пребывания в зоне обледенения: правее и выше соответствующей линии — потеря остойчивости судна (по Н. Ф. Буянову)

Интенсивность обледенения судов и степень его опасности могут быть оценены также по гидрометеорологическим комплексам.

Для определения интенсивности (скорости) обледенения судов и степени его опасности различают следующие градации: медленное, быстрое и очень быстрое. За основу классификации прини-

мают способность экипажей этих судов вести борьбу с обледенением имеющимися в распоряжении ручными средствами (ломами, пешнями, скребками и т. п.), чтобы обеспечить безопасность плавания судна.

С этой точки зрения для судов типа СРТ могут быть использованы следующие характеристики интенсивности обледенения [3].

1. *Медленное обледенение.* Скорость отложения льда на судне не более 1,5 т/ч. В этом случае экипаж СРТ, состоящий из 25—26 человек, может без посторонней помощи справиться с удалением льда с судна.

2. *Быстрое обледенение.* Максимально возможная интенсивность обледенения 1,5—4,0 т/ч. При такой интенсивности обледенения экипаж СРТ с трудом может справиться с удалением льда\*.

3. *Очень быстрое обледенение.* Интенсивность обледенения более 4 т/ч. При такой интенсивности обледенения экипаж судна не справится с удалением льда\*\*.

Следует отметить, что указанные характеристики интенсивности обледенения судов (медленное, быстрое и очень быстрое) соответствуют приведенным ранее степеням опасности обледенения (слабое, умеренное и сильное обледенение).

Исследования, выполненные в натуральных условиях, позволили определить следующие гидрометеорологические комплексы, которые вызывают различную интенсивность обледенения судов типа СРТ.

1. Медленное обледенение происходит при забрызгивании судна и (или) при выпадении переохлажденных осадков, тумане и парении моря:

а) при любой скорости ветра и температуре воздуха от  $-1$  до  $-3^{\circ}\text{C}$ ;

б) при скорости ветра от 0 до 9 м/с и температуре воздуха ниже  $-3^{\circ}\text{C}$ .

2. Быстрое обледенение происходит при скорости ветра от 9 до 15 м/с и температуре воздуха от  $-3$  до  $-8^{\circ}\text{C}$ .

3. Очень быстрое обледенение происходит:

а) при скорости ветра свыше 15 м/с и температуре воздуха ниже  $-3^{\circ}\text{C}$ ;

б) при скорости ветра от 9 до 15 м/с и температуре воздуха ниже  $-8^{\circ}\text{C}$ .

Для других категорий судов, в частности для судов типа РС и СРТМ, единых общепринятых градаций гидрометеорологических

\* В этом случае капитан рыболовецкого судна обязан установить радиосвязь с начальником экспедиции (флотилии) и не реже одного раза в два часа информировать его о положении на судне до прекращения обледенения или до выхода судна из опасной зоны.

\*\* При такой интенсивности обледенения капитан судна обязан установить постоянную связь с начальником экспедиции (флотилии) и непрерывно информировать его о положении на судне, принимать самые решительные меры по удалению льда с судна и выходу его из опасной зоны, а если необходимо, то потребовать помощь спасателей и других крупных судов.

комплексов для оценки интенсивности обледенения в настоящее время не существует. По-видимому, это задача дальнейших исследований.

Таким образом, измеряя или прогнозируя температуру воздуха и скорость ветра, можно с помощью приведенных градаций гидрометеорологических комплексов приблизительно оценить интенсивность обледенения и степень его опасности для судов типа СРТ.



## Глава II

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА БРЫЗГОВОГО ОБЛЕДЕНЕНИЯ СУДОВ

Как уже отмечалось, брызговое обледенение судов возможно при отрицательной температуре воздуха, когда переохлажденная вода поступает к обледеневающей поверхности судна. Интенсивность забрызгивания воды на судно зависит от типа судна, высоты и формы его бортов, геометрии такелажа, курса и скорости судна относительно волн.

При одной и той же интенсивности забрызгивания обледенение может быть существенно разным, так как скорость нарастания льда на поверхности объекта зависит от температуры воды, теплофизических свойств объекта, а также от скорости воздуха вблизи обледеневающей поверхности. Наличие солей в морской воде изменяет температуру кристаллизации, а тем самым и скорость роста льда. Наконец, на интенсивность и характер обледенения влияет температура воздуха, воды и скорость ветра еще и по той причине, что изменение температуры капель при полете их от места возникновения до обледеневающего объекта зависит от этих факторов.

Отдельные фазы процесса обледенения судов по своей физической сути аналогичны тем, которые наблюдаются при обледенении самолетов в облаках и наземных объектов в дожде или в тумане. Наряду с этим обледенение морских судов имеет ряд особенностей, связанных прежде всего со структурой брызгового облака, большим временем протекания процесса, наличием солей в воде и т. п.

При расчете интенсивности брызгового обледенения судов используется эмпирически найденная связь между фактической интенсивностью обледенения судов и комплексным теоретическим критерием обледенения, представляющим собой скорость обледенения фигуры правильной формы, например цилиндрического стержня, находящегося в тех же гидрометеорологических условиях, что и судно в море. Методика расчета обледенения бесконечного горизонтального цилиндрического стержня в потоке аэрозоля подробно приведена в работах [15—17]. При расчете полагалось,

что процесс кристаллизации идет в так называемом докритическом режиме и лед на стержне растет под устойчивой пленкой воды. Такой процесс соответствует обледенению судна в реальных условиях когда брызги создаются в основном в результате удара волн о корпус судна и их количество достаточно велико. Далее принималось, что скорости ветра не слишком малы (практически не менее 5 м/с), брызги поступают равномерно, стержень, расположенный поперек потока, обледеневает симметрично относительно оси, теплопроводность материала стержня значительно выше, чем льда и воды, сечение стержня достаточно велико, так что градиенты температуры во льду и в воде можно считать такими же, как и в «плоском» случае.

Поток тепла в нарастающий лед принимался пренебрежимо малым из-за малой теплопроводности льда по сравнению с теплоотдачей в воздух. В результате тепло, реализуемое при кристаллизации в принятой схеме теряется только за счет теплоотдачи в воздух и испарения.

Количество воды, поступающей с потоком воздуха к стержню определяется водностью брызгового облака, которая в первом приближении считается пропорциональной высоте волны, являющейся источником брызг.

Чтобы рассчитать температуру капель, обтекающих стержень, использовалась зависимость ее от размеров капель и расстояния, пролетаемого каплями от поверхности воды до поверхности стержня, а также температуры воздуха и скорости ветра. Для характеристики скорости охлаждения капли в решении используется коэффициент тепловой инерции [15].

Решение выполнено для установившегося процесса обледенения, что позволило использовать условия баланса тепловых потоков на фронте кристаллизации и на поверхности растущего льда. С учетом упомянутых выше предположений оно имеет вид:

$$N = \frac{\frac{V \lambda_{\text{BX}}}{\nu} \frac{\text{Nu}}{\text{Re}} (t_{\text{Ф}} - t_{\text{ВХ}}) + c_{\text{В}} \left[ (t_{\text{Ф}} - t_{\text{ВХ}}) - (t_{\text{В}} - t_{\text{ВХ}}) e^{-\frac{3X}{c_{\text{В}} \rho_{\text{В}} r_{\text{К}}} \cdot \frac{\lambda_{\text{ВХ}}}{\nu} \frac{\text{Nu}_{\text{К}}}{\text{Re}_{\text{К}}}} \right] \times}{\rho_{\text{Л}} L} \times$$

$$\times V \xi H_{\text{В}} E (1-a) + \frac{V \lambda_{\text{ВХ}}}{\nu} \cdot \frac{\text{Nu}}{\text{Re}} \cdot \frac{L_{\text{И}}}{c_{\text{ВХ}}} \cdot \frac{\mu}{M} \cdot \frac{e_{\text{П}} - e_{\text{ВХ}}}{p}$$

$$- a c_{\text{В}} \rho_{\text{В}} \left[ (t_{\text{Ф}} - t_{\text{ВХ}}) - (t_{\text{В}} - t_{\text{ВХ}}) e^{-\frac{3X}{c_{\text{В}} \rho_{\text{В}} r_{\text{К}}} \cdot \frac{\lambda_{\text{ВХ}}}{\nu} \frac{\text{Nu}_{\text{К}}}{\text{Re}_{\text{К}}}} \right] \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}. \quad (1)$$

Здесь  $N$  — критерий интенсивности обледенения (скорость обледенения стержня);  $t_{\text{ВХ}}$ ,  $t_{\text{В}}$  — температуры воздуха и воды;  $V$  —

скорость ветра;  $H_B$  — высота волны;  $\xi$  — коэффициент пропорциональности в уравнении связи между водностью брызгового облака и высотой волны;  $\rho_B$ ,  $\rho_L$  — плотности воды и льда;  $Re$ ,  $Re_K$  — числа Рейнольдса для цилиндра и капли;  $t_\phi$  — температура на фронте кристаллизации;  $Nu$ ,  $Nu_K$  — числа Нуссельта для цилиндра и капли;  $\nu$  — кинематическая вязкость воды;  $\lambda_{Bx}$  — теплопроводность воздуха;  $e_{Bx}$ ,  $e_\Pi$  — упругости пара в воздухе и у поверхности пленки;  $L_H$  — теплота испарения воды;  $\mu$ ,  $M$  — молекулярные веса водяного пара и воздуха;  $c_B$ ,  $c_{Bx}$  — удельные теплоемкости воды и воздуха;  $p$  — атмосферное давление;  $L$  — теплота кристаллизации воды;  $E$  — коэффициент захвата капель обледеневающим объектом;  $a$  — коэффициент, показывающий какая часть тепла, приносимого брызгами, уносится сливающейся водой;  $X$  — характерное расстояние, пролетаемое каплями до поверхности судна;  $r_K$  — средний радиус капли.

*воздуха*

При расчетах критерия интенсивности обледенения  $N$  коэффициент захвата капель стержнем  $E$  принимается равным единице, коэффициент  $a = 0,7$ , радиус капли  $r_K = 0,5$  мм, а расстояние, пролетаемое каплей до поверхности судна,  $X = 10$  м. Теплота кристаллизации морской воды выбирается в зависимости от солёности (см., например, [3, 9]). Для расчета коэффициента теплоотдачи с поверхности жидкой пленки используется известная зависимость между числами Нуссельта и Рейнольдса для цилиндра [18].

Таким образом, подставляя в формулу (1) значения входных параметров  $t_{Bx}$ ,  $V$ ,  $H_B$  и  $t_B$ , а также найденные по солёности  $S$  теплоту кристаллизаций  $L$  и температуру на фронте кристаллизации  $t_\phi$ , можно рассчитать критерий интенсивности обледенения  $N$ . Как уже упоминалось выше, для прогноза обледенения используется корреляционная связь между величиной критерия  $N$ , рассчитываемого только по гидрометеорологическим параметрам, обусловливающим обледенение и реальной интенсивностью обледенения судна в море при этих же гидрометеорологических параметрах.

Для построения графиков связи между фактической интенсивностью обледенения судов  $\dot{P}$  и критерием интенсивности обледенения  $N$  с помощью формулы (1) был выполнен расчет  $N$  по гидрометеорологическим параметрам для каждого известного случая обледенения судов. На рис. 3 представлены корреляционные связи между критерием интенсивности обледенения и фактической интенсивностью обледенения рыбопромысловых судов типа РС, СРТ и СРТМ. При построении корреляционных графиков были использованы все известные результаты измерений обледенения, выполненных в 1967—1971 гг. на советских исследовательских судах СРТ «Академик Бер», «Профессор Сомов», СРТМ «Алаид» и других, результаты японских исследований 1961—1963 гг. на патрульных судах «Юбари», «Титосэ», а также результаты наблюдений за

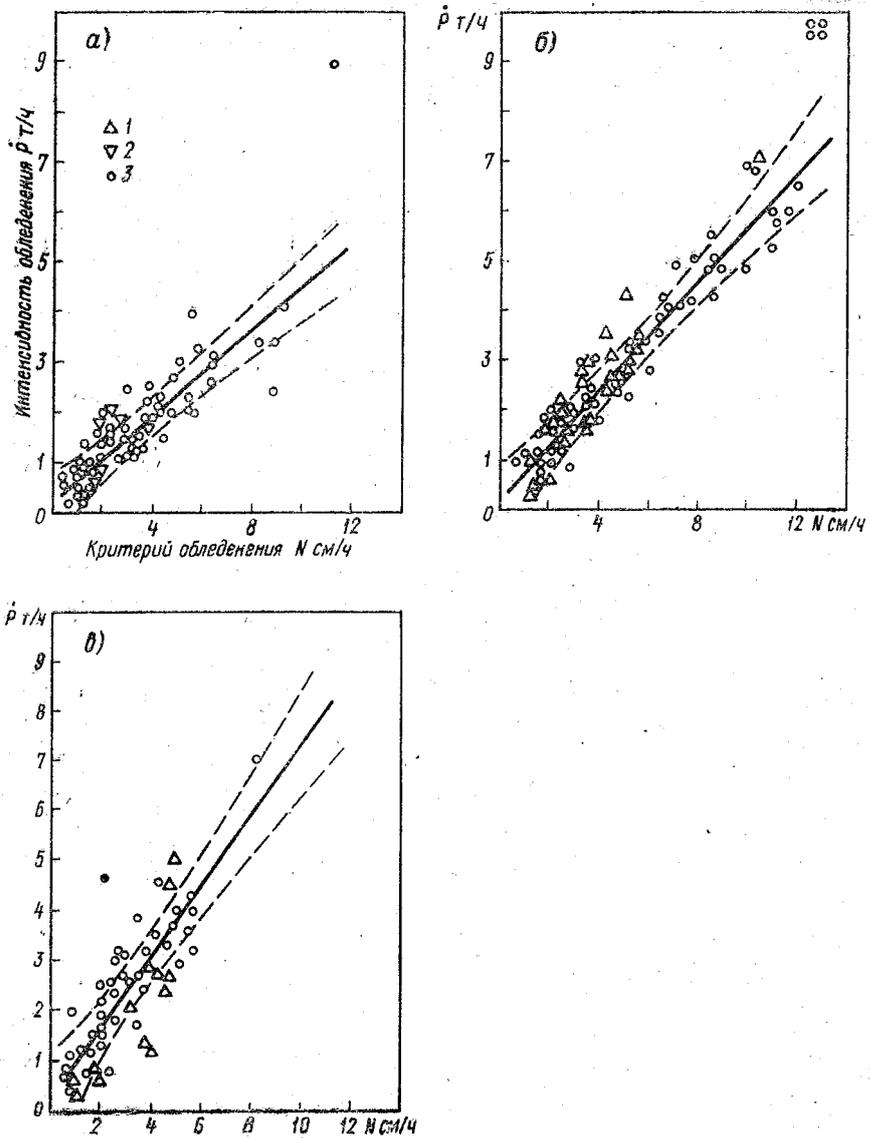


Рис. 3. Связь между критерием интенсивности обледенения  $N$  и фактической интенсивностью обледенения судов  $\dot{P}$ :  
 а—для судов типа РС; б—для судов типа СРТ; в—для судов типа СРТМ; 1—советские исследовательские суда; 2—японские исследовательские суда; 3—промысловые суда

обледенением в Охотоморских промысловых экспедициях 1968—1972 гг. [8—11, 35, 36].

Интенсивность обледенения зависит от курса судна относительно ветра; при прочих равных условиях она максимальна при курсовых углах плавания 15—45° левого и правого бортов [3]. Для построения корреляционных графиков использовались только те случаи обледенения судов, когда курсовой угол плавания находился в указанном интервале. Поэтому можно считать, что  $N$  характеризует максимальную интенсивность обледенения при данных гидрометеорологических условиях.

Коэффициент корреляции, рассчитанный для всей совокупности точек на рис. 3а,  $r = 0,85 \pm 0,03$ . Уравнение регрессии между  $\dot{P}$  и  $N$  для судов типа РС с удовлетворительной степенью точности может быть представлено прямой линией. Расчет приводит к уравнению регрессии

$$\dot{P} = 0,54 + 0,68N, \quad (2)$$

где  $[N] = \text{см/ч}$ ;  $[\dot{P}] = \text{т/ч}$ .

Для судов типа СРТ коэффициент корреляции  $r = 0,91 \pm 0,02$ , а уравнение регрессии может быть представлено в виде

$$\dot{P} = 0,46 + 0,56N. \quad (3)$$

Для судов типа СРТМ коэффициент корреляции  $r = 0,82 \pm 0,04$ , а уравнение регрессии имеет вид

$$\dot{P} = 0,22 + 0,43N. \quad (4)$$

Из сравнения графиков рис. 3 видно, что при одних и тех же гидрометеорологических условиях суда с меньшим водоизмещением обледеневают медленнее.

Доверительный интервал для линий регрессии на рис. 3, определенный с вероятностью 0,95, оказался достаточно узким.

Таким образом, используя графики на рис. 3, можно по температуре воздуха и воды, скорости ветра, высоте волны и солёности морской воды определить максимальную интенсивность обледенения судов типа РС, СРТ и СРТМ.

В оперативной работе удобнее пользоваться номограммой (рис. 4), построенной следующим образом.

По формуле (1) рассчитана величина критерия интенсивности обледенения  $\tilde{N}$  как функция скорости ветра и температуры воздуха при некоторых фиксированных (опорных) значениях температуры воды, ее солёности и высоты волны. Переход от величины  $\tilde{N}$  к истинному значению  $N$  осуществляется путем введения поправок.

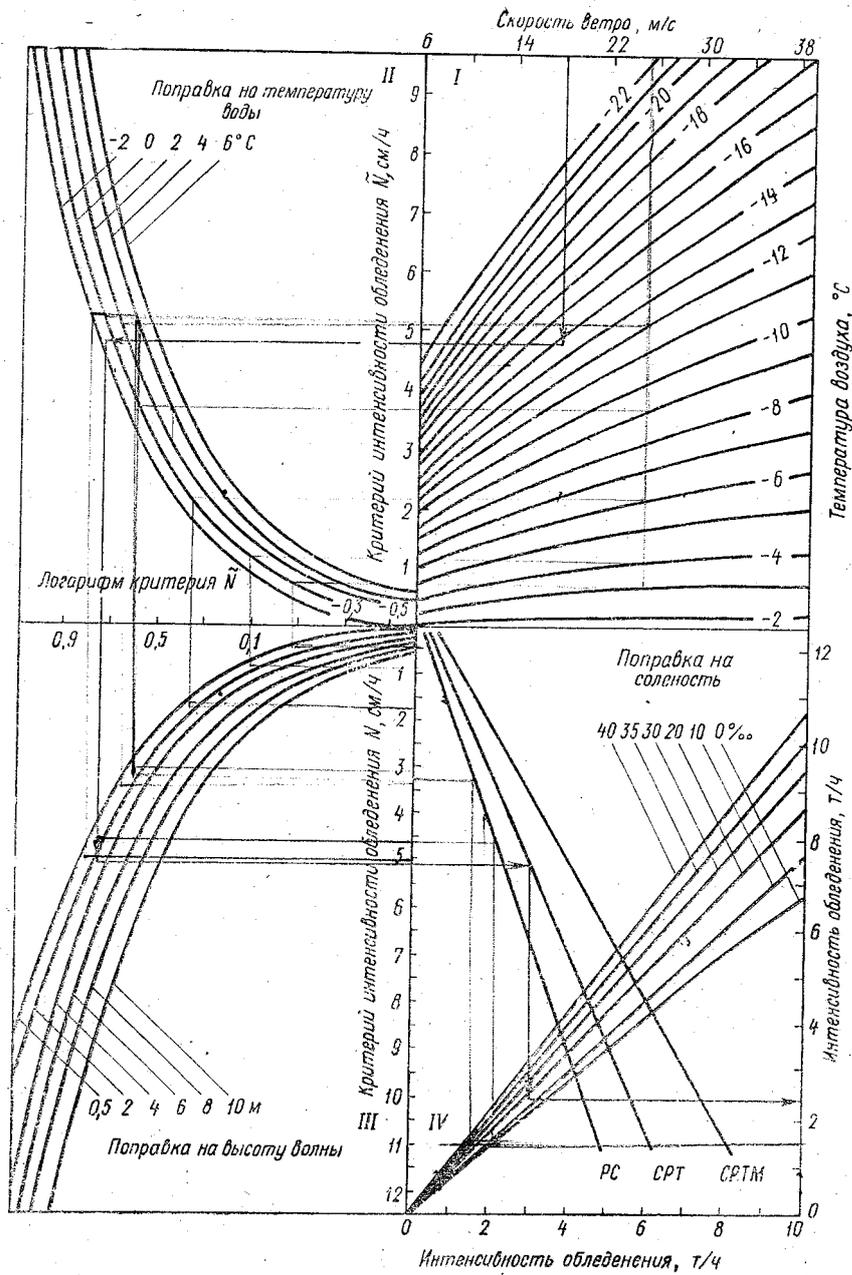


Рис. 4. Номограмма для расчета интенсивности обледенения судов

Кривые в квадранте I выражают зависимость величины критерия  $N$  от скорости ветра и температуры воздуха при температуре воды  $t_{\text{в}} = 1^{\circ}\text{C}$ , солености  $S = 35^{\circ}/_{00}$  и высоте волны  $H_{\text{волн}} = 4$  м.

Поправка на отличие температуры воды от опорной вводится в квадранте II. Каждая кривая здесь соответствует определенной температуре воды.

По кривым в квадранте III учитывается влияние реальной высоты волны. Каждая кривая соответствует определенной высоте волны.

В квадранте IV по формулам (2—4) построены линии связи между  $\dot{P}$  и  $N$  для судов типа РС, СРТ и СРТМ, позволяющие определять ожидаемые максимальные интенсивности обледенения судов в т/ч. В этом же квадранте производится учет отличия солености от опорной. Каждая кривая соответствует определенной солености.

Рассчитаем, например, интенсивность обледенения судна типа СРТ при температуре воздуха  $-13,5^{\circ}\text{C}$ , скорости ветра 18 м/с, температуре воды  $-1^{\circ}\text{C}$ , ее солености  $15^{\circ}/_{00}$  и высоте волны 3 м. На номограмме стрелками показан порядок операций.

В квадранте I из точки, соответствующей скорости ветра 18 м/с опустим перпендикуляр до пересечения с кривой, соответствующей температуре воздуха  $-13,5^{\circ}\text{C}$ . Из полученной точки перейдем в квадрант II до пересечения с кривой, соответствующей температуре воды  $-1^{\circ}\text{C}$ . Затем опустимся вниз в квадрант III до пересечения с кривой, соответствующей высоте волны 3 м. Далее из полученной точки перемещаемся в квадрант IV до пересечения с линией регрессии для судов типа СРТ и из полученной точки опускаемся вниз до пересечения с кривой, соответствующей солености морской воды  $15^{\circ}/_{00}$ . Затем для этой точки на шкале справа снимаем значение максимальной интенсивности обледенения, которое равно 2,4 т/ч.

На практике по прогнозируемым или измеренным температурам воздуха и воды, скорости ветра, высоте волны и известной солености воды по формулам (1—4) или с помощью номограммы рис. 4 определяется максимальная интенсивность обледенения судов типа РС, СРТ и СРТМ. Далее по графику на рис. 2 (или по табл. 2) находится степень опасности обледенения (слабое, умеренное или сильное) и время безопасного нахождения указанных типов судов в зоне обледенения. Эти данные помогут судоводителю принять соответствующие меры по предотвращению аварийной ситуации.

### Глава III

## ПРОГНОЗ ОБЛЕДЕНЕНИЯ СУДОВ

### 3.1. СИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ СУДОВ

В северных и умеренных широтах северного полушария обледенение судов бывает, как правило, осенью, зимой и весной при вторжении холодных масс воздуха в промысловые районы и районы интенсивного судоходства.

Статистические данные, приведенные в табл. 3, дают представление о том, при каких конкретных синоптических процессах создаются наиболее благоприятные условия для обледенения морских судов [2, 3, 19].

Таблица 3

Синоптические условия обледенения судов в 1967—1970 гг.

Море	Тыл циклона, %	Передняя часть циклона, %	Прочие условия, %	Число случаев
Берингово	57	32	11	442
Охотское	70	23	7	312
Японское, Татарский пролив	93	3	4	140
Запад Тихого океана	75	19	6	182
Баренцево, Норвежское	40	50	10	596
Балтийское	4	66	30	44
Черное, Азовское	79	16	5	18

Как видно из таблицы, по своей значимости на первом месте стоит тыловая часть циклона, на долю которой приходится в среднем более 50% случаев обледенения. В большинстве случаев это были довольно развитые, глубокие циклоны с давлением в центре

990 гПа и ниже. Особенно характерна такая ситуация для Охотского и Японского морей, а также для запада Тихого океана.

Одним из главных факторов, определяющих обледенение судов, является адвекция холодного воздуха в тылу циклона при достаточно сильных ветрах, преимущественно северо-западного направления.

Зона обледенения в тылу циклона обычно начинается не сразу за холодным фронтом, а на некотором удалении от него. Объясняется это тем, что, во-первых, непосредственно за холодным фронтом температура холодной воздушной массы чаще всего еще не достигает тех низких значений, которые требуются для обледенения. Во-вторых, в той части акватории, где проходит холодный фронт, вследствие изменения направления и скорости ветра происходит ослабление волнения. Анализ показывает, что зона наиболее опасного обледенения находится в районе расположения ложбины холода на карте  $AT_{850}$ , ось которой проходит за линией холодного фронта. Отсюда следует, что в случаях глубоких окклюзиванных циклонов, когда очаг холода на высотах совпадает с центральной частью циклона или его ложбиной у поверхности земли (моря), обледенение можно встретить при соответствующих значениях скорости ветра и температуры воды и воздуха вблизи центра циклона.

Случаи наиболее опасных обледенений встречаются главным образом на дальневосточных морях, где синоптические процессы отличаются большей активностью вследствие часто встречающихся больших контрастов температуры воздуха в тропосфере.

На втором месте по частоте повторяемости стоят случаи обледенения в зонах теплых фронтов или соответствующих фронтов окклюзии. Эти случаи наиболее типичны для района Баренцева и Норвежского морей, причем особо важную роль здесь играет предфронтальное усиление ветра. При ориентации фронта в широтном направлении обледенение происходит при ветрах восточной четверти, т. е. дующих со стороны центральных районов Арктики; а при меридиональной ориентации фронта — при ветрах южной четверти, дующих со стороны выхолаженного континента Европы.

К третьему типу синоптических процессов, определяющих условия обледенения, относится передняя часть мощного антициклона, вдоль которой осуществляется адвекция очень холодного арктического воздуха. Если при этом антициклон располагается над восточными районами Европейской территории СССР, а над южными районами существует область пониженного давления, то создается зона очень сильных северо-восточных и восточных холодных ветров, охватывающих район Каспийского, Азовского и Черного морей. В результате этого, в северных районах указан-

ных морей могут возникнуть зоны опасного обледенения. Аналогичная ситуация нередко встречается в других районах, в частности на Беринговом и Охотском морях.

### Примеры обледенения судов

*Пример 1.* Обледенение в передней части циклона 5 февраля 1969 г. (рис. 5). Глубокий циклон с давлением в центре 970 гПа располагался над севером Японии и смещался на север. Температура воздуха на АТ<sub>850</sub>, вовлекаемого в циркуляцию циклона, в тыловой части циклона составила над Владивостоком — 27°С. Сильные ветры северной четверти горизонта, широкая зона обложных

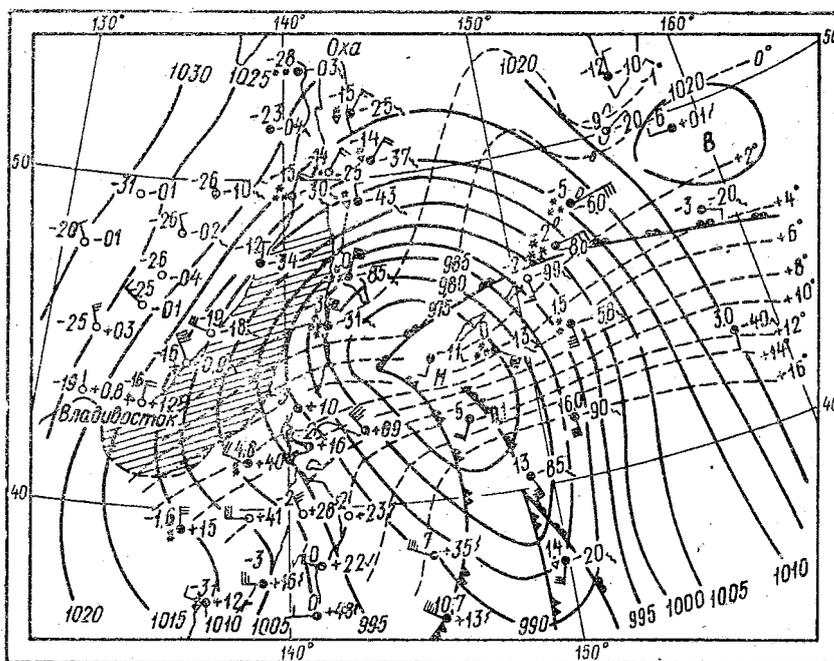


Рис. 5. Карта погоды, 12 ч гринв. 5 февраля 1969 г.

осадков, низкие температуры воздуха (—10, —15°) и воды (около 0°) создали условия для опасного обледенения\*. Экспедиционное судно СРТ «Академик Бер» испытало в это время очень быстрое обледенение в северной части Японского моря. Скорость нарастания льда достигала 5,2 т/ч.

\* Зона обледенения на карте заштрихована.

*Пример 2.* Обледенение на Баренцевом и Норвежском морях. На рис. 6 представлена синоптическая карта за 15 ч. 28 января 1968 г. Над югом Норвежского моря располагался глубокий циклон с ложбиной, направленной на северо-восток Баренцева моря. При такой структуре барического поля над северными районами Баренцева и Норвежского морей возникли северо-восточные ветры до 15 м/с, волны высотой 2—3 м, температура воздуха в приводном слое была  $-10 \div -16^\circ$ , температура воды  $0 \div 3^\circ$ , то есть создались условия, благоприятные для обледенения. Следует отметить, что обледенение на Баренцевом море может наблюдаться при довольно высоких температурах воды (до  $+6^\circ\text{C}$ ).

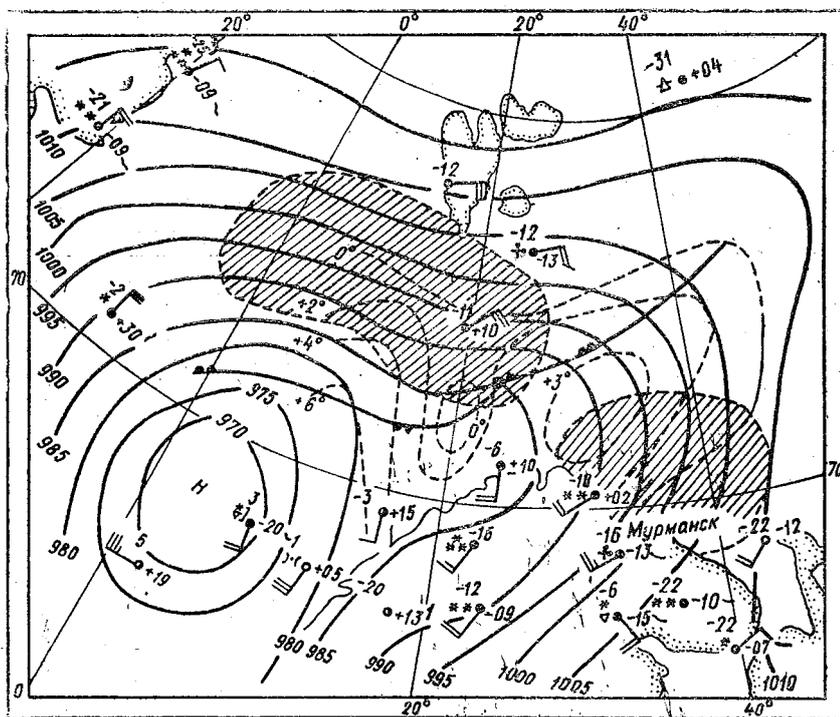


Рис.6. Карта погоды, 12 ч гринв. 28 января 1968 г.

*Пример 3.* Данный случай (16 февраля 1969 г.) показывает, что обледенение на Балтийском море (рис. 7) возникает при такой синоптической ситуации, когда в передней части циклона или ложбины создаются большие барические градиенты, вследствие чего происходит распространение холодного воздуха с континента на море.

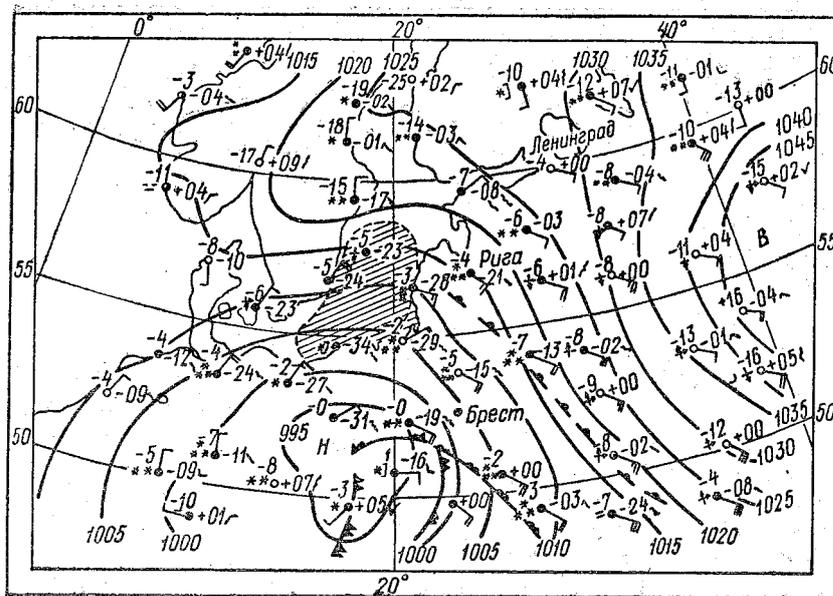


Рис. 7. Карта погоды, 0 ч гринв. 16 февраля 1969 г.

### 3.2. РАСЧЕТ ПОЛЕЙ ОБЛЕДЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Расчет ожидаемого положения полей обледенения судов предусматривает два этапа. На первом этапе осуществляется прогноз и расчет основных гидрометеорологических параметров, обуславливающих обледенение: скорости ветра, температуры воздуха, температуры и солёности воды, высоты волн. На втором — производится расчет ожидаемой интенсивности обледенения и построение прогностической карты обледенения.

Задачи первого этапа в настоящее время решаются в оперативных органах Гидрометслужбы синоптическими методами с использованием численных схем прогноза. Значительную помощь при этом оказывают спутниковые данные о границах распространения льда, температуре морской поверхности, а также данные наблюдений с судов, которые используются для уточнения прогнозов погоды.

Основой для непосредственного расчета параметров  $V$ ,  $H_{\text{волн}}$ ,  $t_{\text{вх}}$ ,  $t_{\text{в}}$  являются прогностические карты атмосферного давления на уровне моря, температуры воздуха у водной поверхности и температуры воды. На основе приземного барического поля строится поле ветра, по которому определяется поле волнения. Прогноз

и расчет полей метеоэлементов изложены в соответствующих руководствах [20—22]. Для расчета высоты волн в штормовых районах может быть рекомендована методика, разработанная в Гидрометцентре СССР (см. приложение).

Определение интенсивности и степени опасности обледенения судов типа СРТ, СРТМ и РС при различных гидрометеорологических условиях выполняется по схеме, изложенной в гл. II.

Прогноз обледенения, таким образом, можно получить с такой же заблаговременностью, как и прогноз полей метеоэлементов.

Построение прогностических карт обледенения производится в следующем порядке.

1. Для расчета ожидаемого поля обледенения выбирается несколько десятков характерных точек. Количество точек и их расположение зависит от акватории и изменчивости прогностических значений метеорологических величин. Для этой цели можно использовать, например, точки, по которым рассчитывается поле ветра. При отсутствии большого опыта в расчетах на синоптическую карту накладывают кальку с одноградусной сеткой параллелей и меридианов и расчет интенсивности обледенения производят для всех точек пересечения этих линий.

2. Полученную кальку накладывают поочередно на прогностические карты полей ветра, волнения, температуры воздуха над морем и температуры воды на поверхности моря и определяют в узлах сетки величины  $V$ ,  $H_{\text{волн}}$ ,  $t_{\text{вх}}$ ,  $t_{\text{в}}$  путем интерполяции.

3. По полученным значениям скорости ветра, высоты волны, температуры воздуха и воды, с учетом солености воды в данном участке акватории, определяют с помощью номограммы ожидаемую интенсивность обледенения для прогнозируемого типа судов в каждой точке.

4. Проводятся изолинии интенсивности обледенения через 0,5 т/ч и выделяются зоны различной степени обледенения судов согласно градациям, приведенным в табл. 2 (слабое, умеренное, сильное). На эту же кальку для оценки прогноза наносятся данные о фактических случаях слабого, умеренного и сильного обледенения судов знаками  $\infty^0$ ,  $\infty^1$ ,  $\infty^2$ , соответственно.

На рис. 8 приведена прогностическая карта обледенения для Баренцева моря применительно к судам типа СРТ. Для ее построения были использованы прогностические карты поля ветра, волнения, температуры воздуха у водной поверхности и температуры воды. По этим картам в узлах заранее выбранной сетки определялись прогностические значения метеоэлементов путем интерполяции. Затем в каждом узле сетки по полученным значениям  $V$ ,  $H_{\text{волн}}$ ,  $t_{\text{вх}}$ ,  $t_{\text{в}}$  и известной солености  $S = 35\text{‰}$  с помощью номограммы определялась ожидаемая интенсивность обледенения судов типа СРТ и проводились изолинии через 0,5 т/ч.

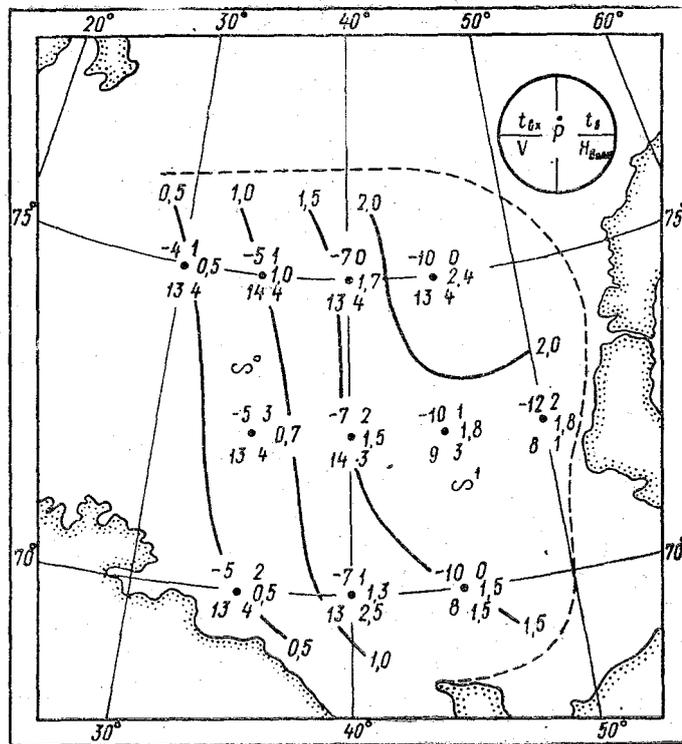


Рис. 8. Прогностическая карта на 3 ч 00 мин 24 января 1973 г. В узлах сетки даны прогностические значения температуры воздуха, скорости ветра, высоты волны и рассчитанные значения интенсивности обледенения. Знаками  $S^{\circ}$  и  $S^1$  отмечены места, где были зафиксированы случаи слабого и умеренного обледенения. Пунктиром нанесено положение кромки льда

### 3.3. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОГНОЗУ ОБЛЕДЕНЕНИЯ

1. Прогноз обледенения судов составляется на срок от 6 до 36 ч в зависимости от заблаговременности краткосрочных прогнозов погоды для судов промыслового и морского флота. Прогнозы обледенения судов являются составной частью прогнозов погоды по соответствующим районам Мирового океана.

2. Прогноз обледенения морских судов должен составляться на основе всестороннего анализа поступающей в оперативный орган гидрометеорологической информации, включая спутниковую информацию, анализа развития синоптических процессов с использованием приземных и высотных карт погоды, в частности карт АТ<sub>850</sub>.

3. При составлении прогноза обледенения судов необходимо в первую очередь составить прогноз направления и скорости ветра, температуры воздуха, высоты волн и температуры поверхностного слоя воды, поскольку прогноз этих элементов является исходным для составления прогноза обледенения судов. Кроме того, необходимо использовать данные о положении кромки льда и солёности морской воды, так как эти сведения служат дополнительным материалом, позволяющим учесть местные особенности того или иного района акватории.

4. При составлении прогноза обледенения следует учитывать следующие факторы:

а) угроза обледенения судов чаще возникает в тыловой части циклона и реже — в передней. В обоих случаях должна наблюдаться активная адвекция холодного воздуха на высотах 1,5—3,0 км при сильном ветре и отрицательных температурах воздуха;

б) для создания условий забрызгивания судна необходим сильный ветер, дующий сравнительно долгое время (3—6 ч и более) в одном направлении. Поля блинчатого и битого льда препятствуют забрызгиванию судов. При ветре, дующем с берега, обледенение судов не будет наблюдаться в прибрежной зоне шириной 1—3 мили, причем, чем выше берег, тем ширина зоны отсутствия обледенения больше;

в) основным фактором, определяющим угрозу обледенения судов, является адвекция холодного воздуха в тыловой части циклона, сопровождающаяся сильным, в ряде случаев штормовым и даже ураганным ветром в северной половине горизонта. Сравнительно реже обледенение бывает в циклонах при восточных, юго-восточных и южных ветрах;

г) зона обледенения в тылу циклона обычно начинается не сразу, а на некотором удалении от холодного фронта;

д) зона сильного обледенения судов возникает в районе ложбины холода на уровне поверхности 850 гПа;

е) в дальневосточных морях сильное обледенение бывает после прохождения глубоких циклонов. При вторжении холодных масс воздуха по восточной периферии Сибирского антициклона обледенение часто наблюдается при ясной и малооблачной погоде.

5. Прогноз обледенения с указанием ожидаемой интенсивности и степени обледенения составляется отдельно для судов водоизмещением 150—300, 300—500 и 500—1200 т. Форма представления прогнозов — карты обледенения.

6. Прогноз обледенения для судов водоизмещением 300—500 т может быть дан и по гидрометеорологическим комплексам (см. 1.3).

#### 3.4. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБ УГРОЗЕ ОБЛЕДЕНЕНИЯ СУДОВ

1. Предупреждения об угрозе обледенения судов составляются оперативными органами Гидрометслужбы, обслуживающими про-

мысловый и морской флот, аналогично предупреждениям о других опасных и особо опасных явлениях.

2. Слабое обледенение следует считать опасным явлением, умеренное и сильное — особо опасным.

3. В предупреждении об угрозе обледенения судов должны быть указаны:

- а) номер предупреждения;
- б) время возникновения обледенения;
- в) район ожидаемого обледенения;
- г) интенсивность;
- д) ожидаемое направление и скорость ветра, высота волн;
- е) температура воздуха;
- ж) рекомендуемое направление выхода из зоны обледенения.

*Пример.*

Предупреждение № 25.

Сегодня, 17 декабря 1971 г., в 15—17 ч. в Охотском море у юго-западного побережья Камчатки в районе от мыса Лопатка до Усть-Большерецка ожидается сильное обледенение судов типа СРТ. Ветер северо-западный 20—25 м/с, температура воздуха минус 10—15°, высота волн 5 м. Судам, находящимся в указанном районе, рекомендуется уйти в укрытие под берег.

### 3.5. ЧИСЛЕННЫЙ ПРОГНОЗ ОБЛЕДЕНЕНИЯ СУДОВ

Наряду с изложенными методами развивается другой подход к прогнозу обледенения судов, основанный на использовании результатов предвычисления полей метеоэлементов по гидродинамическим и физико-статистическим схемам. В этом случае прогноз обледенения может быть включен в комплексную расчетную схему и полностью, вплоть до выдачи рекомендаций, реализован на ЭВМ. В общем виде решение этой задачи предусматривает следующие этапы.

1. Численный прогноз давления воздуха, направления и скорости ветра у поверхности моря на основе гидродинамической теории или физико-статистических методов.
2. Численный прогноз температуры воздуха у поверхности моря.
3. Численный прогноз температуры поверхностного слоя воды.
4. Расчет параметров волнения по гидрометеорологическим данным с учетом глубины моря и удаления от кромки льда и берегов.
5. Расчет интенсивности обледенения судна данного типа.
6. Выдача навигационных рекомендаций.

В настоящее время по каждому из указанных разделов ведутся широкие исследования. Однако задача эта весьма сложна и достаточно полного решения ее пока еще нет.

Один из возможных путей решения задачи показан в работе Е. П. Борисенкова и др. [23]. Учитывая, что основными факторами,

обуславливающими бразговое облeдeнeнe, являюся вeтeр и тeмпeратура вoздyxa, автoрами были рeкoмeндoваны гeдрoмeтeорoлoгичeские кoмплeксы (см. 1.3), знaниe кoтoрых, в чaстнoсти, пoзвoляeт сyдить o стeпeни облeдeнeния прoмыслoвых сyдoв типa СРТ. Тoгда зaдaчa прoгнoзa облeдeнeния мoжeт быть свeдeнa к двyм этaпaм.

1. Числeнный прoгнoз тeмпeратуры вoздyxa и скoрoсти вeтeрa y пoвeрхнoсти вoды с выдaчeй нa пeчaть признaкa, yкaзывaющeгo нaличия в дaннoм рaйoнe тoгo или инoгo гeдрoмeтeорoлoгичeскoгo кoмплeксa.

2. Выдaчa нaвигaциoнных рeкoмeндaций.

В цeлях прoгнoзa рaссмaтривалась мaлoпaрaмeтричeская мoдeль атмoсфeры, энeргeтичeски эквивaлeнтнaя рeальной атмoсфeрe. В кaчeствe пeрeвычисляeмых элeмeнтoв фигурирyют дaвлeниe и тeмпeратура вoздyxa y пoвeрхнoсти и гeoпoтeнциaл срeднeгo энeргeтичeскoгo yрoвня, oднoзнaчнo связaнный с тeмпeратурoй срeднeгo энeргeтичeскoгo yрoвня. Зaдaчa рeшaeтся мeтoдoм сeтoк шaгaми вo врeмeни, рaвными 3 ч. Зaблaгoврeмeннoсть прoгнoзa — oдни сyтки. Нa пeчaть выдaются дaнныe o тeмпeратурe вoздyxa, скoрoсти вeтeрa и сooтвeтствyющeм гeдрoмeтeорoлoгичeскoм кoмплeксe. Кaсaeясь прaктичeскoй рeализaции yкaзaннoй гeдрoдинaмичeскoй мoдeли нa ЭВМ, слeдyeт oтмeтить oпpeдeлeнныe тpyднoсти, связaнныe с нeдoстaткoм исxoдных дaнных. В знaчитeльнoй мeрe эти тpyднoсти мoжнo пpeoдoлeть с пoмoщью спyтникoвoй инфoрмaции.

Пo-видимoмy, в цeлях числeннoгo прoгнoзa облeдeнeния сyдoв бyдyт рaзрaбoтаны бoлee нaдeжныe гeдрoдинaмичeские мoдeли прoгнoзa мeтeoэлeмeнтoв нaд мoрскими aквaтoриями. В этoм нaпрaвлeнии сдeлaны лишь пeрвыe шaги. При нaличии числeнных или стaтистичeских прoгнoстичeских мoдeлeй, пoзвoляющих пoлyчить знaчeния тeмпeратуры вoздyxa и вeтeрa нaд мoрeм, a тaкжe высoты вoлны и тeмпeратуры вoды, мoжнo бyдeт сoстaвить пoлнyю схeмy числeннoгo прoгнoзa облeдeнeния сyдoв (oт прoгнoзa мeтeo-элeмeнтoв и рaсчeтa интeнсивнoсти облeдeнeния сyдoв дo выдaчи нaвигaциoнных рeкoмeндaций) для рeализaции ee нa ЭВМ.

### **3.6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ (ИСЗ) ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОБ ОБЛЕДЕНЕНИИ МОРСКИХ СУДОВ**

В связи с рaзвeтиeм спyтникoвых мeтoдoв измeрeний пaрaмeтpoв oкeанa и атмoсфeры пoявились вoзмoжнoсти сyщeствeннoгo yтoчнeния oпeрaтивнoгo прoгнoзa облeдeнeния зa счeт пpивлeчeния инфoрмaции, пoстyпaющeй с ИСЗ.

Пpимeнeниe спyтникoв oбeспeчивaeт нoвыe кaчeствa пoлyчaeмoй инфoрмaции: oпeрaтивнoсть, пpocтpaнствeннo-врeмeннyю нeпperyвнoсть, oхвaт бoльших рaйoнoв. ИСЗ, нaблeжeнныe кoмплeксaми рaдиoфизичeскoй aппaрaтyры, пoзвoляют в пpинципe oсy-

ществлять прямые дистанционные измерения характеристик океана и атмосферы, необходимых для расчета и прогноза потенциально возможной интенсивности обледенения судов (температуры поверхностного слоя и солености воды, параметров волнения морской поверхности, скорости и направления ветра, температуры воздуха в приводном слое). Могут быть выявлены также зоны штормов, определена ледовая обстановка [24, 25, 26].

Получая указанную информацию со спутников, можно по методике, изложенной в гл. III, оперативно рассчитывать поля интенсивности обледенения судов, своевременно предупреждать суда о расположении районов опасного обледенения и времени безопасного нахождения в них, а также давать рекомендации судам каким курсом наиболее рационально выходить из опасной зоны.

Для наблюдения за ледовой обстановкой в настоящее время в основном используются телевизионные изображения поверхности акваторий в оптическом и инфракрасном (ИК) диапазонах. В последние годы стали использоваться методы сверхвысокочастотной (СВЧ) радиометрии, важным преимуществом которых по сравнению с оптическим и ИК методами является возможность получения информации при наличии облачности и независимо от условий освещенности. Определение границ ледовой кромки радиометрическим методом реализуется за счет различия величин диэлектрической проницаемости воды и льда, что имеет следствием значительный перепад радиоярких температур при переходе от участков открытой воды к ледовой поверхности.

В качестве примера на рис. 9 приведен профиль радиояркой температуры открытой морской поверхности, морских и материковых льдов, полученный с ИСЗ «Космос-243» [25] с высоты 210—319 км. При полете спутника над Антарктидой профили радиояркой температуры четко фиксировали границу перехода от зоны открытой поверхности океана к зоне, покрытой льдом, что позволяет построить границу ледовых полей.

На рис. 10 [25] представлена карта распределения морских льдов в Антарктике, построенная по радиометрическим данным ИСЗ «Космос-243», полученным в результате обработки материала за четверо суток: отмечены зоны с различной сплоченностью морских льдов. Как показывают модельные расчеты и эксперименты в СВЧ диапазоне, имеется близкая к линейной зависимость величины радиояркой температуры от сплоченности (рис. 11). Радиотепловые методы весьма перспективны при наблюдениях за начальными формами льдообразования (шуга, снежура, ниласы).

Для определения температуры поверхности океана с помощью ИСЗ выполняются измерения температурного электромагнитного излучения океана. Могут быть использованы так называемые «окна» прозрачности в ИК диапазоне, т. е. те спектральные участки, где поглощение излучения водяным паром и другими атмосферными газами сравнительно мало (например, в диапазоне 10—12 мкм). Однако измерения температуры поверхности Земли

в ИК диапазоне возможны лишь при безоблачной атмосфере; мощные облака и интенсивные осадки в ИК диапазоне практически оказываются непрозрачны. Кроме того, даже в безоблачной атмосфере результаты измерения существенно искажаются в зависимости от вертикального профиля температуры и влажности воздуха, а также от содержания аэрозоля.

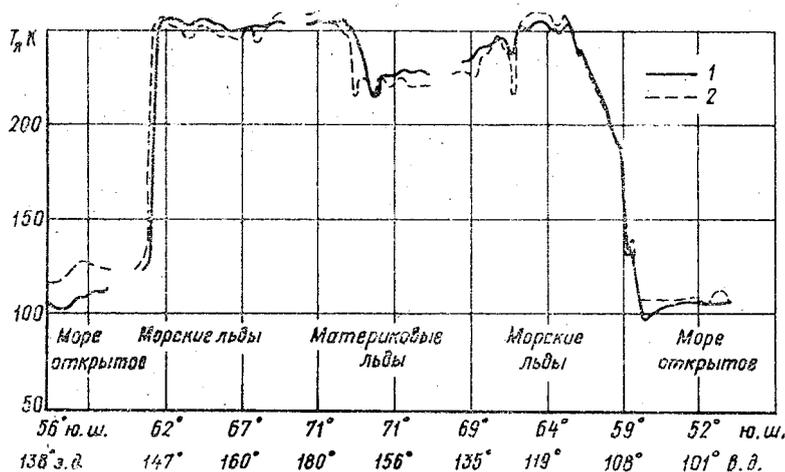


Рис. 9. Профиль радиояркостной температуры открытой морской поверхности, морских и материковых льдов Антарктиды, полученный по данным ИСЗ «Космос-243» 23 сентября 1968 г. на двух длинах волн:  
1— $\lambda=8,5$  см; 2— $\lambda=3,4$  см

В радиодиапазоне, особенно в его длинноволновой части, искажения сигнала излучения в атмосфере значительно меньше. За исключением случаев предельно мощных облаков с интенсивными осадками температуру подстилающей поверхности удастся измерять в диапазоне 3—10 см «сквозь облака» с погрешностью около 1°С. Даже при наличии облачности и осадков эти искажения можно учесть, так как измерения выполняются одновременно на нескольких участках СВЧ диапазона, например на участке  $8 \div 10$  см, где искажения хотя и сравнительно малы, но все же существенны, и на участке  $0,5 \div 1$  см, где искажения велики и могут быть использованы для введения поправок, учитывающих искажающую роль облаков и осадков на участке  $8 \div 10$  см.

Пример широтного распределения температуры поверхности Тихого океана, полученного на основе радиометрических данных ИСЗ «Космос-243», представлен на рис. 12. Здесь показаны также среднеклиматические данные о температуре морской поверхности и результаты судовых наблюдений.

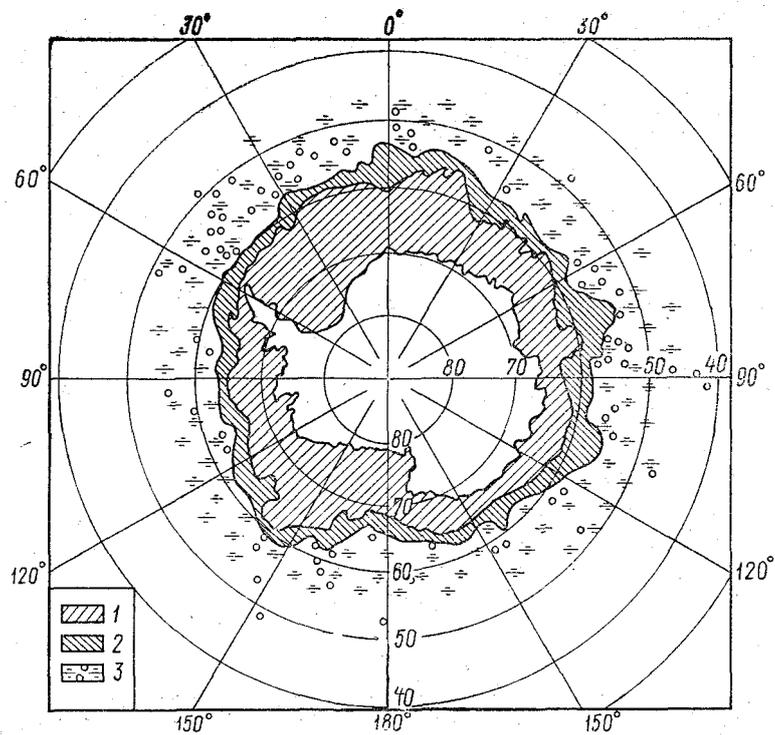


Рис. 10. Карта распределения морских льдов в Антарктике 23—26 сентября 1968 г., построенная по радиометрическим данным спутника «Космос-243»:  
 1 — сплоченный лед (8—10 баллов); 2 — разреженный лед (1—7 баллов); 3 — отдельные плавающие льдины (<1 балла)

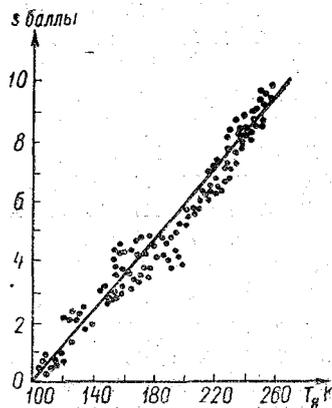


Рис. 11. Зависимость радиояркостной температуры ледовых полей от сплоченности льда в диапазоне длин волн  $\lambda = 1 - 10$  см. Показаны экспериментальные данные и аппроксимирующая их прямая линия

О скорости ветра в приводном слое и связанного с ним волнения морской поверхности судят либо по величине коэффициента рассеяния поверхностью моря, либо по радиояркостной температуре (пассивный метод). Обе характеристики меняются вслед за изменением структуры морской поверхности, вызванной волнением.

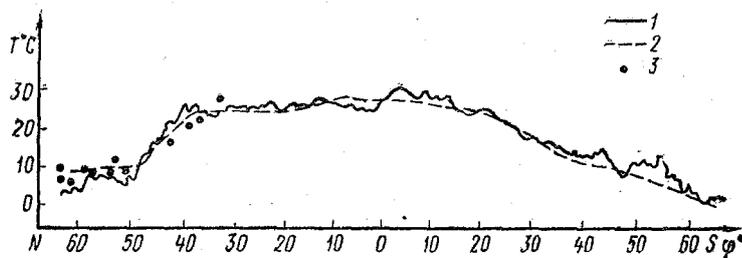


Рис. 12. Разрез температурного поля поверхности Тихого океана (от Берингова моря до Антарктиды) 23.9.1968 г. по радиометрическим измерениям на волне  $\lambda = 8,5$  см с ИСЗ «Космос-243» (1). Для сравнения даны среднеклиматические данные (2); корабельные данные за 23—25 сентября 1968 г. (3)

Анализ результатов экспериментов на самолетах, на ИСЗ «Космос-243» и орбитальной станции «Скайлэб» [25, 26] говорит о том, что в диапазоне длин волн  $\lambda = 1 \div 20$  см имеется хорошо выраженная зависимость радиояркостной температуры (рис. 13) от скорости ветра. Приращение радиояркостной температуры, вызванное волнением, равно нулю лишь в предельном случае, соответствующем штилевому условиям. На рис. 13 видно, что для определения скорости ветра в диапазоне  $0 \div 10$  м/с по радиояркостной температуре морской поверхности необходимы ее измерения при углах наблюдения  $\theta$  относительно вертикали больших  $0^\circ$ . Оптимальным является угол  $\theta = 55^\circ$ .

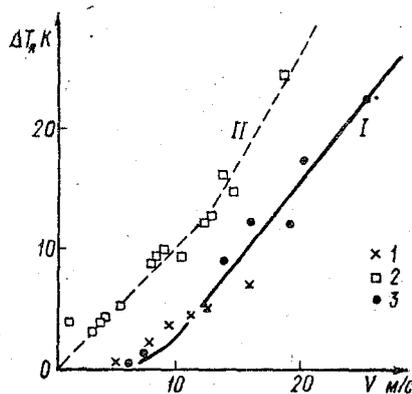


Рис. 13. Зависимость приращения радиояркостной температуры морской поверхности от скорости ветра:

I — при угле наблюдения  $\theta = 0^\circ$ ; II — при угле наблюдения  $\theta = 55^\circ$ ; 1, 2, 3 — по данным [26]

Для наблюдения за морским волнением перспективно применение радиолокационных станций бокового обзора (РЛС БО) [27], обладающих большой шириной обзора и высокой пространственной разрешающей способностью (до единиц метров). Так,

например, самолетная РЛС БО «Торос» успешно применяется для измерений морского волнения и для картирования ледяного покрова.

### Типовой расчет оперативного прогноза обледенения

До настоящего времени не было проведено комплексных спутниковых измерений характеристик океана и атмосферы с помощью ИК и СВЧ радиометрической аппаратуры в нескольких частотных диапазонах, которые достаточны для расчета полей интенсивности обледенения судов. Имеющаяся спутниковая информация о скорости ветра (волнении), температуре и солености океана, температуре воздуха, ледовой обстановке относится к разным районам или не совпадает по времени. Поэтому приведенный ниже типовой расчет интенсивности обледенения морских судов типа СРТ хотя и выполнен применительно к реальной обстановке, но является чисто методическим. Некоторые данные взяты действительные, другие, которые на самом деле не измерялись по всей анализируемой территории, экстраполировались во времени и в пространстве или приравнивались к средним климатическим.

В целях типового расчета интенсивности обледенения воспользуемся в качестве основы результатами дистанционных исследований параметров океана методами СВЧ радиометрии, проведенных на ИСЗ «Космос-243» в сентябре 1968 г.

Прием уходящего излучения системы «атмосфера—подстилающая поверхность» осуществлялся с помощью четырех радиометров в следующих участках спектра:  $\lambda=8,5$  см (I канал);  $\lambda=3,4$  см (II канал);  $\lambda=1,35$  см (III канал);  $\lambda=0,8$  см (IV канал). Антенны радиометров были направлены в надир. Линейный размер участка поверхности, который попадал в поле зрения антенны, на волне 8,5 см составил примерно 50 км, на остальных волнах примерно 20 км.

Информация о характеристиках излучения поверхности морской акватории была получена на длинах волн  $\lambda=8,5$  см и  $\lambda=3,4$  см. Состояние и характеристики атмосферы определялись по данным, полученным на длинах волн  $\lambda=1,35$  см и  $\lambda=0,8$  см.

В качестве исходного материала для анализа были использованы также синоптические карты южного полушария за 00 ч гринвичевского времени 23—26 сентября [28]. Для рассмотрения взята акватория южной части Тихого океана между  $100^\circ$  з. д. и  $170^\circ$  в. д., ограниченная на севере параллелью  $40^\circ$  ю. ш., а на юге — кромкой льда. На синоптическую карту за 00 ч 24 сентября 1968 г. [28], представленную на рис. 14, нанесены наземные проекции трех орбит спутника «Космос-243», которые приходятся на вечерние часы 23 сентября 1968 г. Радиометрическую информацию, полученную с ИСЗ на витках I—III, можно считать практически синхронной по отношению к синоптической информации на карте рис. 14. Распределение морских льдов и их сплоченность

в Антарктике на 23—26 сентября приведено на карте рис. 10, построенной по радиометрическим данным спутника «Космос-243». Они же использованы для отметки кромки льда на рис. 14.

В конце сентября 1968 г., на который приходится радиометрические измерения спутника «Космос-243», синоптическая ситуация в южной части акватории определялась активной циклонической деятельностью, сопровождающейся большими горизонтальными барическими градиентами, которые явились причиной сильных ветров (рис. 14).

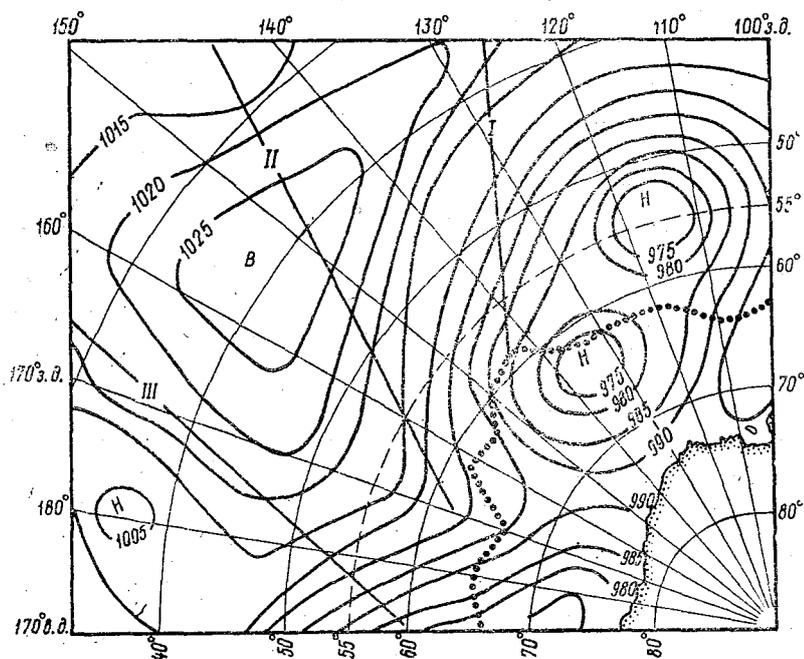


Рис. 14. Синоптическая карта акватории южной части Тихого океана за 00 ч 24 сентября 1968 г. и нефанализ за 21 ч 23 сентября — 09 ч 24 сентября 1968 г. Точками нанесено положение кромки льда (по радиометрическим данным ИСЗ «Космос-243»):

I, II, III — наземные проекции трех витков ИСЗ

Кромка льда у побережья Антарктиды доходила до 60° ю. ш. (рис. 10, 14), что ограничивало развитие волнения. Радиометрические измерения с ИСЗ «Космос-243» позволили определить штормовые районы и скорость ветра в приводном слое.

На рис. 15 представлен широтный ход приращений радиояростной температуры поверхности океана относительно радиояростной температуры спокойного моря на длинах волн  $\lambda = 3,4$  см и  $\lambda = 8,5$  см для витка I (см. рис. 14) [28]. По оси ординат отло-

жены приращения радиоярких температур относительно среднеклиматических  $\Delta T_{\text{я}} K$ . На том же рисунке показано широтное распределение высоты волны, которая определялась по номограмме, разработанной в отделе морских прогнозов Гидрометцентра СССР [33], которая позволяет определить высоту волны непосредственно по градиенту давления и разгону волны (или продолжительности действия ветра).

В северной части витка I (левая часть рис. 15) радиояркая температура близка к термодинамической. Это безградиентная область антициклона со слабыми ветрами и с облачностью преимущественно небольшой, местами значительной (рис. 14). Высота волн в этом районе невелика, не превышает 0,5—1 м. В южной части витка (правая часть рис. 15) радиояркая температура резко увеличивается, достигая максимума на широте  $56^{\circ},5$  ю. ш. (при измерении на волне  $\lambda=8,5$  см).

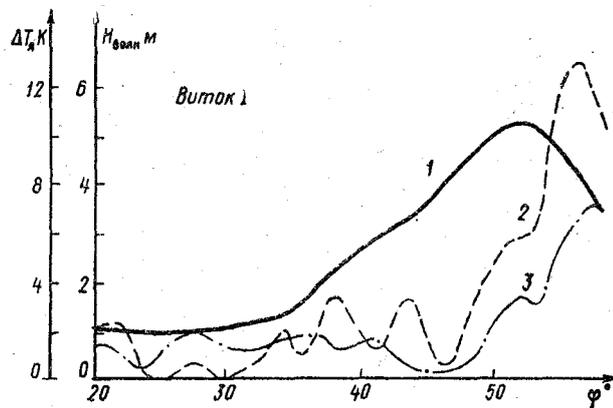


Рис. 15. Широтный ход приращений радиояркой температуры и высоты волн (ИСЗ «Космос-243», 23 сентября 1968 г.):  
1 — высота волны ( $H_{\text{волн}}$ ); 2 —  $\Delta T_{\text{я}}$  на длине волны  $\lambda=3,4$  см; 3 —  $\Delta T_{\text{я}}$  на длине волны  $\lambda=8,5$  см

Результаты синхронных измерений на длинах волн  $\lambda=1,35$  см и  $\lambda=0,8$  см свидетельствуют о том, что это приращение радиояркой температуры было вызвано именно сильным волнением, а не облачностью и осадками. Как видно из рис. 15, кривая волнового профиля поднимается более плавно, чем кривая приращений радиоярких температур, отвечая динамике перехода из области антициклона со слабыми ветрами к периферии двухцентральной области пониженного давления, где за холодным фронтом наблюдается усиление ветра. Скорость ветра достигает максимума в районе широты  $52^{\circ}$  ю. ш., а затем уменьшается по мере приближения к кромке льда по мере уменьшения разгона ветра над водным пространством. Вблизи кромки льда  $57—58^{\circ}$  ю. ш. обнаружи-

вается тенденция к уменьшению радиоярких температур, но это уменьшение более существенно в высоких широтах. Скорости ветра в приводном слое определялись по приращению радиояркой температуры морской поверхности, для чего использовались графики рис. 13 и 15.

Аналогичным образом был произведен анализ других витков. Он показал, что радиометрическая информация может передавать динамическую картину состояния поверхности моря более детально, чем расчеты, основанные на знании барических градиентов.

По результатам измерений на волне  $\lambda=8,5$  см был рассчитан ход температуры поверхности океана вдоль витков спутника (см. рис. 12, линия 1). Термодинамическая температура определялась по измеренной радиояркой температуре и известному (расчетному) значению коэффициента излучения поверхности океана с учетом зависимости от температуры и солености. При наличии облачности и осадков в данные вводилась поправка на поглощение излучения в них (по измерениям на длинах волн равных 0,8; 1,35 см). На рис. 12 для сравнения приведен среднеклиматический разрез температуры поверхности океана. Из рисунка видно, что измерения на волне  $\lambda=8,5$  см достаточно хорошо передают особенности широтного распределения температуры по поверхности океана. Однако получаемые по измерениям с ИСЗ значения температур соответствуют термодинамическим температурам лишь при относительно спокойном состоянии водной поверхности. Так, кажущееся «потепление» в районе  $45-60^\circ$  ю. ш. является следствием изменения излучательной способности океана за счет усиления волнения. Подтверждением этому служит приведенный выше анализ волновых профилей и профилей приращения радиояркой температуры. Анализ рис. 10 и 14 показывает, что в районах широт от  $52^\circ$  ю. ш. до  $60-65^\circ$  ю. ш. наблюдались начальные формы ледообразования, т. е. температура воды в этих районах была близка к нулю.

Температура воздуха и соленость воды, также необходимые для расчета обледенения, определялись в данном примере по среднеклиматическим картам. Термодинамическая температура воздуха в рассматриваемом районе Антарктики в это время года измеряется только на нескольких метеостанциях, судовые наблюдения не производятся. Температура воздуха известна в точках с координатами  $140^\circ$  з. д. и  $65^\circ$  ю. ш. ( $t_{вх} = -10^\circ \text{C}$ );  $160^\circ$  з. д. и  $54^\circ$  ю. ш. ( $t_{вх} = -5^\circ \text{C}$ ) на 23 сентября 12 ч гринвичского времени. По этим данным была проведена интерполяция в узлы регулярной сетки. Соленость воды для всего района принималась  $S = 35\text{‰}$ .

Анализ рис. 13—15 показывает, что для витка I скорость ветра достигала максимума (около 20 м/с) в районе широты  $56^\circ$  ю. ш., а затем уменьшалась до штиля по мере приближения к кромке льда.

Таким образом, для витка I были определены значения температуры воды и воздуха, скорости ветра и высоты волны (рис. 16). Далее по вышеизложенной методике (гл. II) с учетом солёности морской воды в данной акватории были рассчитаны интенсивности обледенения судов типа СРТ и построен их широтный ход (рис. 16). Выполнив аналогичным образом количественный анализ по другим виткам, можно получить для каждого узла выбранной сетки интенсивность обледенения судов типа СРТ. В результате была построена карта распределения интенсивности обледенения судов (рис. 17) в рассматриваемом районе Антарктики (изолинии интенсивности проведены через 0,5 т/ч).

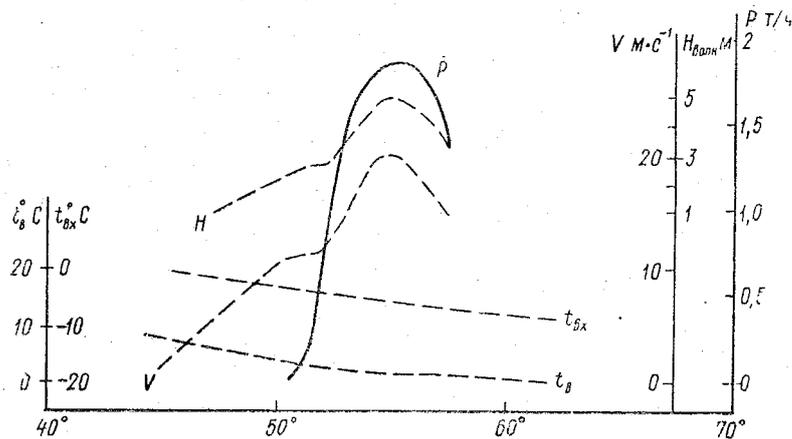


Рис. 16. Широтный ход температуры воды  $t_w$  °С, температуры воздуха  $t_{vx}$  °С, скорости ветра  $V$  м/с, высоты волны  $H_{волн}$  и интенсивности обледенения  $\dot{P}$  т/ч

Учитывая, что максимальная интенсивность обледенения судов типа СРТ для рассматриваемого случая оказалась равной 1,8 т/ч (рис. 17), можно сказать, что для судна данного типа с полной загрузкой время безопасного нахождения в зоне максимального обледенения (до получения критической нагрузки и потери остойчивости) согласно данным рис. 2 составит 22 ч.

На основе рассчитанной карты полей обледенения можно давать рекомендации судам, каким курсом наиболее рационально выходить из опасной зоны. Учитывая расположение зон обледенения, а также сложившуюся синоптическую ситуацию, можно рекомендовать судам, находящимся в районе, ограниченном 130—160° з.д. и 58—60° ю.ш., направиться к полям сплошного льда, а судам, находящимся в районе, ограниченном тем же интервалом долгот и 53—55° ю.ш., уйти в более низкие широты.

Касаясь практического использования рассмотренного метода прогноза обледенения морских судов, следует отметить, что в самое ближайшее время измерение всех параметров, необходимых для расчета обледенения, будет производиться более оперативно.

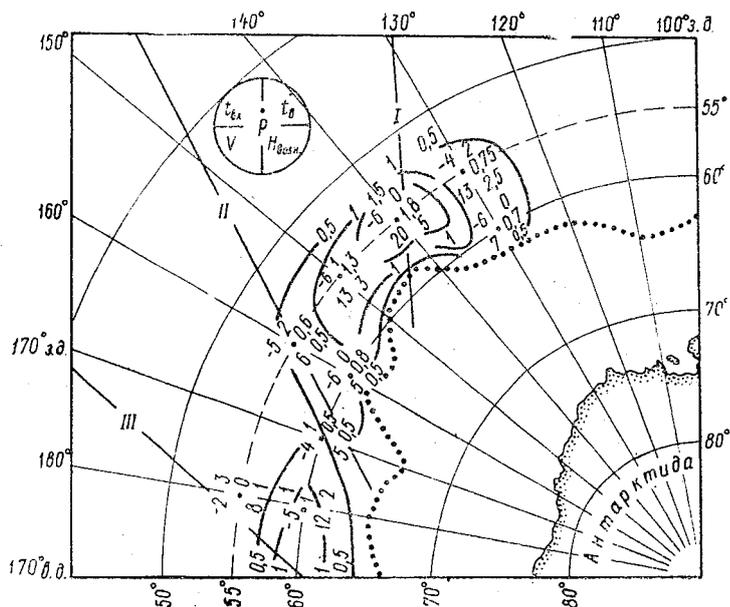


Рис. 17. Карта обледенения судов за 23—24 сентября 1968 г. В узлах сетки даны значения температуры воздуха ( $t_{\text{в}}$ ), температуры воды ( $t_{\text{в}}$ ), скорости ветра ( $V$ ), высоты волны ( $H_{\text{волн}}$ ) и рассчитанные значения интенсивности обледенения ( $P$ ). Точками нанесено положение кромки льда, а также показаны траектории орбит (I, II, III) спутника «Космос-243»

В соответствии с космическими программами в СССР и зарубежом осуществляются запуски океанологических спутников, предназначенных для получения информации о высоте волн в океане, направлении и скорости поверхностных течений, направлении и скорости ветра в приземном слое атмосферы, температуре поверхностного слоя океана, ледовой обстановке и других параметрах океана и атмосферы. В ближайшие годы следует ожидать, что система подобных ИСЗ позволит оперативно передавать на каждый корабль и береговые диспетчерские и командные пункты карты состояния моря, погодных условий, течений и т. п., а тем самым — и необходимые навигационные рекомендации, в том числе и по предотвращению обледенения судов.

Спутники позволят накопить материал для построения климатических карт интенсивности обледенения — основы для долгосрочных прогнозов интенсивности обледенения судов различных типов и оптимального планирования рыболовных операций.



#### *Глава IV*

### **МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КАРТ МНОГОЛЕТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛЕДЕНЕНИЯ СУДОВ**

При решении вопросов, связанных с долгосрочным прогнозированием обледенения, вычислением рекомендованных курсов движения судов, планированием рыбопромысловых операций, необходимо располагать климатическими картами, характеризующими различные районы Мирового океана в отношении опасности обледенения. Эти карты должны базироваться на массовом материале систематических наблюдений на морях. С этой целью следует использовать информацию судовых гидрометеорологических наблюдений.

При создании режимных пособий, позволяющих судить о климатической вероятности обледенения судов, и его интенсивности, решающим фактором является обоснование и выбор метода оценки интенсивности обледенения. В настоящее время наметились два основных подхода к методике расчета и картированию характеристик обледенения.

Один из них предполагает использование для характеристики степени обледенения судов гидрометеорологических комплексов, включающих в себя различные сочетания температуры воздуха и скорости ветра. На этом принципе в настоящее время для различных морских акваторий построены карты повторяемости тех или иных комплексов, а соответственно, и повторяемости тех или иных условий обледенения судов типа СРТ. Карты обледенения судов, составленные по данной методике, содержат сведения о географическом положении зон различной интенсивности обледенения: медленного, быстрого и очень быстрого, и повторяемости этих градаций интенсивности в различные месяцы холодного периода года. Методика построения указанных карт подробно рассматривается в работах [29, 30].

Другой подход, рассматриваемый ниже, заключается в получении количественных климатических характеристик обледенения на основе расчета его интенсивности по основным гидрометеорологическим параметрам, обуславливающим обледенение судов: температуре воздуха, скорости ветра, высоте волны, температуре

воды и ее солёности (см. гл. II). В этом случае распределение повторяемостей различных значений интенсивности обледенения аппроксимируется теоретическим распределением, параметры которого картируются [31].

При таком подходе появляется возможность кроме карт распределения зон различной интенсивности обледенения получать еще дополнительно ряд интегрально-вероятностных характеристик обледенения, которые могут быть использованы при разработке практических рекомендаций о возможности безопасного плавания и ведения промысла судами различных типов и категорий в морских и океанических районах.

Принцип построения карт вероятности обледенения может быть проиллюстрирован примером, в котором рассчитаны и картированы климатические характеристики обледенения для северной части Тихого океана применительно к судам типа СРТ.

Исходным материалом явились данные судовых гидрометеорологических наблюдений, проводимых штурманским составом промысловых и транспортных судов СССР, Японии, США, собранных во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидрометеорологической информации — Мировом центре данных для северной части Тихого океана за период с 1890 по 1970 гг. Основная масса наблюдений приходится на последние 20 лет. Всего было использовано более 500 000 наблюдений. Из них выбирались сведения о температуре воздуха и воды, скорости ветра и высоте волн.

Обработка материалов осуществляется в такой последовательности. Вначале все судовые наблюдения сортируются по месяцам и квадратам, размеры которых определяются в зависимости от гидрометеорологического режима и плотности информации. В данном случае были выбраны квадраты  $5 \times 5^\circ$ . Далее в каждом квадрате по значениям скорости ветра, высоте волны, температуре воздуха, температуре воды и ее солёности по формулам (1) и (3) или по номограмме (см. рис. 4) определяется интенсивность обледенения  $\dot{P}$  и рассчитывается среднемесячная повторяемость различных значений интенсивности обледенения рыбопромысловых судов типа СРТ.

Обработка наблюдений показала, что среднемесячная повторяемость отсутствия обледенения от месяца к месяцу и в разных квадратах изменяется в широких пределах (практически от 0 до 1) и поэтому корректно аппроксимировать распределение вероятности по интенсивности  $f(\dot{P})$  нельзя, ибо не существует «отрицательной» интенсивности обледенения. Между тем, чтобы рассчитать среднемесячное значение интенсивности обледенения, наиболее вероятную интенсивность и другие интегрально-вероятностные характеристики обледенения, необходимо знать функцию распределения интенсивности обледенения  $F(\dot{P})$  не только для  $\dot{P} > 0$ , но

и во всей области отсутствия обледенения. Поэтому при дальнейшей обработке допускалась некоторая условность, заключающаяся в том, что вводилась в рассмотрение отрицательная интенсивность обледенения ( $\dot{P} < 0$ ). Анализ исходного материала показал, что как в реальной области ( $\dot{P} > 0$ ), так и в области отрицательной интенсивности обледенения, распределение накопленных повторностей интенсивности обледенения может быть приближенно аппроксимировано экспоненциальным законом. Чтобы получить как реальное ( $P > 0$ ), так и «фиктивное» ( $\dot{P} < 0$ ) распределение  $F(\dot{P})$ , была выбрана функция вида [32]

$$F(\dot{P}) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{\dot{P} + A}{\gamma} \right)^\beta \right], \quad (5)$$

где  $\beta$  и  $\gamma$  — параметры распределения, характеризующие вид кривой для данного месяца во всем диапазоне значений  $\dot{P}$ ;  $A$  — фиктивная интенсивность ( $\dot{P} < 0$ ), соответствующая нулевой вероятности.

Чтобы получить вероятность отсутствия обледенения  $\alpha$ , надо в (5) подставить  $P=0$ . Тогда

$$\alpha = F(0) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{A}{\gamma} \right)^\beta \right]. \quad (6)$$

Выражая величину  $A$  с помощью (6) через  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и подставляя ее в (5), получим в окончательном виде выражение для функции распределения интенсивности обледенения  $F(P)$ , из которого находятся параметры распределения  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ .

Типовые расчеты, выполненные по данной схеме, показали, что для практических расчетов  $F(P)$  вместо выражения (5) можно воспользоваться более простой формулой, если принять все случаи отрицательной интенсивности обледенения равными  $\dot{P}=0$  и определив величину  $\alpha$  в процессе предварительной обработки данных. В этом случае вероятность интенсивности обледенения ниже заданного предела может быть рассчитана по формуле

$$F(\dot{P}) = 1 - \alpha^* \exp \left[ - \left( \frac{\dot{P}}{\gamma} \right)^\beta \right], \quad (7)$$

где  $\alpha^*$  — вероятность обледенения, которая равна  $1 - \alpha$ .

Соответственно, вероятность интенсивности обледенения больше заданной может быть представлена как

$$F^*(\dot{P}) = 1 - F(\dot{P}) = \alpha^* \exp \left[ - \left( \frac{\dot{P}}{\gamma} \right)^\beta \right]. \quad (8)$$

Плотность вероятности различной интенсивности обледенения судов может быть получена путем дифференцирования выражения (7) по  $\dot{P}$ . Таким образом,

$$f(\dot{P}) = \frac{\partial F(\dot{P})}{\partial \dot{P}} = \frac{\alpha^* \beta}{\gamma^\beta} \dot{P}^{\beta-1} \exp \left[ - \left( \frac{\dot{P}}{\gamma} \right)^\beta \right], \quad (9)$$

а наиболее вероятная интенсивность (которая находится из условия  $\frac{\partial f(\dot{P})}{\partial \dot{P}} = 0$ ) может быть рассчитана по величинам  $\beta$  и  $\gamma$  по формуле

$$\dot{P}_{н.в} = \gamma \left( \frac{\beta - 1}{\beta} \right)^{1/\beta}. \quad (10)$$

Среднемесячная интенсивность обледенения может быть представлена как

$$\bar{P} = \int_0^{\infty} \dot{P} f(\dot{P}) d\dot{P}. \quad (11)$$

Подставляя в выражение (11) значение  $f(\dot{P})$  из (9), после интегрирования получим формулу для расчета среднемесячной интенсивности обледенения

$$\bar{P} = \frac{\alpha^* \gamma}{\beta} \Gamma \left( \frac{1}{\beta} \right). \quad (12)$$

Расчитанные изложенным способом значения среднемесячных величин  $\bar{P}$ ,  $\alpha^*$  и  $\beta$  в каждом квадрате наносятся на карту, а затем проводятся их изолинии.

На основе развитой методики были составлены соответствующие алгоритмы для автоматизированной обработки судовой гидрометеорологической информации и выполнен расчет на ЭВМ характеристик обледенения. На рис. 18 приведена карта вероятности обледенения судов типа СРТ в северной части Тихого океана. Аналогичные карты могут быть составлены применительно к судам типа РС и СРТМ.

С помощью указанных карт и формул (7) и (8) можно рассчитывать интегрально-вероятностные характеристики обледенения. Так, задавая интенсивность обледенения судов, можно рассчитать вероятность обледенения с интенсивностью ниже или выше заданного предела, и наоборот, задавая вероятность, рассчитать соответствующую ей интенсивность обледенения. Для этого в формулах (7) и (8) необходимо с помощью выражения (12) заменить  $\gamma$  на картируемый параметр  $\bar{P}$ .

Тогда расчетные формулы (7) и (8) можно записать в виде:

$$F(\dot{P}) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{\alpha^* \Gamma \left( \frac{1}{\beta} \right)}{\beta} \frac{\dot{P}}{\bar{P}} \right)^\beta \right], \quad (13)$$

$$F^*(\dot{P}) = \exp \left[ - \left( \frac{\alpha^* \Gamma \left( \frac{1}{\beta} \right)}{\beta} \frac{\dot{P}}{\bar{P}} \right)^\beta \right]. \quad (14)$$

Для удобства расчетов  $F(\dot{P})$  и  $F^*(\dot{P})$  формулы (13) и (14) могут быть затабулированы или номографированы.

*Пример.* Требуется определить для судов типа СРТ вероятность интенсивности обледенения более 4 т/ч в феврале месяце в предполагаемом районе промысла с координатами  $50^\circ$  с. ш.  $155^\circ$  в. д.

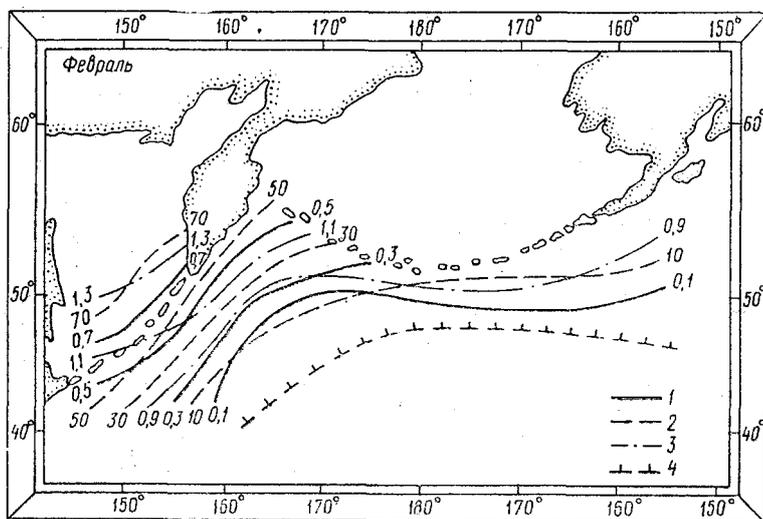


Рис. 18. Карта вероятности обледенения судов типа СРТ в северной части Тихого океана:

1 — среднемесячная интенсивность обледенения  $\bar{P}$ , т/ч; 2 — вероятность обледенения  $\alpha^*$ , %; 3 — параметр распределения  $\beta$ ; 4 — граница возможного обледенения в особо суровые зимы

На карте вероятности обледенения судов за февраль (см. рис. 18) в указанной точке определяем значения параметров путем интерполяции:

$$\bar{P} = 0,7; \quad \alpha^* = 0,6; \quad \beta = 1,2.$$

Теперь, подставляя в формулу (14)  $\dot{P} = 4$  т/ч и снятые с карты значения  $\bar{P}$ ,  $\alpha^*$  и  $\beta$ , находим искомую вероятность, которая равна 0,015. Таким образом, в данном районе вероятность значений  $\dot{P} > 4$  т/ч (вероятность сильного обледенения судов типа СРТ) равна 1,5%.

Развитая методика позволяет составить также карты с зонами различной интенсивности обледенения судов. Пример такой карты для северной части Тихого океана применительно к судам типа СРТ приведен на рис. 19. Для ее построения по карте на рис. 18 в каждом квадрате определялись значения  $\bar{P}$ ,  $\alpha^*$  и  $\beta$  и далее, с помощью формул (13), (14), рассчитывались вероятности слабого обледенения ( $\dot{P} < 1,5$  т/ч), умеренного ( $1,5 \text{ т/ч} \leq \dot{P} \leq 4,0 \text{ т/ч}$ ) и сильного ( $\dot{P} > 4$  т/ч). Полученные данные картировались, проводились изолинии вероятности и выделялись зоны различной интенсивности обледенения. При этом вероятность обледенения в каждой зоне составляет 5% и более.

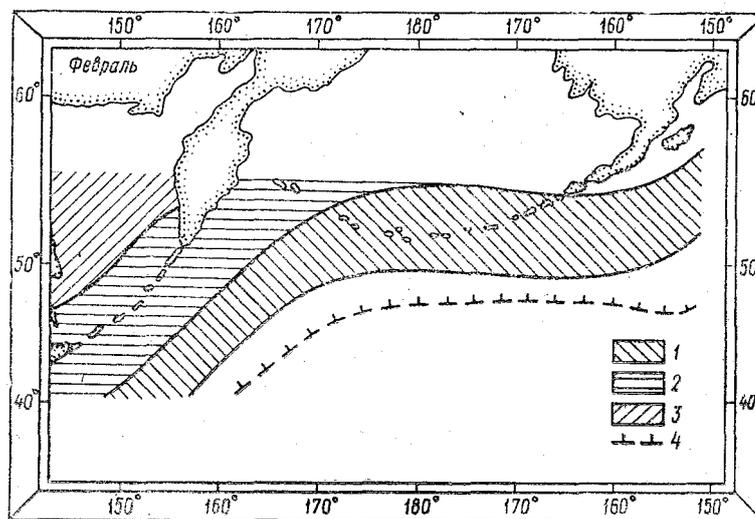


Рис. 19. Карта обледенения судов типа СРТ в северной части Тихого океана:

1—зона слабого обледенения; 2—зона умеренного обледенения; 3—зона сильного обледенения; 4—граница возможного обледенения в особо суровые зимы

Следует отметить, что карты на рис. 18 и 19 можно объединить, то есть изолинии  $\bar{P}$ ,  $\alpha^*$  и  $\beta$  с карты вероятности обледенения судов можно перенести на карту с зонами различной интенсивности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Своевременное и надежное прогнозирование обледенения судов позволяет принимать необходимые меры для уменьшения ущерба от обледенения и рационально использовать промысловый флот.

В настоящей работе использованы результаты исследований интенсивности обледенения в различных гидрометеорологических условиях. Разработанная на их основе методика прогнозирования обледенения охватывает практически весь диапазон промысловых судов, для которых обледенение представляет серьезную опасность.

Рекомендуемые методы прогноза и построения климатических карт вероятности обледенения судов проверены на практике. По мере накопления фактической информации с количественными характеристиками обледенения предлагаемые методы будут совершенствоваться.

Задачами будущих работ по совершенствованию методики расчета и прогноза обледенения судов должны явиться:

- 1) улучшение качества и увеличение заблаговременности прогнозов температуры воздуха и воды, скорости ветра и волнения над морскими акваториями как синоптическими, так и численными методами;
- 2) разработка и внедрение в оперативную работу численных методов прогноза обледенения;
- 3) совершенствование системы гидрометеорологического обеспечения судов промыслового и морского флота с использованием информации метеорологических спутников;
- 4) использование рекомендуемого метода расчета обледенения судов при создании режимных и справочных пособий по всем промысловым акваториям.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Краткая методика расчета волнения на морях

В Гидрометцентре СССР для расчета скорости ветра и высоты волн используется номограмма [33], позволяющая определить высоту волны по градиенту давления и разгону волны (или продолжительности действия ветра).

Расчет по номограмме (рис. 20) ведется в следующем порядке:

1. В намеченной точке определяется радиус кривизны  $R$  (для циклона) как расстояние от точки прогноза до центра циклона. Он выражается в градусах меридиана.
2. Определяют расстояние между изобарами  $n$ , проведенными через 5 гПа между которыми находится прогнозируемая точка.

3. Полученное расстояние откладывается от оси ординат на горизонтальную линию номограммы квадранта I, соответствующую широте точки.

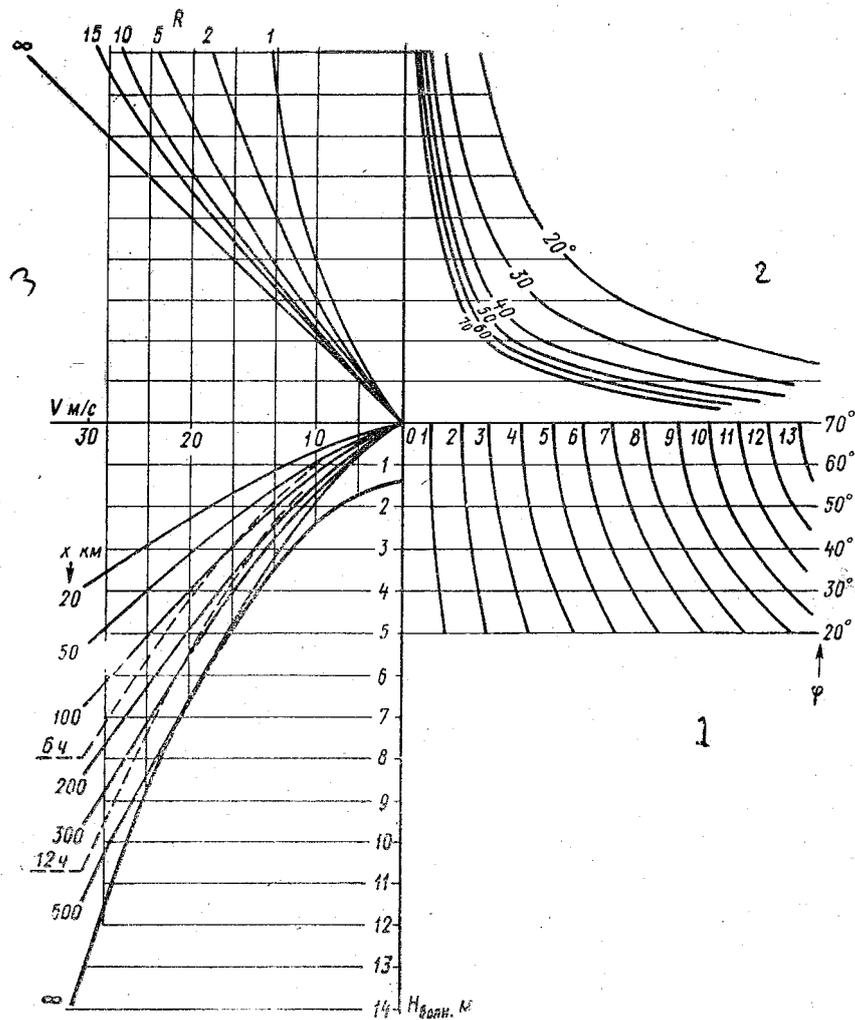


Рис. 20. Номограмма для расчета высоты волн

4. Затем переходят в верхнюю правую часть номограммы (квадрант II) до пересечения с кривой, соответствующей широте точки. Затем из полученной точки параллельно оси абсцисс перемещают измеритель в левую часть номограммы (квадрант III) до пересечения с кривой, соответствующей полученному радиусу кривизны  $R$ .

5. Из этой точки опускаются вниз до оси абсцисс, на которой определяют значение скорости ветра. Продолжая движение в квадрант IV до пересечения с кривой, соответствующей разгону волны  $x$  или продолжительности действия ветра (6 или 12 ч), от точки пересечения перемещаются вправо до оси ординат, где снимают искомую высоту волны.

Расчеты с помощью предлагаемой номограммы можно производить лишь для районов «глубокого моря», то есть когда глубина его превышает половину длины волны. Выполнив расчеты в нескольких характерных точках, можно построить поле волнения на исследуемом участке данного моря.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Л., Гидрометеоздат, 1971, вып. 9, ч. 3. 150 с.
2. Временные указания по предупреждению о возможном обледенении судов. М., Изд. Гидрометцентра СССР, 1969. 20 с.
3. Методические указания по предупреждению угрозы обледенения судов. Под редакцией д-ра физ.-мат. наук Е. П. Борисенкова, д-ра геогр. наук И. Г. Пчелко. Л., изд. ААНИИ, 1972. 81 с.
4. Методические указания по прогнозу обледенения судов (проект). Под редакцией д-ра физ.-мат. наук Л. Г. Качурина. М., Изд. Гидрометцентра СССР, 1975. 43 с.
5. Буянов Н. Ф. Обледенение судов и борьба с ним. — В сб.: Транспортные возможности Тихого океана и их реализация. Владивосток, ДВНЦ АН СССР, 1976, с. 46—67.
6. Сводка национальных норм и практика учета обледенения. ИМКО PFV 4/5, 1966, с. 1—7.
7. Бюллетень ВМО, 1972, т. XXI, № 2. 87 с.
8. Гидрометеорологические условия обледенения судов (сб. статей). Л., изд. ААНИИ, 1969. 189 с.
9. Теоретические и экспериментальные исследования условий обледенения судов (сб. статей). Л., Гидрометеоздат, 1971. 204 с.
10. Исследование физической природы обледенения судов. — «Тр. ААНИИ», 1972, т. 298. 178 с.
11. Панов В. В. Обледенение судов. — «Тр. ААНИИ», 1976, т. 334, 263 с.
12. Култашев Е. Н., Панов В. В. Возможность определения продолжительности пребывания промысловых судов в районе обледенения. — «Проблемы Арктики и Антарктики», 1971, вып. 38, с. 94—99.
13. Тюрин А. П. Некоторые аспекты исследования обледенения рыбопромысловых судов. Обнинск, ГМЦ СССР, 1968. 72 с.
14. Регистр СССР. Правила классификации и постройка морских судов. Часть IV. Нормы остойчивости. Л., «Транспорт», 1967. 140 с.
15. Качурин Л. Г., Гашин Л. И. Расчет обледенения объектов в потоке переохлажденного аэрозоля применительно к задаче об обледенении судов. — В сб.: Гидрометеорологические условия обледенения судов. Л., изд. ААНИИ, 1969, с. 21—32.
16. Качурин Л. Г., Гашин Л. И., Смирнов И. А. Численная оценка скорости обледенения судов. — «Технология судостроения», 1971, № 6, с. 113—116.
17. Качурин Л. Г., Гашин Л. И., Смирнов И. А. Интенсивность обледенения малотоннажных рыбопромысловых судов в различных гидрометеорологических условиях. — «Метеорология и гидрология», 1974, № 3, с. 50—60.
18. Кутателадзе С. С., Боришанский В. М. Справочник по теплопередаче. М.—Л., Госэнергоиздат, 1959. 414 с.

19. Васильева Г. В. Гидрометеорологические условия обледенения судов. — «Тр. ГМЦ СССР», 1971, вып. 87, с. 82—92.
20. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Л., Гидрометеоздат, 1965, ч. II, 492 с.
21. Руководство по применению аэрометодов в океанографии. Л., Гидрометеоздат, 1971, ч. II, 107 с.
22. Руководство по расчету параметров ветровых волн. Л., Гидрометеоздат, 1969, 138 с.
23. Борисенков Е. П. и др. О возможности подхода к решению задачи численного прогноза гидрометеорологических условий обледенения судов. — В сб.: Теоретические и экспериментальные исследования условий обледенения судов. Л., Гидрометеоздат, 1971, с. 159—165.
24. Виноградов Б. В. Космические методы изучения природной среды. М., «Мысль», 1976, 286 с.
25. Башаринов А. Е., Гурвич А. С., Егоров С. Т. Радиоизлучение Земли как планеты. М., «Наука», 1974, 187 с.
26. Башаринов А. Е., Кутуза Б. Г., Шутко Л. М. Радиофизические исследования атмосферы и поверхности Земли с ИСЗ. — В кн.: Космические исследования земных ресурсов. М., «Наука», 1976, с. 9—17.
27. Лошилов В. С. Применение радиолокационных станций бокового обзора для некоторых океанологических исследований. Обзорная сер. Океанология. Обнинск, ВНИИГМИ, 1977, 28 с.
28. Марцинкевич А. М., Матвеев Д. Т. О связи уходящего микроволнового излучения с состоянием поверхности моря (по данным спутника «Космос-243»). — «Метеорология и гидрология», 1971, № 8, с. 50—59.
29. Колосова Н. В., Панов В. В., Затонский М. Я. О методике составления карт вероятности обледенения судов для арктических морей. — В сб.: Теоретические и экспериментальные исследования условий обледенения судов. Л., Гидрометеоздат, 1971, с. 190—204.
30. Шехтман А. Н. Вероятность и интенсивность обледенения судов. — «Тр. НИИАК», 1968, вып. 50, с. 55—65.
31. Смирнов И. А. К методике прогноза и построения карт вероятности обледенения. — «Тр. ЛГМИ», 1975, вып. 54, с. 100—110.
32. Айзен А. М., Трид И. Г. Распределение Вейбулла и его применение. Киев, 1966.
33. Красюк В. С. О расчете полей ветра и волнения. — «Тр. Гидрометцентра СССР», 1971, вып. 83, с. 21—28.
34. Mertins H. O. Jcing of Fishing Vessels due to Spray. The Marine Observer, 1968, vol. 38, № 221, pp. 128—130.
35. Ивата Хидэти (на яп. яз.). Обледенение рыболовных судов. The Journal of the Fishing Boat association of Japan. Nr. 113, 115, 1961.
36. Tabata T., Iwata S. Studies on the ice accumulation on ships. J. Low Temperature Science, Ser. A., 21, 1963, pp. 173—221.
37. Hollinger J. P. IEEE Trans. Geosci. Electron., GE-9, Nr. 165, 1971.
38. Van Melle M., Wang H. J. Geophys. Res., 78, Nr. 6, 1973.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	5
<b>Глава I. Общая характеристика обледенения судов . . . . .</b>	<b>8</b>
1.1. Виды обледенения . . . . .	8
1.2. Статистика обледенения . . . . .	9
1.3. Интенсивность обледенения судов и степень его опасности . . . . .	11
<b>Глава II. Методика расчета брызгового обледенения судов . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>Глава III. Прогноз обледенения судов . . . . .</b>	<b>24</b>
3.1. Синоптические условия обледенения судов . . . . .	24
3.2. Расчет полей обледенения различной интенсивности . . . . .	28
3.3. Основные выводы и рекомендации по прогнозу обледенения . . . . .	30
3.4. Предупреждения об угрозе обледенения судов . . . . .	31
3.5. Численный прогноз обледенения судов . . . . .	32
3.6. Использование искусственных спутников Земли (ИСЗ) для оперативной информации об обледенении морских судов . . . . .	33
<b>Глава IV. Методика построения карт многолетних характеристик обледенения судов . . . . .</b>	<b>45</b>
Заключение . . . . .	51
Приложение . . . . .	51
Литература . . . . .	53

*Л. Г. КАЧУРИН, И. А. СМИРНОВ, Л. И. ГАШИН*

**Обледенение судов**

Учебное пособие

Редактор *З. Б. Ваксенбург*

Корректор *Л. В. Ломакина*

Обложка художника *Н. И. Кулагина*

---

Сдано в набор 15.05.80. Подписано в печать 16.XII—80. М-23519.  
Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага тип. № 2. Лит. гарн. Печать высокая.  
Объем 3,5 п. л., уч.-изд. л. 3,5. Тираж 800 экз. Темплан 1980 г., поз. 464.  
Зак. 301. Цена 25 коп.

ЛПИ им. М. И. Калинина, 195251, Ленинград, Политехническая, 29

---

Типография ВОК ВМФ