ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (РОСГИДРОМЕТ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»
(ФГБУ «Гидрометцентр России»)

И.О. Думанская

ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ МОРЕЙ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Москва
2014

УДК 551.465
ББК 26.221
Д 83

Научный редактор:
канд. геогр. наук *Ю.Н. Синюрин*

Рецензент:
доктор географических наук *Е.С. Нестеров*

Д 83 **Думанская И.О. Ледовые условия морей европейской части России**. – М.; Обнинск: ИГ–СОЦИН, 2014. – 608 с.

ISBN 978-5-91070-064-6

Основной целью создания научно-справочного пособия являлось выявление климатических изменений, происшедших на границе XX и XXI веков. В пособии на основании результатов, полученных в процессе обработки данных многолетнего архива ледовой информации, сделаны количественные выводы об изменениях в ледовой обстановке морей европейской части России за последние 30 лет, а также за 12-летний период XXI века, по сравнению с XX веком. Для каждого моря описаны факторы, обусловливающие состояние ледяного покрова. Выполнена типизация зим по степени суровости и построены наборы ежемесячных карт ледовой обстановки для мягкой, умеренной, суровой и самой суровой зим по каждому морю. Приводятся таблицы статистических характеристик для ледовых фаз и толщин припайного льда за полные ряды наблюдений на морских гидрометеорологических станциях, а также за последние 30 лет. Большое внимание уделено влиянию ледовых процессов на судоходство и добычу углеводородов. В рамках работы над книгой созданы таблицы и наглядные графики ледовой обстановки на основных судоходных трассах европейской части России.

Результаты исследований могут быть использованы для построения сценариев возможных климатических изменений в европейской части России и будущих научных обобщений. Книга полезна студентам вузов, специалистам, обеспечивающим зимние навигации в морях европейской части России, капитанам судов и представителям судоходных компаний, занимающимся планированием морских операций в ледовый период.

УДК 551.465
ББК 26.221

ISBN 978-5-91070-064-6
© ФГБУ «Гидрометцентр России», 2014

Памяти полярника,
замечательного гидрометеоролога,
талантливого наставника
Юрия Никифоровича Синюрина

ПРЕДИСЛОВИЕ

Льды, ежегодно образующиеся на морях европейской части России, представляют значительное препятствие для судоходства. Недооценка ледовых условий при осуществлении мореплавания в этих морях в ледовый период может иметь серьезные последствия, связанные с экономическими потерями при вынужденных простоях караванов и механическими повреждениями судов. Кроме того, учет ледовых условий крайне важен при осуществлении деятельности по добыче углеводородного сырья в районах континентального шельфа российских морей.

Современная технология гидрометеорологического обслуживания мореплавания в ледовый период основана на реализации комплексного подхода, включающего использование климатических представлений, анализа спутниковой и авиационной ледовой информации, данных станций и результатов модельных расчетов.

В настоящем издании представлены результаты исследований изменчивости характеристик ледяного покрова юго-западной части Карского моря (включая Обь-Енисейский регион), Баренцева, Белого, Балтийского, Каспийского, Азовского и Черного морей. Поскольку Баренцево, Балтийское, Каспийское, Азовское и Черное моря омывают не только берега России, в целях воспроизведения целостной пространственной картины, отражающей развитие ледовых процессов на акваториях этих морей, в настоящее исследование включены данные наблюдений, выполненных национальными гидрометслужбами Норвегии, Финляндии, Швеции, Эстонии, Латвии, Литвы, Украины, Казахстана, Азербайджана, Туркменистана. При размещении информации о ледовых условиях в районах гидрометстанций, портов и судоходных трасс этих государств в тексте имеются соответствующие уточнения.

Пособие обладает свойствами атласа, поскольку включает обширный картографический материал. Кроме того, в нем содержится большое число таблиц, содержащих количественные характеристики различных ледовых явлений, происходящих на европейских морях России.

Данные о ледовом режиме морей европейской части России в значительной мере обновлены. Для всех морей строго выдержана единая форма

представления информации. Каждый раздел, посвященный ледовому режиму одного моря, содержит восемь подразделов.

В подразделе **«Общие сведения о гидрометеорологическом режиме моря»** представлена информация о географическом положении и границах моря, о районировании моря (при этом дана детальная карта расположения основных природных объектов и населенных пунктов), о ветровом режиме, температуре воздуха, температуре воды, солености воды, течениях (дана схема поверхностных течений), уровне моря, волнении. Данные, приведенные в подразделе, получены на основе использования литературных источников.

Подраздел **«Факторы, обусловливающие состояние ледяного покрова»** включает анализ особенностей влияния метеорологических и гидрологических явлений, описанных в предыдущем подразделе, на ледовые условия моря. В подразделе приведена информация о заприпайных полыньях, образующихся в результате действия устойчивого по направлению ветра. Наличие полыней крайне важно для судоходства в ледовый период, поскольку они являются зонами наиболее легких ледовых условий и предпочтительны для плавания судов при достаточных (для данного типа судна) глубинах в районах их развития.

В подразделе «**Типизация зим по степени суровости**» в рамках подготовки пособия осуществлен расчет интервалов критериев суровости зим по суммам градусодней мороза (СГДМ). Определены критерии для мягкой, умеренной и суровой зим. К умеренным зимам отнесены такие зимы, для которых СГДМ попадает в интервал от значения, соответствующего «среднее плюс 20 % амплитуды» до значения «среднее минус 20 % амплитуды». При этом, как наименее характерные, исключены две крайние аномальные зимы – самая холодная и самая теплая. Расчет осуществлен по данным репрезентативных гидрометстанций (ГМС) за 100-летний период с 1901 по 2000 год для Белого (ГМС Архангельск), Балтийского (ГМС Санкт-Петербург), Азовского (ГМС Ростов-на-Дону), Черного (ГМС Одесса, Украина) Каспийского морей (ГМС Астрахань). В Баренцевом и Карском морях регулярные наблюдения на станциях начались позже 1901 года. Для них СГДМ посчитаны за периоды с момента начала регулярных наблюдений за температурой воздуха по 2000 год. По региону Баренцева моря это сделано для ГМС Баренцбург (по ряду с 1912 по 2000 год) и для ГМС Нарьян-Мар (по ряду с 1927 по 2000 год), по юго-западной части Карского моря – для ГМС Амдерма (с 1939 по 2000 год) и для ГМС Диксон (с 1921 по 2000 год). В каждом море определены самая теплая и самая холодная за период наблюдений зимы.

Одной из основных целей написания пособия являлось выявление климатических изменений, происшедших на границе XX и XXI веков. Для количественной оценки этих изменений ряд материалов представлен в виде сравнительных данных. Так, в подразделе «Типизация зим по степени суровости» для каждого моря выявлено количество (в процентном отношении) суровых, умеренных и мягких зим в XX и XXI вв.

Значительную часть раздела занимают карты ледовой обстановки в мягкую, умеренную и суровую зимы. Карты построены для всех месяцев ледового сезона, данные, приведенные на них, соответствуют середине месяца. При наличии исходного материала представлены также карты ледовой обстановки за отдельные месяцы для самых суровых (за весь период ледовых наблюдений) зим. Конкретные ледовые сезоны при построении типовых карт выбраны по характерным (близким к средним значениям в интервалах критериев суровости) суммам градусодней мороза. Такими оказались следующие ледовые сезоны:

– для юго-западной части Карского моря: 1994/1995 гг. (мягкая зима), 1989/1990 гг. (умеренная зима), 1978/1979 гг. (суровая зима), 1968/1969 гг. (самая суровая зима);

– для Баренцева моря: 2007/2008 гг. (мягкая зима), 2010/2011 гг. (умеренная зима), 1978/1979 гг. и 1965/1966 гг. (суровые зимы); 1968/1969 гг. (самая суровая зима);

– для Белого моря: 1974/1975 гг. (мягкая зима), 1981/1982 гг. (умеренная зима), 1968/1969 гг. (суровая зима), 1965/1966 гг. (самая суровая зима);

– для Балтийского моря: 2008/2009 гг. (мягкая зима), 1993/1994 гг. (умеренная зима), 1984/1985 гг. (суровая зима), 1941/1942 гг. (самая суровая зима);

– для Азовского моря: 1999/2000 гг. (мягкая зима), 1987/1988 гг. (умеренная зима), 1968/1969 гг. (суровая зима), 1953/1954 гг. (самая суровая зима);

– для Черного моря: 2008/2009 гг. (мягкая зима), 2009/2010 гг. (умеренная зима), 1963/1964 гг. (суровая зима), 1953/1954 гг. (самая суровая зима);

– для Северного Каспия: 1980/1981 гг. (мягкая зима), 2007/2008 гг. (умеренная зима), 1971/1972 гг. (суровая зима), 1953/1954 гг. (самая суровая зима).

Для каждого типа зимы приводятся таблицы, в которых представлена информация для всех месяцев ледового сезона о преобладающих характеристиках ледовой обстановки (толщина припайного льда, возрастные характеристики и сплоченность дрейфующего льда) на основных судоходных трассах в морях ЕТР:

– пролив Карские Ворота – Енисейский залив (юго-западная часть Карского моря);

– м. Канин Нос – пролив Карские Ворота (Баренцево море);

– Архангельск – Воронка Белого моря (Белое море);

– Кандалакша – Воронка Белого моря (Белое море);

– Санкт-Петербург – устье Финского залива (Балтийское море);

– Таганрог – Керченский пролив (Азовское море);

– Николаев – Очаков – Одесса (Черное море, Украина);

– порт Оля – порт Махачкала (Каспийское море).

В подразделе «**Ледообразование**» проанализированы особенности появления льда в море, приведены таблицы дат наступления ледовых фаз (первого и устойчивого появления льда; полного замерзания моря в районе станции,

т.е. момента, когда наблюдатель видит припайный лед до горизонта; исчезновения припая; окончательного очищения моря ото льда) по данным гидрометеорологических станций. Статистический анализ осуществлен за полный ряд наблюдений и за 30 последних лет (до 2012 г. включительно). Такой же подход, позволяющий выявить тенденции климатических изменений ледового режима моря, используется далее и в других подразделах пособия.

В подразделе «**Нарастание и распространение льда**» описан процесс увеличения от месяца к месяцу ледовитости моря, а также нарастания толщины льда. При этом особый упор сделан на период максимального развития льда. Для наглядности помещены снимки с ИСЗ TERRA (MODIS) и AQUA (MODIS).

В таблице толщины припайного льда и ледовитости моря статистический анализ выполнен как для всего периода наблюдений, так и для последних 30 лет. Обращено внимание на степень торосистости льда и характеристику режима сжатий, возникающих в дрейфующем льду.

В данном подразделе приведены карты границ распространения льда (среднего, наибольшего и наименьшего) на середину каждого месяца ледового сезона. Эти карты (так же как и карты изохрон появления льда из подраздела «Ледообразование» и карты изохрон очищения моря из раздела «Очищение моря ото льда») построены по материалам ледовых авиаразведок за период с 1950 по 1990 г., материалам дешифрирования снимков ледовой обстановки с ИСЗ за период с 1990 г. до настоящего времени, информации гидрометстанций. При этом использованы многолетние данные о ежемесячной ледовитости морей. Они позволили проверить среднее положение кромок на соответствие значениям средней ледовитости моря, а также точно зафиксировать:

– годы раннего и позднего появления льда в открытой части моря;

– годы наибольшего и наименьшего распространения льда в море.

Повторяемость наличия льда в различных районах исследуемых морей представлена двумя наборами карт. Один из них создан для второй половины XX века по данным ледовых авиаразведок (период обобщения – 1950–1990 гг.), другой – для 12 лет XXI века (2001–2012 гг.) по данным оцифровки ледовых карт, полученных путем дешифрирования снимков с ИСЗ, в формате международного обмена данными SIGRID-3.

В подразделе «**Очищение моря ото льда**» проанализированы особенности таяния и разрушения льда. Приведена карта изохрон средних сроков очищения моря ото льда и снимок с ИСЗ, наглядно показывающий состояние ледяного покрова в период очищения моря ото льда.

С целью минимизации неточностей для схем изохрон наступления ледовых фаз карт положения кромок льда и карт повторяемости наличия льда был осуществлен их сравнительный анализ, а также критический анализ на соответствие с информацией, содержащейся в литературных источниках.

Подраздел «**Влияние ледовых процессов на судоходство и добычу углеводородов**» включает схемы основных традиционных курсов плавания судов в море и расположения крупнейших месторождений углеводородов в шельфовой зоне. Кроме того, для судоходных трасс, перечисленных выше (в комментарии к подразделу «Типизация зим по степени суровости»), построены наглядные графики типичных ледовых условий в мягкую, умеренную, суровую и самую суровую зимы, а также в табличном виде представлены данные о протяженности участков трассы, занятых льдом с различными характеристиками.

Значительное внимание в подразделе уделяется не только морским транспортным перевозкам, но и тесно связанному с ними (в Карском, Баренцевом, Каспийском морях) освоению месторождений углеводородов. Для каждого моря сделан анализ нефтегазоносных регионов и оценена опасность ледяных образований для буровых платформ. Приведено подробное описание характеристик торосистых образований, выполненное на основе обобщения данных научных литературных источников. Для Карского и Баренцева морей приведена информация о повторяемости появления айсбергов.

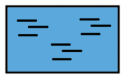
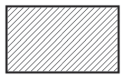
Подраздел «**Ледовые условия в портах**» содержит информацию о расположении основных портов моря и их гидротехническом оснащении. Ледовые условия в порту представлены как для полного периода ледовых наблюдений в данном районе, так и для последнего 30-летнего периода. Сделаны выводы о современных тенденциях изменения климатических показателей в районе расположения портов.

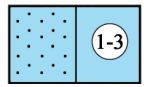
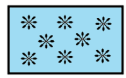
Поскольку целью настоящей работы является освещение климатических событий, происшедших на рубеже XX и XXI вв., в заключительной части настоящей работы – «**Результаты исследования изменений ледовых условий морей ЕТР на рубеже XX–XXI веков**» – содержится подробный анализ количественных изменений параметров ледового режима семи европейских морей.

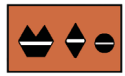
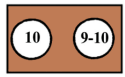
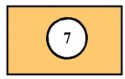
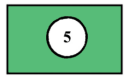
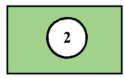
За помощь в работе по поддержанию ледового архива ФГБУ «Гидрометцентр России», данные которого легли в основу настоящего исследования, автор благодарит сотрудников ледовой лаборатории А.М. Котилевскую, А.В. Федоренко, Л.А. Романову, М.И. Агапову, Н.Е. Чуракову; за консультации и полезные советы – д.г.н. Е.С. Нестерова, Л.Н. Бакину (ФГБУ «Гидрометцентр России»); к.г.н. А.В Юлина, к.г.н. В.П. Карклина (ФГБУ «ААНИИ»); за консультации по ряду современных проблем судоходства – Ю.М. Бацких (ФГУП «Росморпорт»); за предоставление данных по отдельным морям в формате международного обмена данными SIGRID-3 – В.М. Смоляницкого (ФГБУ «ААНИИ»), за консультации по использованию снимков ИСЗ – к.г.н. В.А. Кровотынцева и И.С. Тренину (ФГБУ «НИЦ «Планета»).

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

на картах ледовой обстановки и в графиках пособия

Характеристика	Изображение	Примечание
Чистая вода		Льда нет.
Припай		Неподвижный морской лед, прикрепленный к берегу.
Толщина припайного льда		Толщина льда в см.
Трещина		Значок показывает не конкретную трещину, а лишь присутствие трещин в данном районе.
Торосистость льда		0 – ровный лед; 1 – редкие торосы на ровном льду; 2 – ровный, частично торосистый лед; 3 – лед средней торосистости; 4 – сильно торосистый лед; 5 – лед, сплошь покрытый торосами.
Стамуха		Торосистое, сидящее на мели ледяное образование.
Общая сплоченность дрейфующего льда		Отношение площади льдин в зоне к общей площади этой зоны, выраженное в десятых долях (баллах).
Возрастной состав льдов		10 – общая сплоченность; 6 – количество более старого льда; 4 – количество более молодого льда.
Формы дрейфующего льда		
Большие ледяные поля		Горизонтальные размеры 0,5–2,0 км.

Характеристика	Изображение	Примечание
Обломки ледяных полей		Горизонтальные размеры 100–500 м.
Крупнобитый лед		Горизонтальные размеры 20–100 м.
Возрастные характеристики льда		
Начальные виды льда		Ледяное сало, иглы, снежура, шуга; редкий лед.
Ниласовые льды		Толщина льда менее 10 см.
Серый лед		Толщина льда 10–15 см.
Серо-белый лед		Толщина льда 15–30 см.
Тонкий однолетний (белый) лед		Толщина льда 30–70 см.
Однолетний лед средней толщины		Толщина льда 70–120 см.
Толстый однолетний лед		Толщина льда >120 см.
Остаточный однолетний лед		Лед, который не растаял за лето и находится в новом цикле намерзания до 31 декабря.
Двухлетний лед		Лед, который не растаял за лето и находится в новом цикле намерзания с 1 января.

Характеристика	Изображение	Примечание
Старые льды (многолетний и двухлетний лед)		Толщина 200 см и более.
Лед, возраст которого неизвестен		Возраст льда не установлен, либо лед сильно разрушен в процессе весеннего таяния.
Характеристики сплоченности льда		
Сплошной и очень сплоченный лед		Сплошной лед – 10 баллов, очень сплоченный лед – 9–10 баллов.
Сплоченный лед		Лед сплоченностью 7–8 баллов.
Разреженный лед		Лед сплоченностью 4–6 баллов.
Редкий лед		Лед сплоченностью 1–3 балла.

Примечание. Условные обозначения соответствуют «Номенклатуре морских льдов» [76].

Глава 1

ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ И ОБЬ-ЕНИСЕЙСКОМ РАЙОНЕ

1.1. Общие сведения о гидрометеорологическом режиме юго-западной части Карского моря

Карское море является одним из окраинных морей Северного Ледовитого океана и омывает берега крайнего северо-востока Европы, Западной Сибири и полуострова Таймыр. На западе море ограничено островом Вайгач и островами архипелага Новая Земля и соединено с Баренцевым морем проливами Югорский Шар, Карские Ворота и Маточкин Шар. На востоке море ограничивается архипелагом Северная Земля. На северо-западе Карское море смыкается с Баренцевым морем, граница моря идет от м. Желания (архипелаг Новая Земля) на м. Кользат (архипелаг Земля Франца-Иосифа, восточный берег острова Греэм-Белл). На севере Карское море имеет широкий выход к Арктическому бассейну Северного Ледовитого океана, граница моря проходит от м. Кользат на м. Арктический (архипелаг Северная Земля).

Карское море является одним из самых больших по площади морей в нашей стране. Его площадь 883 тыс. км^2, средняя глубина моря составляет 111 м. В западной части моря вдоль острова Вайгач и островов Новой Земли располагается Новоземельская впадина, глубины в которой составляют 200–400 м. В северо-восточной части моря наибольшие глубины наблюдаются в желобе Святой Анны (до 600 м).

Карское море принято разделять на юго-западную (площадь 335 тыс. км^2) и северо-восточную части (площадь 548 тыс. км^2). Граница между ними проходит по линии о. Диксон – м. Желания (рис. 1.1).

К европейской части России относится лишь часть побережья юго-западной части Карского моря до меридиана 67°20' в.д. (граница между Европой и Азией проходит в районе Байдарацкой губы). К Европе относится также архипелаг Новая Земля. Восточные берега Новой Земли изрезаны многочисленными фьордами. Особенно расчленено материковое побережье юго-западной части Карского моря, где глубоко вдаются в сушу Байдарацкая, Обская, Гыданская губы, а также Енисейский залив. Из многочисленных рек, впадающих в западную часть Карского моря, навигационное значение имеют реки Обь и Енисей [44, 72, 77].



Рис. 1.1. Районирование Карского моря.

Оправдывая включение описания ледового режима юго-западной части Карского моря в настоящее издание, следует заметить, что почти вся хозяйственная деятельность этого региона осуществляется в интересах развития европейской экономики. Главное направление этой деятельности – морские транспортные перевозки. Они включают в себя круглогодичный обмен грузами между пунктами на побережье моря и пунктами европейской части России. Освоение огромных запасов газа на Ямале и транспортировка их в Европу, поставка в районы месторождений оборудования, материалов для нефтегазовых промыслов осуществляется морским путем. Металлопродукция ГМК «Норильский никель» из Дудинки транспортируется в российскую и зарубежную Европу.

Многие годы порт Диксон оставался единственным портом Карского моря. В последние годы широко обсуждаются масштабные российские

проекты по обустройству Северного морского пути. Началом реализации этих проектов стало строительство глубоководного порта Сабетта на п-ове Ямал. Основное назначение порта – перевалка углеводородов, добываемых в районе Южно-Тамбейского месторождения (см. рис. 1.60). В районе пос. Сабетта предполагается строительство завода по производству и хранению сжиженного природного газа, а также мощной портовой инфраструктуры, обеспечивающей базирование танкерного флота ледового класса.

Расположенное в высоких широтах Арктики и непосредственно связанное с Северным Ледовитым океаном Карское море характеризуется полярным климатом. Относительная близость Атлантического океана несколько смягчает климат моря, но острова Новой Земли служат своеобразным барьером на пути теплых атлантических воздушных и водных масс, поэтому Карское море климатически значительно более сурово, чем Баренцево.

Ветровой режим. Расположение и интенсивность основных центров действия атмосферы во многом определяют особенности погоды в течение года. С ноября по март над северо-восточной частью азиатского материка традиционно располагается устойчивая область повышенного давления (сибирский антициклон), а над южной частью Карского моря – ложбина пониженного давления (восточная ложбина исландского минимума). С этой ложбиной связаны основные траектории циклонов, проходящих над акваторией Карского моря. Прохождение циклонов обычно сопровождается резким изменением погоды – повышением температуры воздуха, увеличением облачности, усилением ветра.

Зимнее расположение барических центров определяет преобладание над юго-западной частью Карского моря в этот период юго-восточных, южных и юго-западных ветров. Отмечаются наибольшие в году среднемесячные скорости ветра (7–8 м/с).

Весной (апрель-май) происходит перестройка барического поля. Влияние восточной ложбины исландского минимума в апреле ослабевает, а в мае она исчезает совсем. Повторяемость циклонов уменьшается. Сибирский антициклон разрушается, и его место занимает неглубокая, но обширная депрессия. В связи с этим весенние ветры неустойчивы по направлению, их средние месячные скорости не превышают 6 м/с.

Летом (июнь–август) над континентом устанавливается область пониженного атмосферного давления, а над Карским морем отмечается небольшое повышение атмосферного давления. Над Карским морем преобладающими являются ветры северной четверти. Средняя месячная скорость ветров в этот период года составляет 4–6 м/с.

Осенью (в сентябре-октябре) осуществляется переход к зимнему типу положения барических полей. В это время формируется исландская ложбина, простирающаяся в сторону Карского моря, и увеличивается количество циклонов, проходящих через южную часть Карского моря.

Наиболее сильными, как правило, являются ветры западных румбов. В юго-западной части моря в осенне-зимний период наибольшую повторяемость (до 40 %) имеют умеренные ветры (6–8 м/с), а в летний период

(до 50 %) – слабые (2–5 м/с). Число дней с сильными ветрами (≥15 м/с) в юго-западной части моря составляет в среднем 70–80 за год. Чаще всего штормы бывают осенью и зимой. Зимой штормы наблюдаются в большинстве случаев при западных, юго-западных и южных ветрах. Летом штормы наблюдаются в основном при северных и северо-восточных ветрах [27].

Температура воздуха. Годовая амплитуда в ходе среднемесячных температур для юго-западной части моря составляет 25...30 °С, для Обь-Енисейского района этот параметр равен 25...35 °С. Зимой часто отмечаются резкие перепады температуры воздуха. В один из зимних месяцев почти ежегодно наблюдается повышение температуры воздуха по сравнению с соседними месяцами, связанное с усилением адвекции тепла из Северной Атлантики.

Средние месячные температуры января-февраля в юго-западной части моря составляют –25...–20 °С, в Обь-Енисейском регионе эти величины колеблются в пределах –28...–24 °С. Самая низкая температура в юго-западной части моря составляет –52...–50 °С, в Обь-Енисейском регионе она равна –56...–52 °С. В апреле наблюдается активное повышение температуры воздуха. В мае среднемесячная температура воздуха на юго-западе моря составляет –7...–5 °С, в июне она равна 0...3 °С. В июле – первой половине августа средняя многолетняя температура воздуха в юго-западной части моря составляет 5...7 °С, в Обь-Енисейском районе она равна 7...12 °С. Уже с середины августа над Карским морем отмечается понижение температуры воздуха. В сентябре в юго-западной части моря еще сохраняются положительные среднемесячные температуры воздуха (2...4 °С). В октябре происходит резкое похолодание, и среднемесячная температура воздуха понижается до –5...–2 °С [27].

Начало процесса ледообразования тесно связано с переходом температуры воздуха через 0 °С в осенний период. Такой переход отмечается на юго-западе моря в конце сентября – начале октября. Для осенних дат перехода характерна большая изменчивость времени их наступления: самые ранние и поздние даты различаются на 40–60 дней.

Температура воды. Поверхностная температура воды понижается с юго-запада на северо-восток. В осенне-зимний период поверхность моря активно выхолаживается, и на открытых пространствах поверхностная температура воды быстро понижается до температуры замерзания при данной солености.

В течение зимнего периода в подледном слое температура воды в открытых частях моря составляет –1,8...–1,5 °С, вблизи устьев Обской губы и Енисейского залива она равна –1,4...–1,0 °С. В северных частях Обской губы и Енисейского залива температура воды составляет –1,0...–0,5 °С, в южных частях Обской губы и Енисейского залива она равна 0 °С.

В теплое время года солнечное тепло расходуется, прежде всего, на таяние льда, температура воды на поверхности мало отличается от зимней. Лишь на крайнем юго-западе моря, который раньше других районов освобождается ото льда и в наибольшей степени испытывает влияние вод материкового стока, температура поверхности моря постепенно повышается. Летом, в самые

теплые месяцы (июль-август), в этих районах температура воды у поверхности равна в среднем 4...6 °С.

Соленость воды. В летнее время верхний слой воды на юго-западе Карского моря сильно распреснен речным стоком и таянием льдов. Летом соленость поверхностного слоя составляет вблизи устьев Обской губы и Енисейского залива 6–12 ‰, на широте 75° с.ш. к северу от Обской губы и Енисейского залива – 14–18 ‰, далее при движении на север до широты м. Желания соленость увеличивается до 28–30 ‰. В Байдарацкой губе (южнее м. Марре-Сале) соленость составляет 24–26 ‰ (в придонном слое Байдарацкой губы – 30–34 ‰). На восточных подходах к проливу Карские Ворота соленость воды в поверхностном слое – 26–30 ‰. В зимний период соленость воды поверхностного слоя значительно выше. Вблизи устьев Обской губы и Енисейского залива она равна 20–24 ‰, на широте 75° с.ш. к северу от Обской губы и Енисейского залива – 26–28 ‰, далее при движении на север до широты м. Желания соленость увеличивается до 33–34 ‰. В Байдарацкой губе и на восточных подходах к проливу Карские Ворота соленость составляет 32–34 ‰.

Течения. Движение поверхностных и глубинных вод Карского моря создает относительно устойчивую систему течений. Рис. 1.2 показывает, что для юго-западной части Карского моря характерен циклонический круговорот воды.

В летний период относительно холодное Новоземельское течение может приносить льды из северо-восточной части Карского моря. Более теплое Ямальское течение способствует таянию льда и разреживанию ледяного покрова, осуществляя вынос льда к северу. Это обстоятельство способствует сохранению льдов в западной части акватории на крайнем юго-западе Карского моря и ускорению очищения в восточной части акватории вдоль ямальского побережья. Подтверждением данного факта могут служить рис. 1.36 и 1.37, демонстрирующие положение льда в августе.

Зимний и летний периоды характеризуются существенным различием в пространственном распределении скоростей течений. Это связано с изменением интенсивности атмосферного воздействия в зависимости от сезона. В зимний и весенний периоды (до апреля включительно) выделяются следующие зоны со значительными скоростями течений: пролив Карские Ворота – около 100 см/с, район северо-западнее м. Харасавей – до 150 см/с, открытые районы юго-западной части Карского моря – от 20 до 90 см/с. Скорости поверхностных ветровых течений летом существенно меньше и во всех районах не превышают 50 см/с, а в открытых районах моря составляют 10–40 см/с [78].

Уровень моря. В Карском море достаточно хорошо выражены полусуточные приливы. Приливная волна входит сюда из северной части Баренцева моря и распространяется к югу вдоль восточного побережья Новой Земли. При подходе к берегам приливная волна отражается, интерферирует и изменяет свою величину, что усложняет картину приливов. Зимой существенное влияние на приливные волны оказывает ледяной покров: величина прилива уменьшается, а распространение приливной волны запаздывает по сравнению с распространением такой же волны летом. Приливные изменения уровня сравнительно

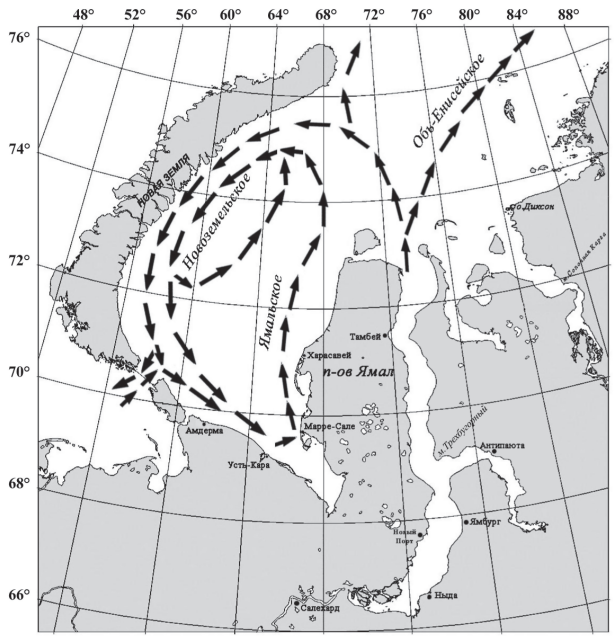


Рис. 1.2. Течения в Карском море.

невелики. По всем пунктам побережья они равны в среднем 0,5–0,8 м, в Обской губе превышают 1 м. Нередко их затушевывают сгонно-нагонные колебания уровня, которые на материковом берегу моря больше 1 м, а в глубине заливов и губ в месяцы, когда лед отсутствует, достигают 2 м [27, 77].

Средний многолетний диапазон среднемесячных колебаний уровня в большинстве районов юго-западной части Карского моря составляет 0,6–0,7 м и только в районе о. Диксон его величина достигает 0,96 м. В юго-западной части Карского моря минимальный среднемноголетний уровень отмечается в апреле, а максимальный – в сентябре–декабре.

Сезонность изменений уровня моря прослеживается не только при анализе среднемесячных величин, но и в ходе экстремальных величин уровня. При этом характерной особенностью режима экстремальных колебаний уровня Карского моря является превышение величин абсолютных максимумов над величинами абсолютных минимумов. Абсолютное превышение уровня моря над его средней многолетней величиной составило в районе Амдермы 145 см, Усть-Кары – 162 см, м. Харасавей – 152 см, о. Диксон – 143 см, м. Сопочная Карга – 262 см. Абсолютное понижение уровня моря относительно его средней многолетней величины составило в районе Амдермы – 115 см, Усть-Кары – 130 см, м. Харасавей – 149 см, о. Диксон – 118 см, м. Сопочная Карга – 174 см.

Во временном ходе среднегодового уровня в большинстве пунктов Карского моря отмечается тенденция к повышению среднего уровня моря. Так,

за 50 лет (с 1950 по 2000 г.) среднегодовой уровень моря в районе Амдермы повысился в среднем на 12 см [27, 78].

Волнение. Один из основных факторов, определяющих развитие ветрового волнения, – разгон ветра. Этот фактор зависит от степени покрытия Карского моря льдом. Величина разгона колеблется от 100–150 км в начале июля до 700–800 км – в сентябре. Средние высоты волн в летний сезон – от 1,5 до 3 м. В июле-августе повторяемость волнения 3 м и более составляет 8–10 %, осенью (сентябрь-октябрь) – 12–15 %. В открытой части моря максимальные высоты волн могут достигать 8 м.

1.2. Факторы, обусловливающие состояние ледяного покрова юго-западной части Карского моря

Суровый климат Карского моря обусловливает его полное покрытие льдом в зимний период. Характер развития процесса ледообразования определяется величиной теплосодержания, накопленного морем за безледный период, условиями теплообмена моря с атмосферой в период его охлаждения, процессами конвективного перемешивания и адвекцией вод с соседней акватории Баренцева моря и рек. Высокоширотное положение моря и его сильная растянутость в широтном направлении определяют продолжительность полярной ночи, которая возрастает от нескольких дней на крайнем юго-западе до 70–90 дней в северной и центральной частях моря. Максимальная солнечная радиация характерна для мая-июня. В эти месяцы поверхность моря покрыта льдом, имеющим высокую отражательную способность, что замедляет таяние льда.

Юго-западная часть Карского моря бывает покрыта льдом в течение 8–9 месяцев. Для сравнения: северо-восточная часть очищается ото льда полностью крайне редко и на очень короткий период. К концу зимнего периода толщина припайных и дрейфующих льдов в северо-восточной части Карского моря примерно в полтора раза больше, чем в западной (диапазоны средних толщин составляют, соответственно, 180–200 и 120–140 см). Ряд исследователей отмечают отсутствие количественной связи между ледовыми параметрами (толщина льда, ледовитость и т.д.) юго-западной и северо-восточной частей моря [66]. В случае формирования ледовых аномалий они, как правило, наблюдаются только в одной из двух частей Карского моря. Такая существенная разница в ледовом режиме двух частей моря объясняется влиянием на его юго-западную часть теплых атлантических воздушных масс, приносимых циклонами, и поступлением теплых баренцевоморских вод через проливы Карские Ворота и Югорский Шар. Кроме того, протяженность частей Карского моря очень велика, расстояние между их центрами составляет около 800 км, что сопоставимо с характерным диаметром атмосферных вихрей в Арктике. Располагающийся над Карским морем циклон (или антициклон) вызывает противоположно направленные воздушные переносы над юго-западной и северо-восточной частями моря.

Температура воздуха над Карским морем в летний период в обратной зависимости связана с ледовитостью моря в предстоящий ледовый период. Кроме того, на будущую ледовитость влияет мощность льдов, образовавшихся в предыдущую зиму. Чем дольше сохраняются льды на акватории моря в летний сезон, тем раньше следует ждать начала ледообразования, поскольку температура воды в районах нахождения остаточных льдов близка к температуре замерзания, а сами льдины выступают в роли ядер кристаллизации.

В среднем Карское море полностью покрывается льдом в течение 2,2 месяца. При этом волна ледообразования в северо-восточной части моря движется значительно быстрее, чем в юго-западной части. Аналогичная разница прослеживается и для скоростей нарастания припайного льда в этих двух районах. Причиной является более интенсивный летний прогрев юго-западной части моря, а также адвекция тепла, поступающего с баренцевоморскими водами через проливы Карские Ворота и Югорский Шар.

Ветер является причиной образования заприпайных полыней – устойчивых пространств чистой воды среди дрейфующих льдов, ограниченных с одной стороны припаем. Полыньи на юго-западе Карского моря могут покрываться в ноябре (когда основным возрастным видом льда является серо-белый лед) серым льдом, ниласом и начальными видами льда (т.е. льдом толщиной до 15 см), в остальные месяцы – серо-белым и серым льдом, ниласом, начальными видами льда (т.е. льдом толщиной до 30 см). В осенний и зимний периоды полыньи являются очагами образования молодых льдов. В весенний период в них аккумулируется тепло. В это время именно полыньи являются катализаторами разрушения льда в море. В настоящее время специалистами ААНИИ получены характеристики всех основных арктических полыней [60, 61, 72].

В табл. 1.1 приведена повторяемость и средняя ширина заприпайных полыней в ноябре–июне на юго-западе Карского моря. Характер заприпайной полыньи определяет устойчивость ветра. Полынья, средняя сезонная повторяемость которой составляет 75 % и более, называется стационарной, 50–74 % – устойчивой, менее 50 % – эпизодической. Поскольку преобладающими в зимний сезон являются ветры южной четверти, то наибольшую повторяемость имеют Амдерминская и Обь-Енисейская полыньи. При этом только Обь-Енисейская полынья является стационарной, остальные полыньи, параметры которых приведены в табл. 1.1, – устойчивые. Повторяемость существования полыней имеет сезонный ход. Так, в январе повторяемость Ямальской полыни составляет 70 %, в феврале–апреле она уменьшается до 45–55 %, а к маю-июню увеличивается до 60–65 %.

Очищение юго-западной части моря часто начинается от западного побережья полуострова Ямал и распространяется в западном направлении. В данном случае именно через Ямальскую полынью осуществляется поступление солнечной радиации.

В целом для арктического бассейна, по данным зарубежных исследователей [99, 101–103], в январе–мае площадь чистой воды и начальных видов льда

Таблица 1.1

Среднемесячная повторяемость P (%) и ширина L (км) заприпайных полыней в юго-западной части Карского моря за период 1980–2009 гг.

Район моря	Название полыньи	Параметр	Месяц								Средняя
			XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	
Восточное побережье Новой Земли (севернее пролива Маточкин Шар)	Северная Новоземельская	P	53	58	64	62	59	64	65	75	62
		L	34	32	26	29	34	24	25	30	29
Восточное побережье Новой Земли (южнее пролива Маточкин Шар)	Южная Новоземельская	P	25	62	51	68	58	62	65	50	55
		L	53	46	47	37	48	36	33	41	43
Амдерминское побережье	Амдерминская	P	–	91	80	78	76	64	54	52	71
		L	–	45	34	36	30	25	27	34	33
Полуостров Ямал (западное побережье)	Ямальская	P	–	56	70	46	54	52	62	66	63
		L	–	33	28	23	21	23	25	38	28
Обь-Енисейский район (к северу от припая)	Обь-Енисейская	P	81	90	92	79	81	68	75	96	83
		L	51	42	37	38	36	46	39	44	42

составляет 2–5 %, а чистой воды и молодого льда (толщиной до 30 см) – до 12 %. По данным В.Е. Бородачева, Ю.А. Горбунова, В.И. Шильникова, количество молодого льда в апреле в юго-западной части Карского моря составляет в среднем 11 % [15].

Припайный лед в зимний период может быть частично взломан в результате действия ветра и приливов. Трещины образуются в припае постоянно. Это динамические (приливные трещины, а также трещины, образующиеся в результате ветровых сжатий) и термические трещины. Трещины постоянно изменяют свою ширину, иногда закрываются, а на их месте формируются гряды торосов. Частота трещин в припае увеличивается от зимы к весне, достигая максимума за месяц до взлома припая в данном районе.

1.3. Типизация зим по степени суровости в юго-западной части Карского моря

Для юго-западной части Карского моря (восток района) по 79-летнему периоду наблюдений в XX веке на ГМС Диксон (с зимнего сезона 1921/1922 гг. по сезон 1999/2000 гг.) рассчитаны интервалы критериев суровости зим по СГДМ в °С):

– мягкая зима <4060;
– умеренная зима 4060–4890;
– суровая зима >4890.

Средняя за весь период наблюдений сумма градусодней мороза составила 4430 °С, максимальная – 5803 °С (1968/1969 гг.), минимальная – 2952 °С (2011/2012 гг.).

В табл. 1.2 представлены результаты типизации зим по суровости на о. Диксон за 91-летний период.

За 79-летний непрерывный период наблюдений за температурой воздуха на Диксоне в XX веке (с зимнего сезона 1921/1922 гг. по сезон 1999/2000 гг.) были выявлены 11 мягких и 15 суровых зим (14 и 19 % соответственно). За последний 30-летний период (с зимнего сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг.) наблюдалось 7 мягких зим и 3 суровые зимы (23 и 10 % соответственно). За 12 лет XXI века – 5 мягких зим и 1 суровая зима (42 и 8 % соответственно).

Для юго-западной части Карского моря (запад района) по 61-летнему периоду наблюдений в XX веке на ГМС Амдерма (с зимнего сезона 1939/1940 гг. по сезон 1999/2000 гг.) рассчитаны интервалы критериев суровости зим по суммам градусодней мороза (в °С):

– мягкая зима <2545;
– умеренная зима 2545–3390;
– суровая зима >3390.

Средняя за весь период наблюдений сумма градусодней мороза составила 2925 °С, максимальная – 4109 °С (1968/1969 гг.), минимальная – 1861 °С (2011/2012 гг.).

Таблица 1.2

Типизация зим на о. Диксон (М – мягкая зима, У – умеренная зима, С – суровая зима)

Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы
1921/22	У	1944/45	М	1967/68	М	1990/91	С
1922/23	У	1945/46	У	1968/69	С	1991/92	У
1923/24	У	1946/47	У	1969/70	У	1992/93	У
1924/25	У	1947/48	У	1970/71	С	1993/94	У
1925/26	У	1948/49	М	1971/72	У	1994/95	М
1926/27	У	1949/50	У	1972/73	У	1995/96	У
1927/28	У	1950/51	У	1973/74	С	1996/97	У
1928/29	У	1951/52	У	1974/75	У	1997/98	У
1929/30	У	1952/53	У	1975/76	У	1998/99	С
1930/31	У	1953/54	М	1976/77	У	1999/00	М
1931/32	М	1954/55	У	1977/78	С	2000/01	С
1932/33	У	1955/56	У	1978/79	С	2001/02	У
1933/34	У	1956/57	У	1979/80	У	2002/03	У
1934/35	У	1957/58	С	1980/81	У	2003/04	У
1935/36	У	1958/59	С	1981/82	У	2004/05	У
1936/37	М	1959/60	С	1982/83	У	2005/06	У
1937/38	М	1960/61	У	1983/84	У	2006/07	М
1938/39	У	1961/62	У	1984/85	У	2007/08	М
1939/40	У	1962/63	С	1985/86	У	2008/09	М
1940/41	С	1963/64	С	1986/87	У	2009/10	У
1941/42	У	1964/65	С	1987/88	У	2010/11	М
1942/43	М	1965/66	С	1988/89	У	2011/12	М
1943/44	М	1966/67	У	1989/90	У		

В табл. 1.3 представлены результаты типизации зим по суровости в Амдерме за 73-летний период.

За 61-летний период наблюдений за температурой воздуха на юго-западе Карского моря в XX веке (с зимнего сезона 1939/1940 гг. по сезон 1999/2000 гг.) было выявлено 10 мягких и 10 суровых зим (16 и 16 % соответственно). За последний 30-летний период (с зимнего сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг.) наблюдалось 10 мягких зим и 3 суровые зимы (33 и 10 % соответственно). За 12 лет XXI века выявлено 6 мягких зим, при этом не было ни одной суровой зимы (50 и 0 % соответственно).

Анализ информации о температуре воздуха по данным ГМС Диксон и Амдерма позволил выбрать в качестве типовых следующие ледовые сезоны: для мягкой зимы – 1994/1995 гг., для умеренной зимы – 1989/1990 гг., для суровой зимы – 1978/1979 гг. И для западного, и для восточного районов юго-западной части Карского моря самым суровым оказался ледовый сезон 1968/1969 гг., а самым мягким – сезон 2011/2012 гг.

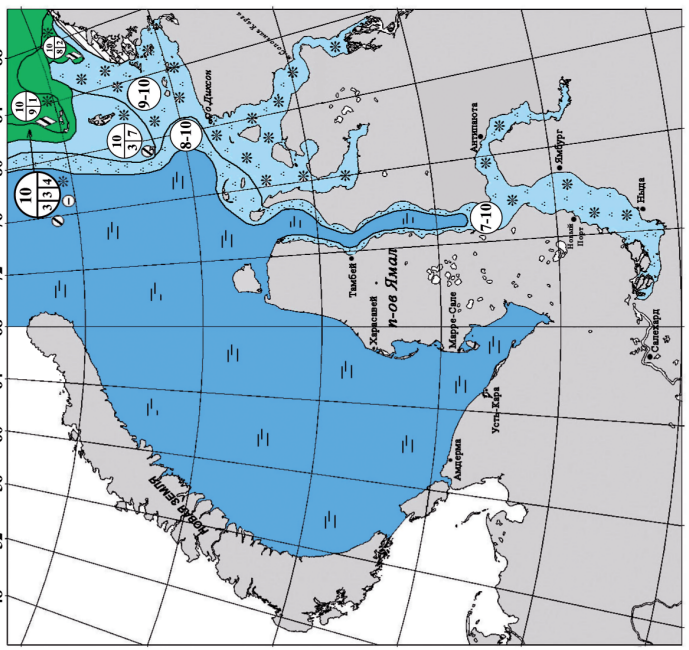
Таблица 1.3

Типизация зим в Амдерме (М – мягкая зима, У – умеренная зима, С – суровая зима)

Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы
1939/40	У	1958/59	У	1977/78	У	1996/97	У
1940/41	С	1959/60	У	1978/79	С	1997/98	С
1941/42	У	1960/61	У	1979/80	У	1998/99	С
1942/43	М	1961/62	У	1980/81	У	1999/00	М
1943/44	М	1962/63	С	1981/82	У	2000/01	У
1944/45	М	1963/64	С	1982/83	У	2001/02	У
1945/46	У	1964/65	У	1983/84	М	2002/03	У
1946/47	У	1965/66	С	1984/85	С	2003/04	У
1947/48	У	1966/67	У	1985/86	У	2004/05	У
1948/49	У	1967/68	М	1986/87	У	2005/06	М
1949/50	У	1968/69	С	1987/88	У	2006/07	М
1950/51	У	1969/70	У	1988/89	У	2007/08	М
1951/52	У	1970/71	У	1989/90	У	2008/09	М
1952/53	У	1971/72	У	1990/91	У	2009/10	У
1953/54	М	1972/73	У	1991/92	У	2010/11	М
1954/55	М	1973/74	У	1992/93	У	2011/12	М
1955/56	У	1974/75	У	1993/94	У		
1956/57	У	1975/76	У	1994/95	М		
1957/58	С	1976/77	У	1995/96	М		

Однако необходимо отметить, что не только юго-западная и северо-восточная части Карского моря сильно отличаются по температурным и ледовым условиям, но и западный, и восточный районы юго-западной части Карского моря имеют существенные отличия и не могут рассматриваться как однородные. Это доказывает сопоставление табл. 1.2 и 1.3. За весь период наблюдений на ГМС Амдерма только 8 суровых зим из 10 наблюденных (80 %) и 12 мягких зим из 16 наблюденных (75 %) совпали с соответствующими суровыми и мягкими зимами, определенными по данным ГМС Диксон.

На рис. 1.3–1.5 представлена ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине октября 1994, 1989 и 1978 гг. на юго-западе Карского моря. Раскраска на рис. 1.3–1.26 соответствует зимней шкале – по преобладающей возрастной характеристике дрейфующего льда [76].


Земля Франца Иосифа
о. Диксон
Хейсалей
п-ов Ямал
Тамбей
Марре-Сале
Усть-Кара
Амдерма
Салехард
Ныда
Надым
Игарка
Дудинка
Норильск
Енисейск
Красноярск
Ачинск
Абакан
Минусинск
Ачинск
Канск
Тайшет
Братск
Усть-Илимск
Усть-Кут
Киренск
Якутск
Ленск
Нижнеколымск
Среднеколымск
Верхоянск
Оленек
Тикси
Булун
Жиганск
Усть-Янск
Зырянка
Черский
Среднеколымск
Нижнеколымск
Певек
Анадырь
Провидения
Уэлен
Мыс Дежнева
Берингов пролив
Чукотское море
Восточно-Сибирское море
Море Лаптевых
Новосибирские о-ва
о. Врангеля
Чаунская губа
Колымская губа
Шелагский м.
Мыс Барроу
Аляска
Канада
Гренландия
Исландия
Норвегия
Швеция
Финляндия
Россия
Монголия
Китай
Казахстан
Узбекистан
Туркменистан
Иран
Афганистан
Пакистан
Индия
Непал
Бутан
Бангладеш
Мьянма
Таиланд
Вьетнам
Лаос
Камбоджа
Филиппины
Индонезия
Малайзия
Сингапур
Австралия
Новая Зеландия
Папуа-Новая Гвинея
Фиджи
Тонга
Самоа
Вануату
Соломоновы о-ва
Микронезия
Маршалловы о-ва
Палау
Науру
Кирибати
Тувалу
Япония
Корея
Тайвань
Гонконг
Макао
Бруней
Шри-Ланка
Мальдивы
Сейшельские о-ва
Маврикий
Коморские о-ва
Мадагаскар
Реюньон
Майотта
Мозамбик
Зимбабве
Ботсвана
Намибия
ЮАР
Лесото
Свазиленд
Замбия
Малави
Танзания
Кения
Уганда
Руанда
Бурунди
Эфиопия
Эритрея
Джибути
Сомали
Йемен
Оман
ОАЭ
Катар
Бахрейн
Саудовская Аравия
Кувейт
Ирак
Сирия
Ливан
Израиль
Иордания
Египет
Ливия
Тунис
Алжир
Марокко
Мавритания
Западная Сахара
Сенегал
Гамбия
Гвинея-Бисау
Гвинея
Сьерра-Леоне
Либерия
Кот-д'Ивуар
Буркина-Фасо
Мали
Нигер
Чад
Судан
Южный Судан
Центральноафриканская Республика
Камерун
Экваториальная Гвинея
Габон
Конго
Демократическая Республика Конго
Ангола
Замбия
Зимбабве
Ботсвана
Намибия
ЮАР
Лесото
Свазиленд
Мозамбик

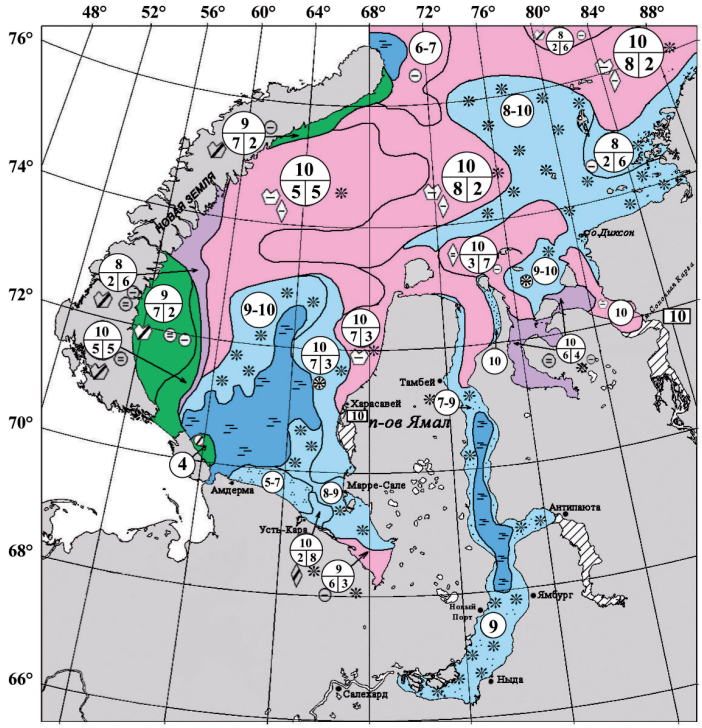


Рис. 1.5. Ледовая обстановка в Карском море в октябре 1978 г. Суровая зима.

В табл. 1.4 приведена информация о преобладающих характеристиках ледовой обстановки на трассе Карские Ворота – м. Харасавей – Енисейский залив в октябре.

В табл. 1.5 приведена информация о преобладающих характеристиках ледовой обстановки на трассе Карские Ворота – м. Харасавей – Енисейский залив в ноябре. На рис. 1.6–1.8 представлена ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине ноября 1994, 1989 и 1978 гг. на юго-западе Карского моря.

Анализ рис. 1.6–1.8 показывает, что в предзимье ледового сезона 1994/1995 гг. (мягкая зима) процесс образования льда на крайнем юго-западе Карского моря шел более интенсивно, чем в предзимье, предшествующее умеренной зиме 1989/1990 гг. В то же время в районе, расположенном к востоку от меридиана о. Белый, процесс ледообразования в умеренную зиму 1989/1990 гг. в ноябре шел активнее, чем в ноябре будущей суровой зимы 1978/1979 гг. Об этом свидетельствуют и толщины припайного льда в районах Сопочной Карги, Диксона, Нового Порта. Таким образом, в октябре-ноябре тип будущей зимы проявляется слабо. Коэффициент корреляции между накопленной к концу ноября суммой

градусодней мороза и СГДМ за весь ледовый период близок к 0,5, к концу декабря связь более существенная: коэффициент корреляции около 0,7, к концу января значение коэффициента корреляции увеличивается до 0,8, а в конце февраля – до 0,9.

Таблица 1.4

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Карские Ворота – м. Харасавей – Енисейский залив в октябре

Участок трассы	пролив Карские Ворота	о. Вайгач – м. Харасавей	м. Харасавей – о. Белый	о. Белый – о. Диксон	о. Диксон – м. Соп. Карга
Мягкая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0	0	5–7
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	чисто	чисто	нилас
Умеренная зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0	9–10	9–10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	чисто	нилас, начальные виды	нилас
Суровая и самая суровая зимы					
Толщина припая, см	–	–	–	–	5–15
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	9–10	10	9–10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый	серый, нилас	серый	серый	серый

Таблица 1.5

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Карские Ворота – м. Харасавей – Енисейский залив в ноябре

Участок трассы	пролив Карские Ворота	о. Вайгач – м. Харасавей	м. Харасавей – о. Белый	о. Белый – о. Диксон	о. Диксон – м. Соп. Карга
Мягкая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	40–50
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	9–10	9–10	10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	серый, нилас	серый	серо-белый	серо-белый
Умеренная зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	40–50
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	9–10	9–10	10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	серый, нилас	серый	тонкий одно-летний (до 40 см), серо-белый	серо-белый
Суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	40–50
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	10	10	10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый, серый	серо-белый	серо-белый	тонкий одно-летний (до 40 см)	серо-белый
Самая суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	70–80
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	10	10	10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый, серый	серо-белый	серо-белый	тонкий одно-летний (до 50 см)	серо-белый

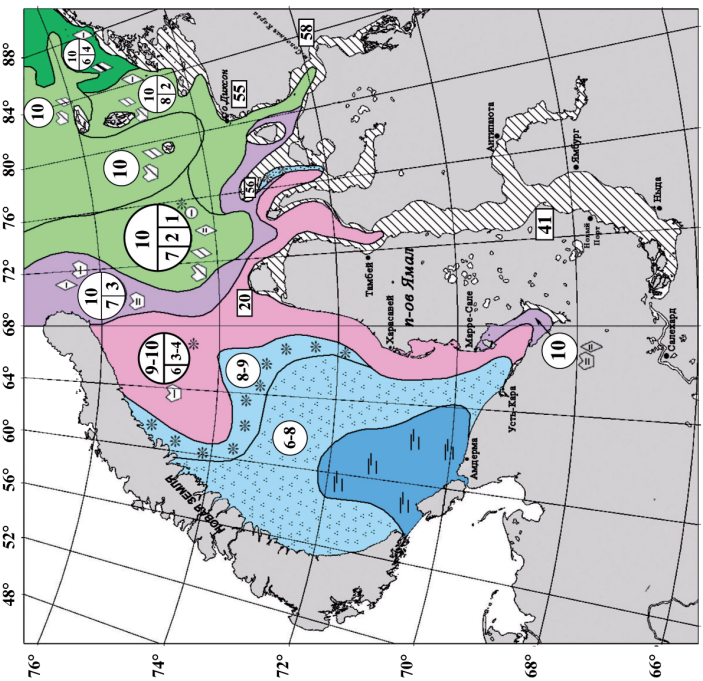


Рис. 1.7. Ледовая обстановка в Карском море в ноябре 1989 г. Умеренная зима.

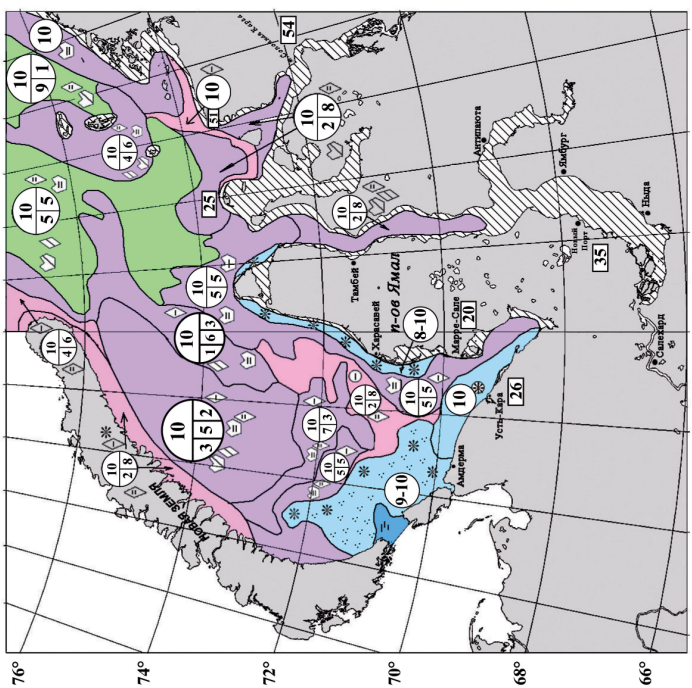


Рис. 1.6. Ледовая обстановка в Карском море в ноябре 1994 г. Мягкая зима.

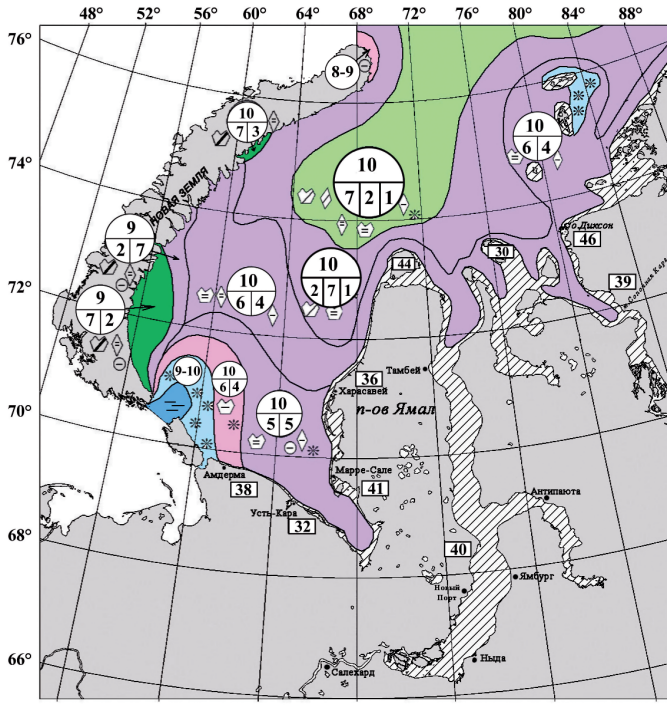


Рис. 1.8. Ледовая обстановка в Карском море в ноябре 1978 г. Суровая зима.

На рис. 1.9–1.14 представлена ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине декабря 1994, 1989 и 1978 гг. и января 1995, 1990 и 1979 гг. на юго-западе Карского моря. В табл. 1.6 и 1.7 приведена информация о преобладающих характеристиках ледовой обстановки на трассе Карские Ворота – м. Харасавей – Енисейский залив (м. Сопочная Карга) в эти же месяцы.

На рис. 1.15–1.20 – ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине февраля и марта 1995, 1990 и 1979 гг. на юго-западе Карского моря. В табл. 1.8 и 1.9 – информация о ледовой условиях на трассе в эти же месяцы.

На рис. 1.21–1.26 – ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине апреля и мая 1995, 1990 и 1979 гг. на юго-западе Карского моря. В табл. 1.10 и 1.11 – информация о ледовых условиях в эти же месяцы.

На рис. 1.27–1.34 представлена ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине июня и июля 1995, 1990 и 1979 гг. и в 1969 г. (после самой суровой зимы) на юго-западе Карского моря. В табл. 1.12 и 1.13 – информация о ледовых условиях в те же месяцы.

На рис. 1.35–1.40 – ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине августа и сентября после умеренной зимы 1989/1990 гг., суровой зимы 1978/1979 гг., самой суровой зимы 1968/1969 гг. на юго-западе Карского моря. Раскраска на рис. 1.27–1.40 – по летней шкале – по преобладающей сплоченности дрейфующего льда.

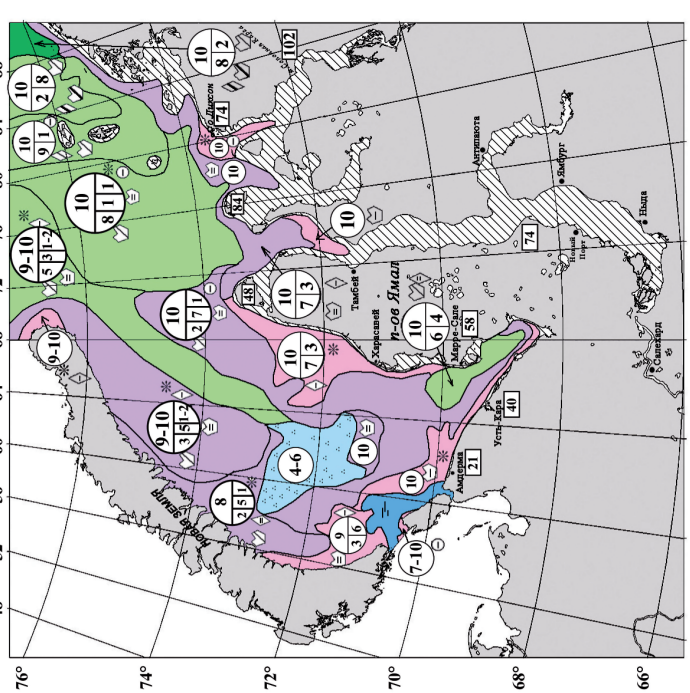


Рис. 1.10. Ледовая обстановка в Карском море в декабре 1989 г. Умеренная зима.

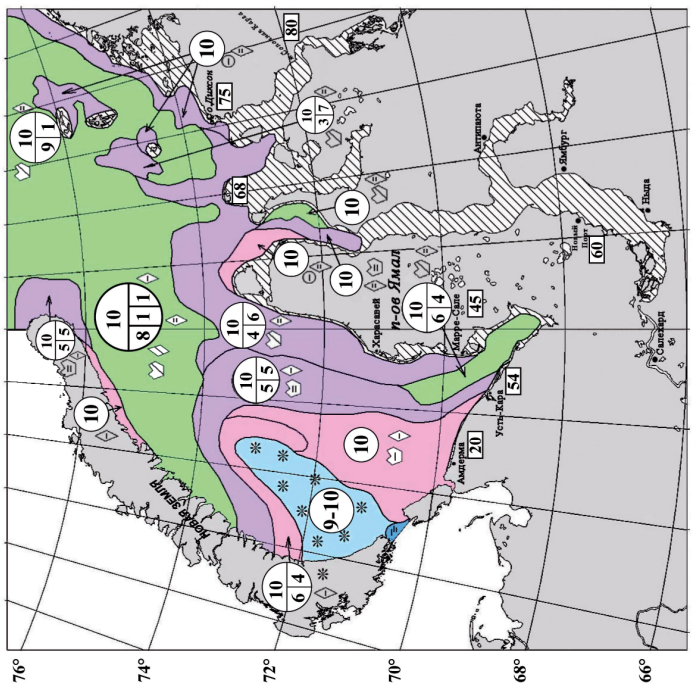


Рис. 1.9. Ледовая обстановка в Карском море в декабре 1994 г. Мягкая зима.

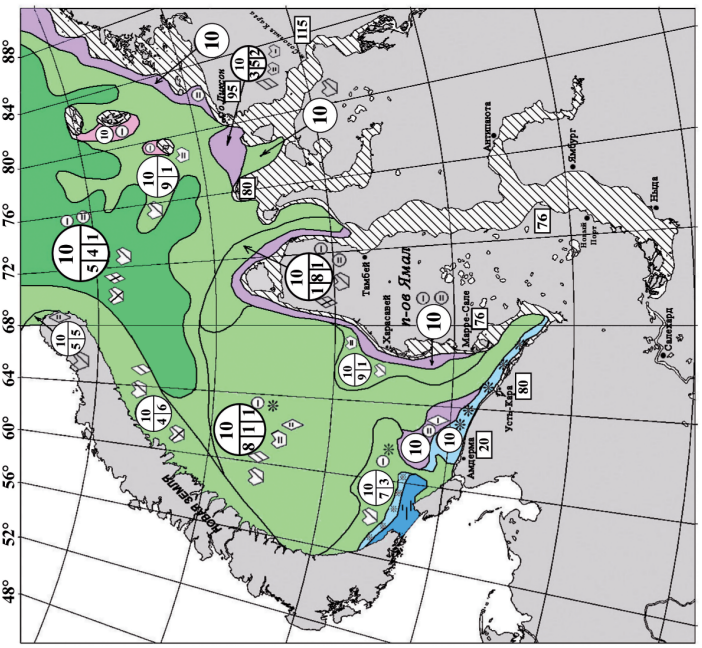


Рис. 1.12. Ледовая обстановка в Карском море в январе 1995 г. Мягкая зима.

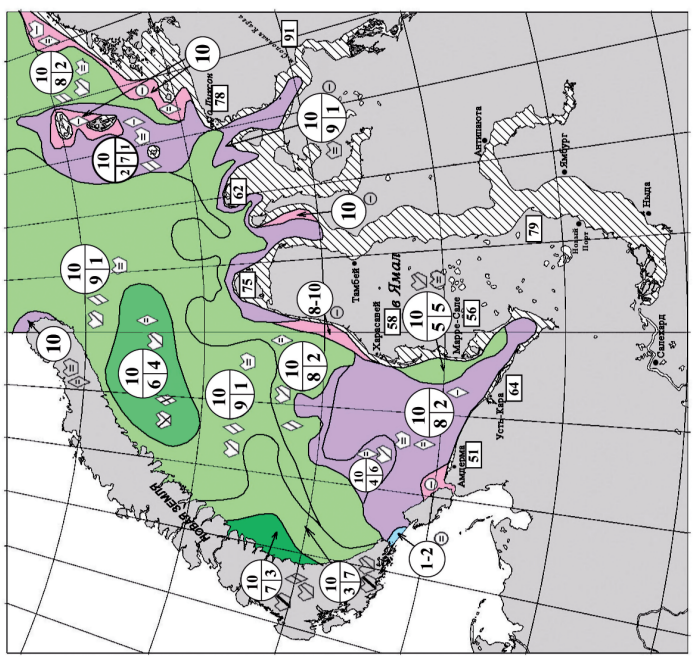


Рис. 1.11. Ледовая обстановка в Карском море в декабре 1978 г. Суровая зима.

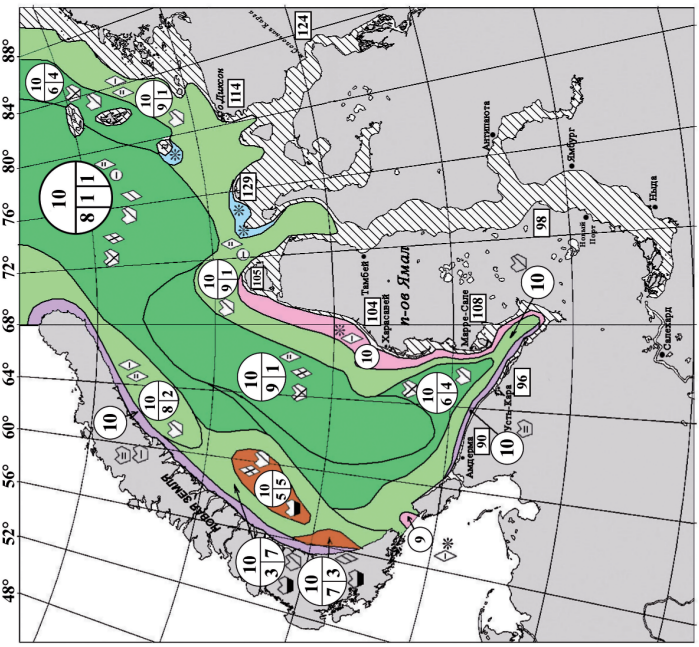

Новая Земля
п-ов Ямал
Диксон
Тамбей
Харасавей
Мыс Каменный
Амдерма
Усть-Кара
Салехард
Игарка
Дудинка
Норильск
Енисей
Игарка
Порт
Новый Порт
Антипаюта
Выборг
Нарьян-Мар
Нарьян
Мар
Печора
Печора
Порт
Усинск
Воркута
Инта
Усть-Цильма
Усть-Ижма
Сосногорск
Ухта
Сыктывкар
Ижма
Ижма
Порт
Вуктыл
Троицко-Печорск
Троицко-Печорск
Порт

Таблица 1.6

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Карские Ворота – м. Харасавей – Енисейский залив в декабре

Участок трассы	пролив Карские Ворота	о. Вайгач – м. Харасавей	м. Харасавей – о. Белый	о. Белый – о. Диксон	о. Диксон – м. Соп. Карга
Мягкая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	70–90 (южнее о-ва Сибирякова)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	7–10	10	9–10	10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый, нилас	серо-белый	серый	серо-белый	серо-белый
Умеренная зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	80–90 (южнее о-ва Сибирякова)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	7–10	10	9–10	10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый, нилас	серо-белый	серый	тонкий однолетний (до 50 см), серо-белый	серо-белый
Суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	90–100 (южнее о-ва Сибирякова)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	10	10	10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый, серый	серо-белый	тонкий однолетний (до 40 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 60 см), серо-белый	серо-белый
Самая суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	110–120 (южнее о-ва Сибирякова)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	10	10	10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый	тонкий однолетний (до 50 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 60 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 70 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 40 см), серо-белый

Таблица 1.7

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Карские Ворота – м. Харасавей – Енисейский залив в январе

Участок трассы	пролив Карские Ворота	о. Вайгач – м. Харасавей	м. Харасавей – о. Белый	о. Белый – о. Диксон	о. Диксон – м. Соп. Карга
Мягкая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	90–100 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	7–10	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	нилас, серый	тонкий однолетний (до 60 см)	тонкий однолетний (до 65 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	–
Умеренная зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	100–110 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 50 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	–
Суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	110–120 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 60 см)	однолетний средней толщины (до 80 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	–
Самая суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	150–160 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 70 см)	однолетний средней толщины (до 100 см)	однолетний средней толщины (до 100 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 90 см)	–

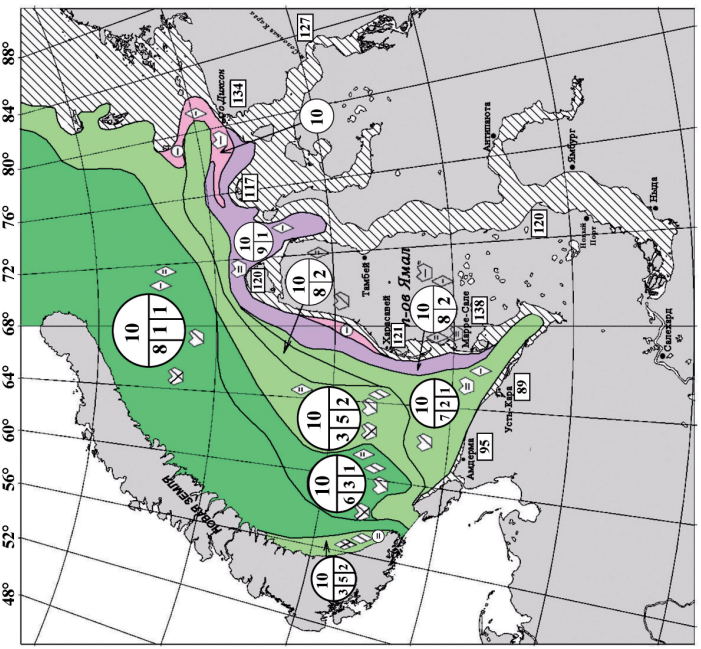


Рис. 1.15. Ледовая обстановка в Карском море в феврале 1995 г. Мягкая зима.

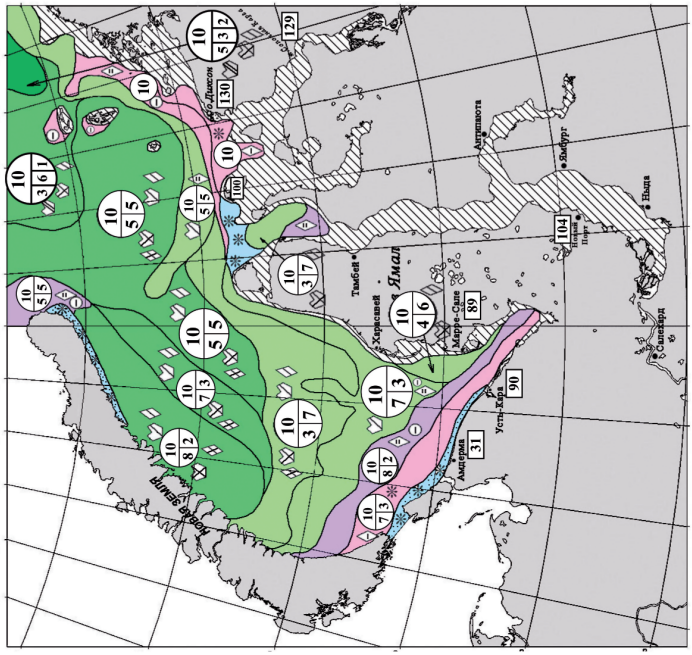
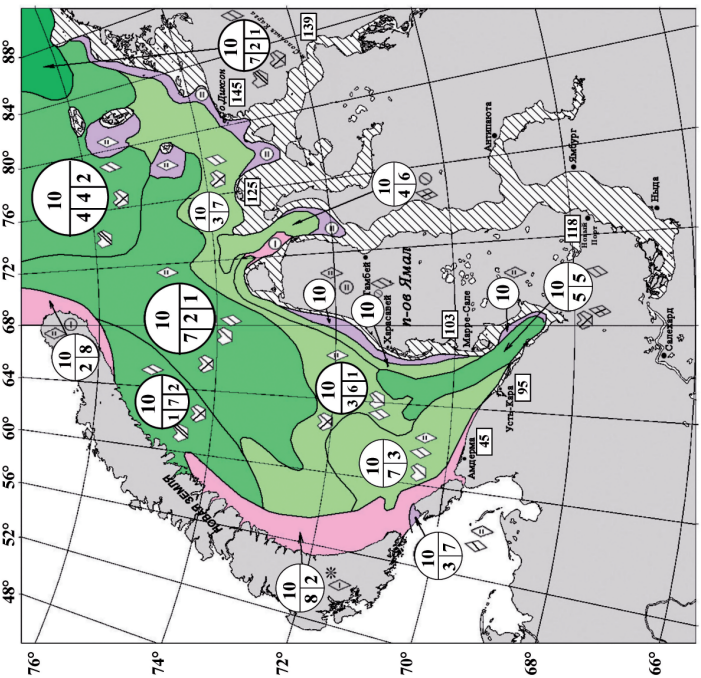


Рис. 1.16. Ледовая обстановка в Карском море в феврале 1990 г. Умеренная зима.


Новая Земля
п-ов Ямал
Харасавэй
Амдерма
Усть-Кара
Мыс Желания
Диксон
Салехард
Игарка
Дудинка
Ямбург
Тазовский
Ныда
Антипаюта
Усть-Порт
Мыс Стерлегова
Мыс Челюскина
Земля Франца-Иосифа
Земля Александры
Земля Николая II
Земля Вилькицкого
Земля Сверд-рупа
Земля Бунге
Земля Комсомольская
Земля Пионерская
Земля Октябрьской Революции
Земля Русская
Земля Уединения
Земля Ушакова
Земля Визе
Земля Гукера
Земля Георга

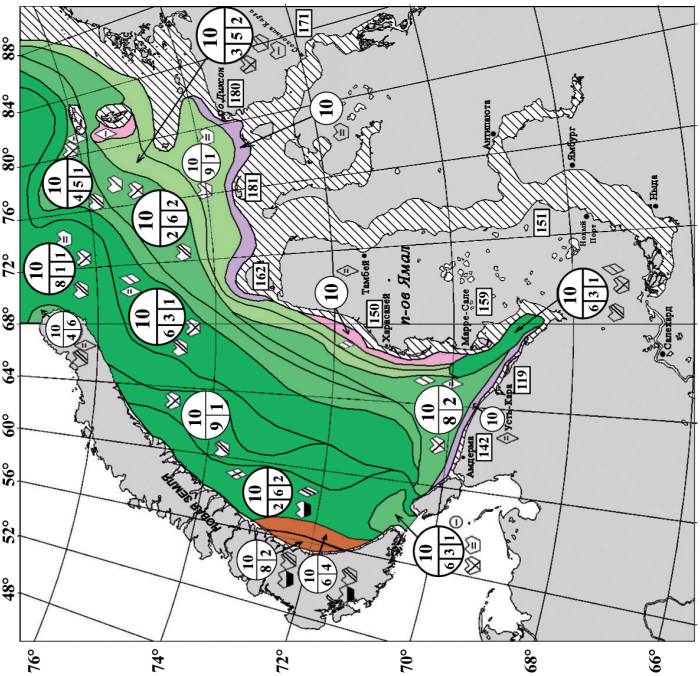


Рис. 1.20. Ледовая обстановка в Карском море в марте 1979 г. Суровая зима.

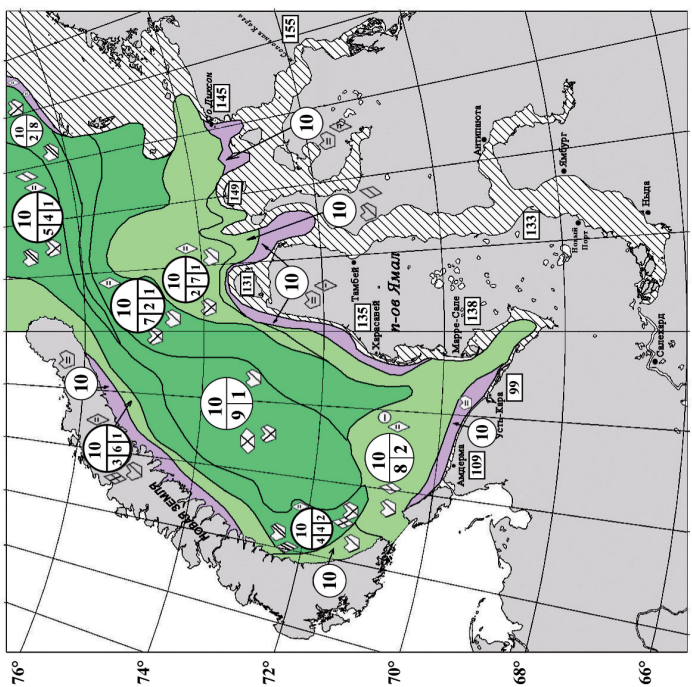


Рис. 1.19. Ледовая обстановка в Карском море в марте 1990 г. Умеренная зима.

Таблица 1.8

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Карские Ворота – м. Харасавей – Енисейский залив в феврале

Участок трассы	пролив Карские Ворота	о. Вайгач – м. Харасавей	м. Харасавей – о. Белый	о. Белый – о. Диксон	о. Диксон – м. Соп. Карга
Мягкая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	120–130 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	7–10	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый, нилас,	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	–
Умеренная зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	130–140 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 70 см)	однолетний средней толщины (до 80 см), тонкий однолетний	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	–
Суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	140–150 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	однолетний средней толщины (до 90 см)	однолетний средней толщины (до 110 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	однолетний средней толщины (до 80 см), тонкий однолетний	–
Самая суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	170–180 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	однолетний средней толщины (до 90 см)	однолетний средней толщины (до 120 см)	однолетний средней толщины (до 110 см)	однолетний средней толщины (до 90 см)	–

Таблица 1.9

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Карские Ворота – м. Харасавей – Енисейский залив в марте

Участок трассы	пролив Карские Ворота	о. Вайгач – м. Харасавей	м. Харасавей – о. Белый	о. Белый – о. Диксон	о. Диксон – м. Соп. Карга
Мягкая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	130–140 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый, серый	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	–
Умеренная зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	150–160 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 70 см)	однолетний средней толщины (до 100 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	–
Суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	170–180 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	однолетний средней толщины (до 90 см)	толстый однолетний (до 140 см)	однолетний средней толщины (до 80 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 80 см), тонкий однолетний	–
Самая суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	200–210 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	однолетний средней толщины (до 90 см)	толстый однолетний (до 150 см)	однолетний средней толщины (до 110 см)	однолетний средней толщины (до 90 см)	–

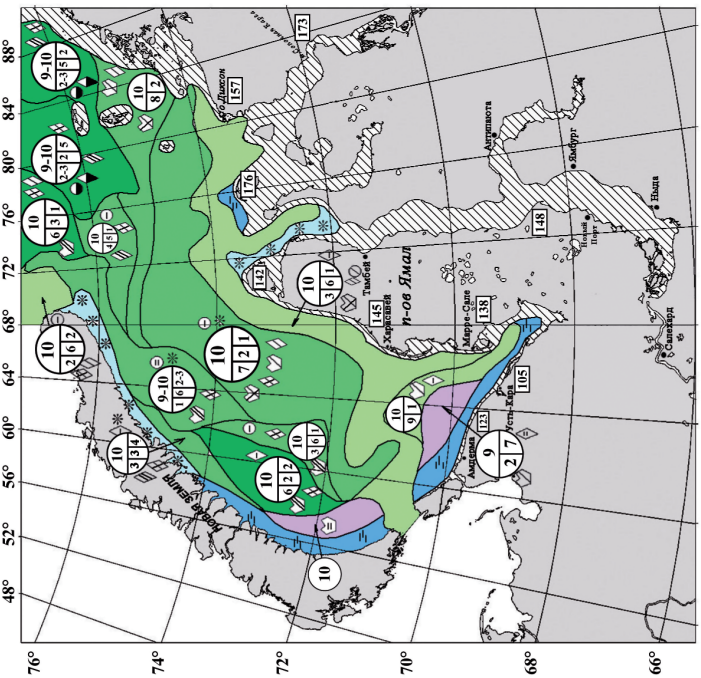


Рис. 1.22. Ледовая обстановка в Карском море в апреле 1990 г. Умеренная зима.

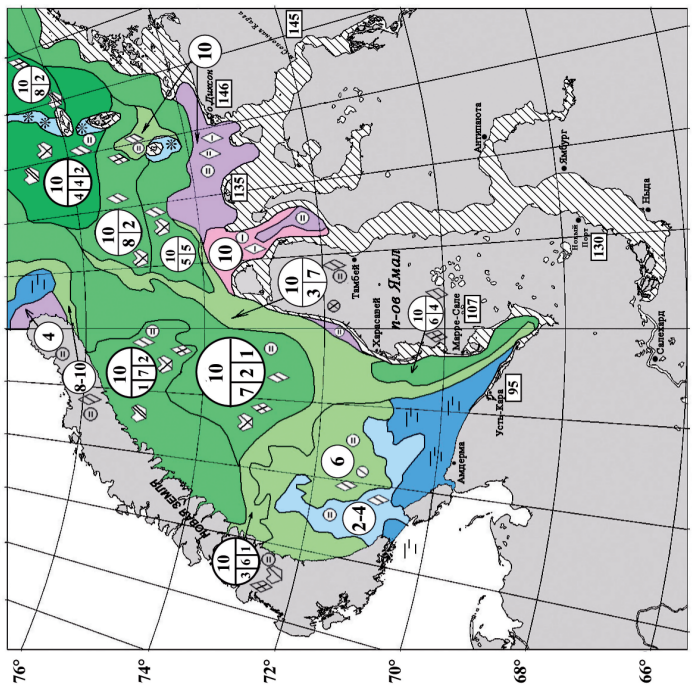


Рис. 1.21. Ледовая обстановка в Карском море в апреле 1995 г. Мягкая зима.

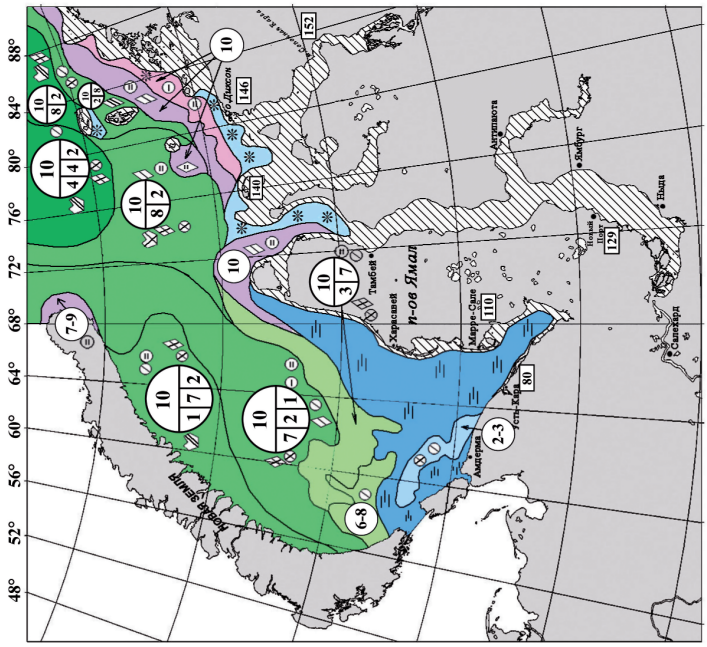


Рис. 1.24. Ледовая обстановка в Карском море в мае 1995 г. После мягкой зимы.

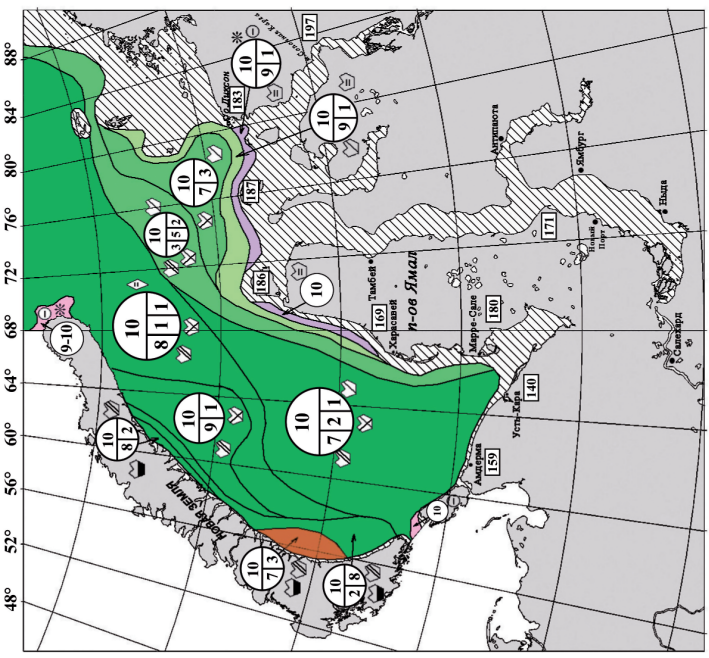


Рис. 1.23. Ледовая обстановка в Карском море в апреле 1979 г. Суровая зима.

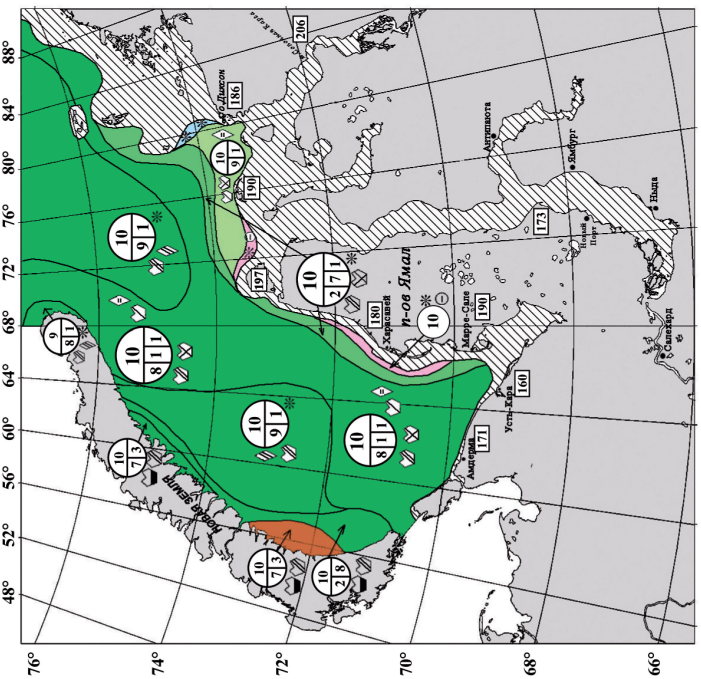


Рис. 1.26. Ледовая обстановка в Карском море в мае 1979 г. После суровой зимы.

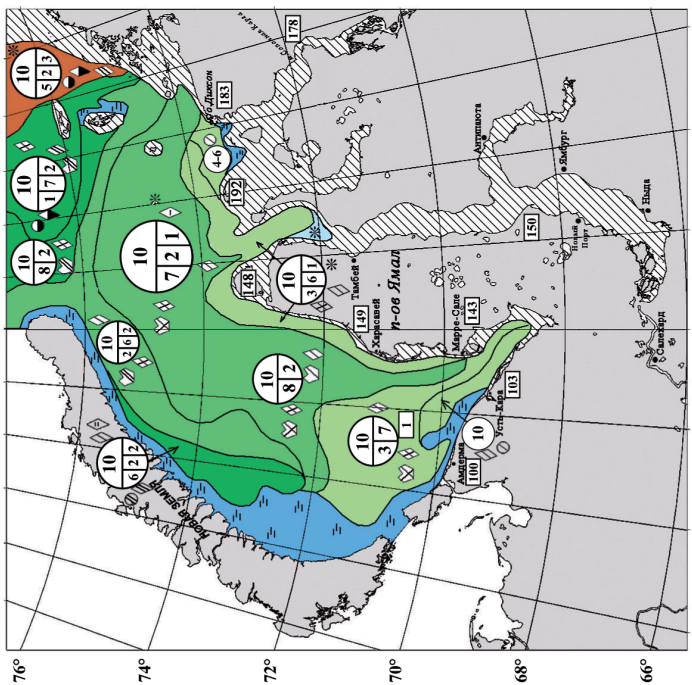


Рис. 1.25. Ледовая обстановка в Карском море в мае 1990 г. После умеренной зимы.

Таблица 1.10

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Карские Ворота – м. Харасавей – Енисейский залив в апреле

Участок трассы	пролив Карские Ворота	о. Вайгач – м. Харасавей	м. Харасавей – о. Белый	о. Белый – о. Диксон	о. Диксон – м. Соп. Карга
Мягкая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	135–145 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	2–4	6–10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	–
Умеренная зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	160–170 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 70 см)	однолетний средней толщины (до 110 см), тонкий однолетний	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	–
Суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	190–200 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	однолетний средней толщины (до 120 см)	толстый однолетний (до 140 см)	однолетний средней толщины (до 100 см)	однолетний средней толщины (до 100 см)	–
Самая суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	210–220 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	однолетний средней толщины (до 120 см)	толстый однолетний (до 160 см)	однолетний средней толщины (до 110 см)	однолетний средней толщины (до 120 см)	–

Таблица 1.11

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Карские Ворота – м. Харасавей – Енисейский залив в мае

Участок трассы	пролив Карские Ворота	о. Вайгач – м. Харасавей	м. Харасавей – о. Белый	о. Белый – о. Диксон	о. Диксон – м. Соп. Карга
Мягкая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	140–150 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	2–4	2–4	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	однолетний средней толщины (до 80 см), тонкий однолетний	тонкий однолетний (до 60–70)	однолетний средней толщины (до 80 см), тонкий однолетний	–
Умеренная зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	175–185 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	однолетний средней толщины (до 120 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 100 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 100 см), тонкий однолетний	–
Суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	195–205 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	толстый однолетний (до 150 см)	толстый однолетний (до 150 см)	однолетний средней толщины (до 120 см)	однолетний средней толщины (до 120 см)	–
Самая суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	210–220 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	толстый однолетний (до 160 см)	толстый однолетний (до 160 см)	однолетний средней толщины (до 120 см)	однолетний средней толщины (до 120 см)	–

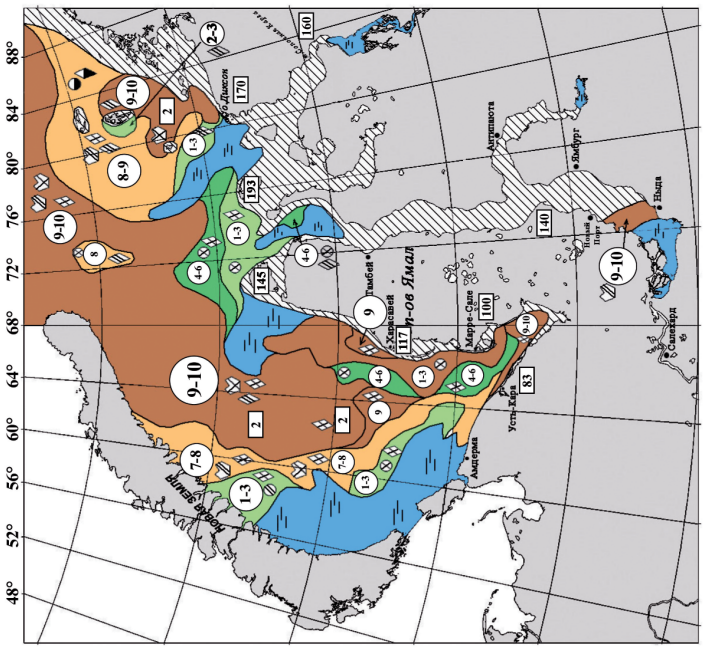


Рис. 1.28. Ледовая обстановка в Карском море в июне 1990 г.
После умеренной зимы.

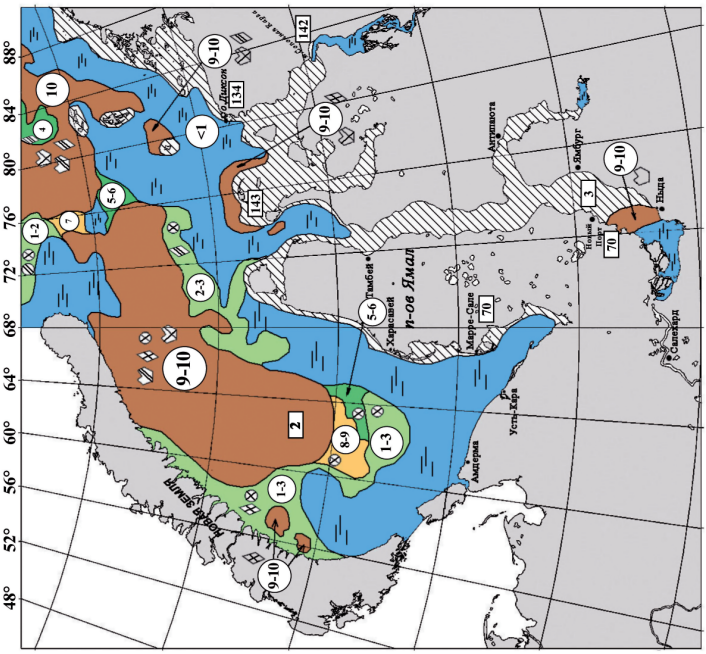


Рис. 1.27. Ледовая обстановка в Карском море в июне 1995 г.
После мягкой зимы.

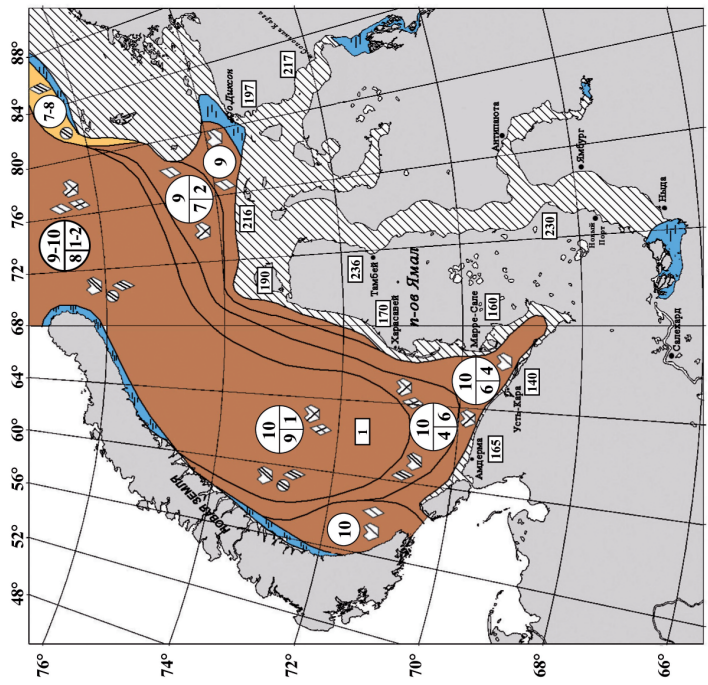


Рис. 1.29. Ледовая обстановка в Карском море в июне 1979 г. После суровой зимы.

Рис. 1.30. Ледовая обстановка в Карском море в июне 1969 г. После самой суровой зимы.

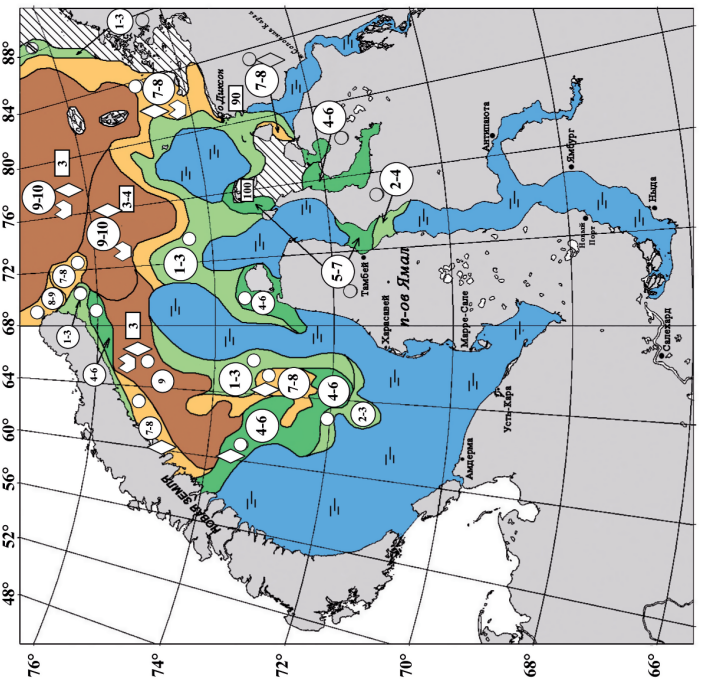


Рис. 1.32. Ледовая обстановка в Карском море в июле 1990 г. После умеренной зимы.

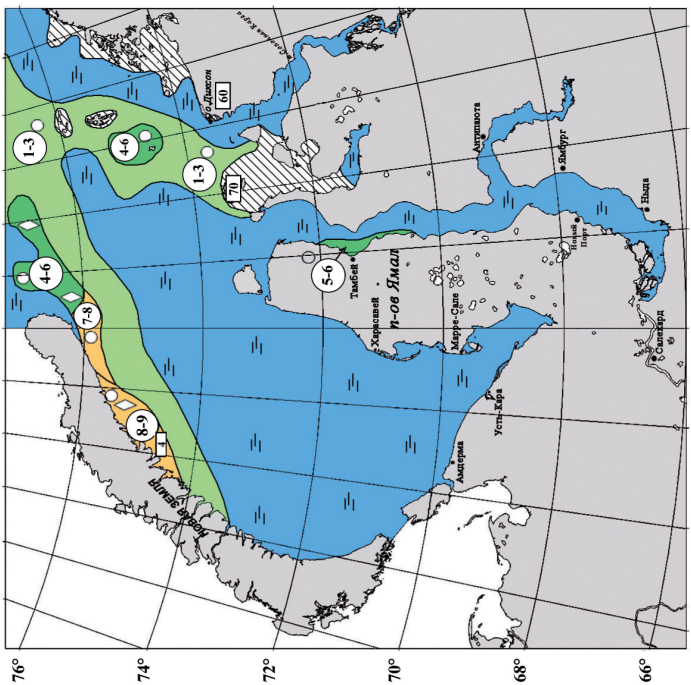


Рис. 1.31. Ледовая обстановка в Карском море в июле 1995 г. После мягкой зимы.

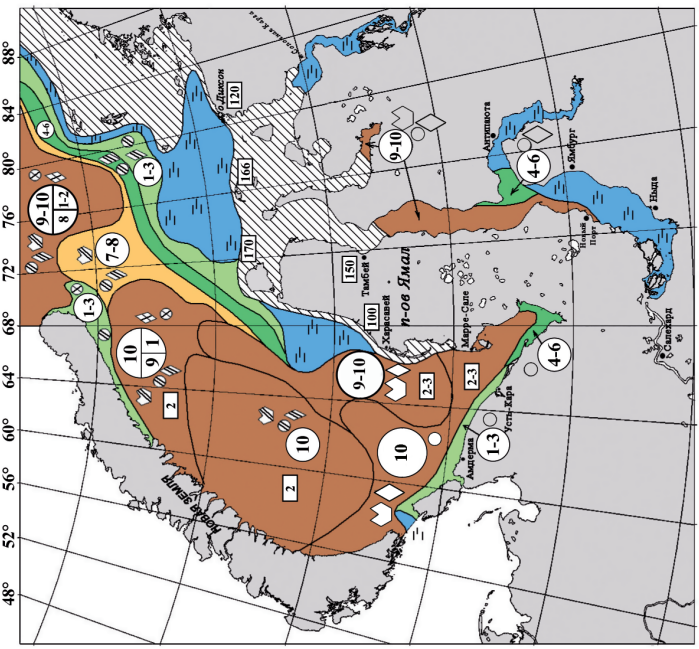


Рис. 1.34. Ледовая обстановка в Карском море в июле 1969 г. После самой суровой зимы.

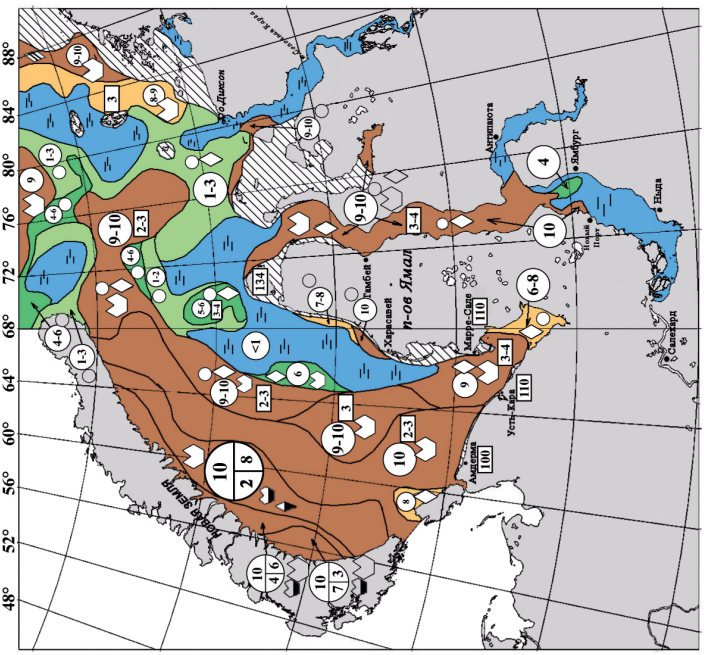


Рис. 1.33. Ледовая обстановка в Карском море в июле 1979 г. После суровой зимы.

Таблица 1.12

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Карские Ворота – м. Харасавей – Енисейский залив в июне

Участок трассы	пролив Карские Ворота	о. Вайгач – м. Харасавей	м. Харасавей – о. Белый	о. Белый – о. Диксон	о. Диксон – м. Соп. Карга
Мягкая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	130–140 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0	1–3	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	чисто	однолетний средней толщины (до 80 см), тонкий однолетний	–
Умеренная зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	175–185 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	4–8	2–4	2–4	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	однолетний средней толщины (до 100 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 90 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 100 см), тонкий однолетний	–
Суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	195–205 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	9–10	2–4	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	толстый однолетний (до 150 см), однолетний средней толщины	толстый однолетний (до 150 см)	однолетний средней толщины (до 120 см)	однолетний средней толщины (до 120 см)	–
Самая суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	205–215 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	толстый однолетний (до 150 см), однолетний средней толщины	толстый однолетний (до 160 см)	однолетний средней толщины (до 120 см)	однолетний средней толщины (до 120 см)	–

Таблица 1.13

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Карские Ворота – м. Харасавей – Енисейский залив в июле

Участок трассы	пролив Карские Ворота	о. Вайгач – м. Харасавей	м. Харасавей – о. Белый	о. Белый – о. Диксон	о. Диксон – м. Соп. Карга
Мягкая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0	1–3	0
Толщина дрейфующего льда, см	чисто	чисто	чисто	до 80	чисто
Умеренная зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	1–3	1–3	0
Толщина дрейфующего льда, см	чисто	чисто	до 90	до 100	чисто
Суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	9–10	1–3	1–3	0
Толщина дрейфующего льда, см	до 130	до 130	до 100	до 120	чисто
Самая суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	120–130 (весь участок трассы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	9–10	1–3	1–3	–
Толщина дрейфующего льда, см	до 140	до 140	до 110	до 130	–

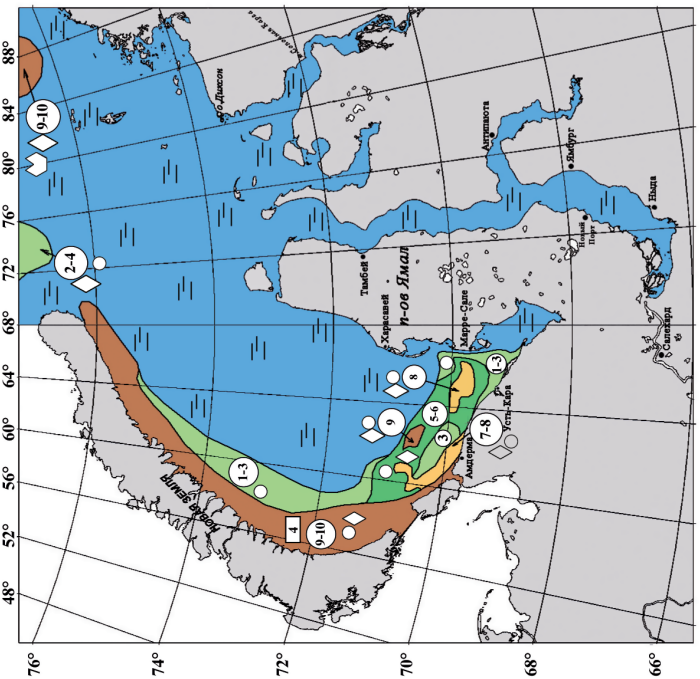


Рис. 1.36. Ледовая обстановка в Карском море в августе 1979 г.
После суровой зимы.

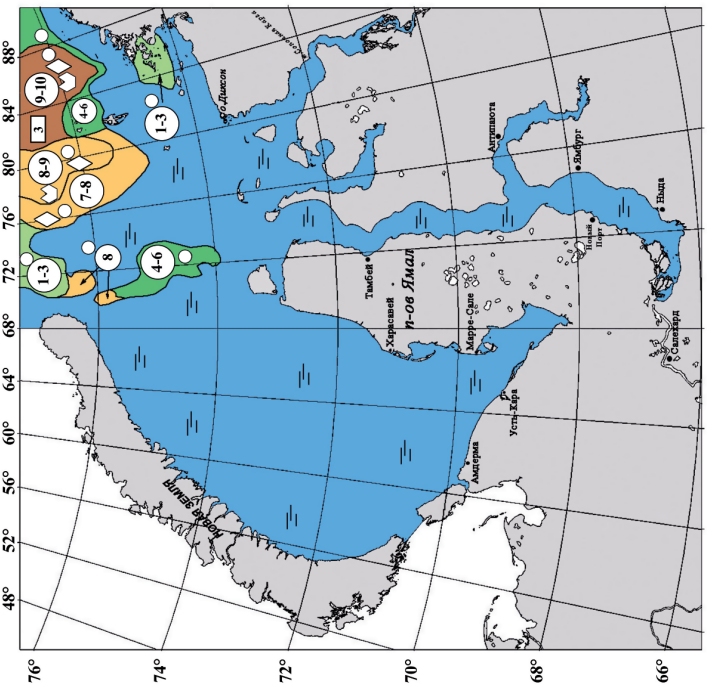


Рис. 1.35. Ледовая обстановка в Карском море в августе 1990 г.
После умеренной зимы.

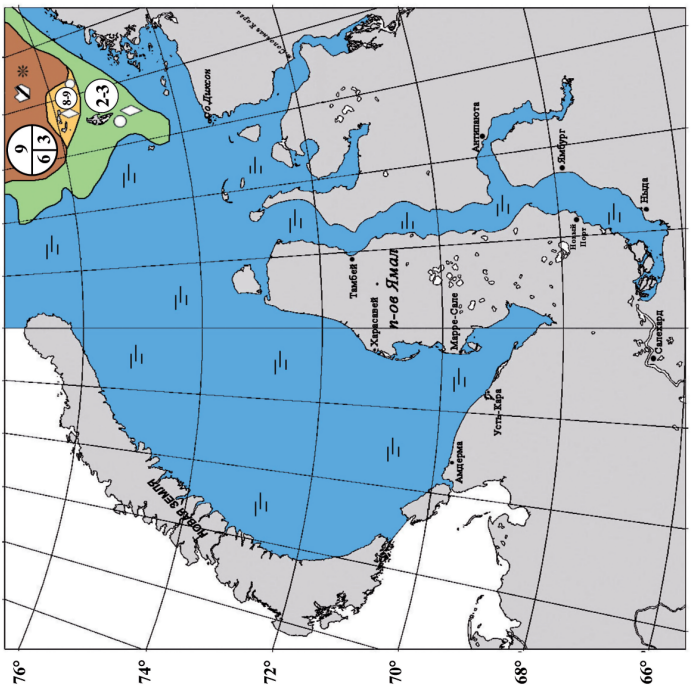


Рис. 1.38. Ледовая обстановка в Карском море в сентябре 1990 г. После умеренной зимы.

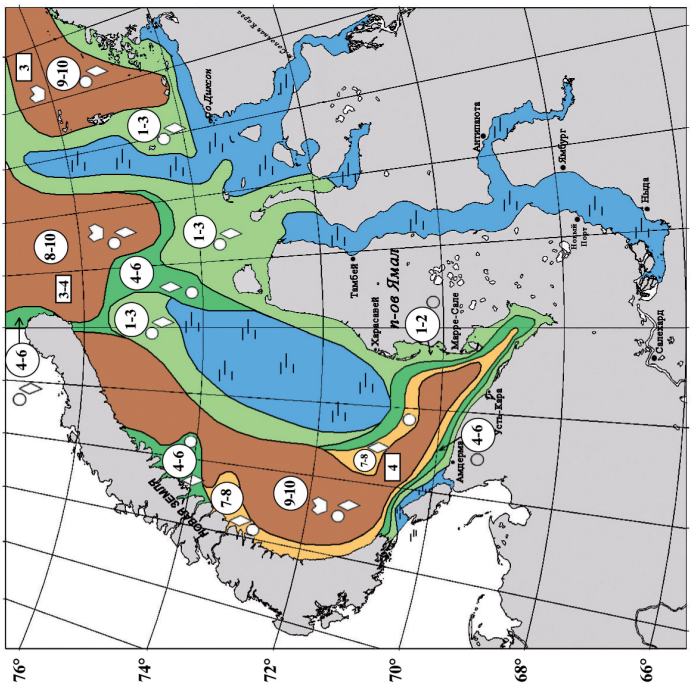


Рис. 1.37. Ледовая обстановка в Карском море в августе 1969 г. После самой суровой зимы.

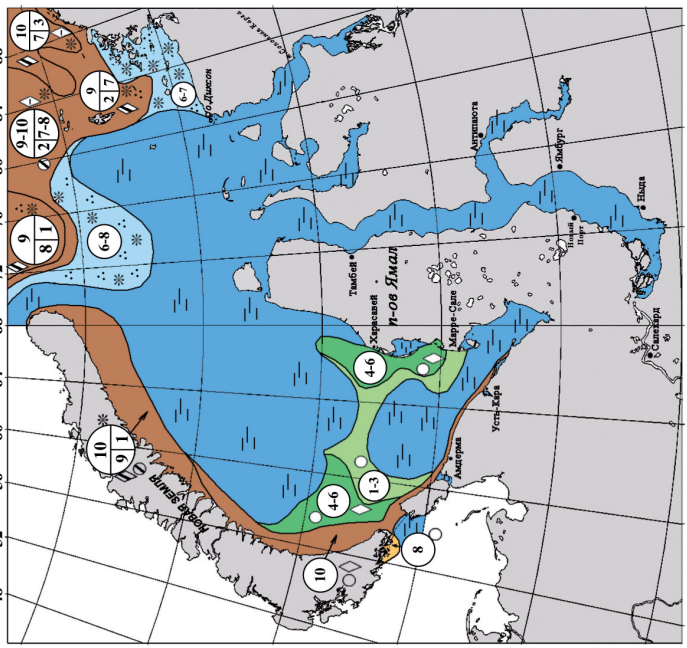


Рис. 1.40. Ледовая обстановка в Карском море в сентябре 1969 г. После самой суровой зимы.

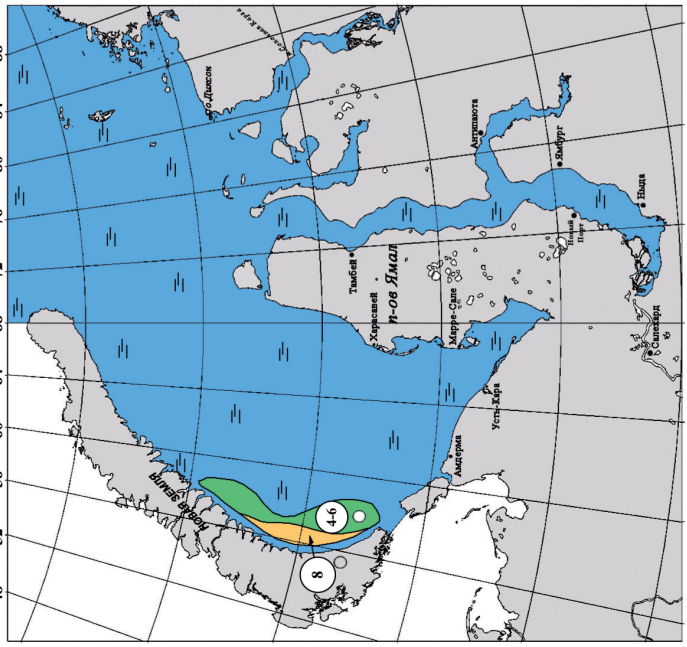


Рис. 1.39. Ледовая обстановка в Карском море в сентябре 1979 г. После суровой зимы.

После мягкой зимы в середине августа юго-западная часть Карского моря свободна ото льда. В середине сентября после мягкой и умеренной зим на юго-западе Карского моря льда обычно нет. После суровой зимы (а также после отдельных умеренных зим) пятна льда (сплоченностью до 8–10 баллов) могут сохраняться на восточных подходах к проливам Карские Ворота и Югорский Шар, а также у западного побережья п-ова Ямал (рис. 1.39 и 1.40).

В табл. 1.14 приведена информация о преобладающих характеристиках ледовой обстановки на трассе Карские Ворота – м. Харасавей – Енисейский залив в августе.

Таблица 1.14

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Карские Ворота – м. Харасавей – Енисейский залив в августе

Участок трассы	прол. Карские Ворота	о. Вайгач – м. Харасавей	м. Харасавей – о. Белый	о. Белый – о. Диксон	о. Диксон – м. Соп. Карга
Мягкая и умеренная зимы					
Толщина припая, см	–	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0	0	0
Толщина дрейфующего льда, см	чисто	чисто	чисто	чисто	чисто
Суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	6–10	6–9 (на западе)	0	0	0
Толщина дрейфующего льда, см	до 50	до 50	чисто	чисто	чисто
Самая суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	6–10	6–10	1–3	1–3	0
Толщина дрейфующего льда, см	до 60	до 60	до 60	до 70	чисто

1.4. Ледообразование в юго-западной части Карского моря

В табл. 1.15 приведены даты наступления ледовых фаз по данным ГМС юго-западной части Карского моря. Анализ осуществлен за полный ряд наблюдений по станциям (от 32 до 79 лет) и за последние 30 лет по станциям с большими рядами наблюдений. В табл. 1.16 приведены даты первого появления льда, окончательного очищения моря ото льда и продолжительности ледового периода для первых 12 лет XXI века. На рис. 1.41–1.43 приведены карты изохрон ранних, средних и поздних сроков начала ледообразования на юго-западе Карского моря.

Во второй декаде октября обычно начинается интенсивное ледообразование в южных и северных районах Обской губы (в районе Тамбея устойчивое ледообразование начинается в среднем 13 октября, в районе Нового Порта – 12 октября). Распространяясь навстречу друг другу, обе волны ледообразования к концу второй декады октября смыкаются. Вся Обская губа к этому времени покрывается дрейфующим льдом. В Салехарде устойчивое ледообразование начинается в среднем 24 октября (ранняя дата – 9 октября 1966 г., поздняя – 10 ноября 2010 г.).

В Енисейском заливе устойчивое ледообразование в районе Сопочной Карги начинается в среднем 11 октября (раннее – 15 сентября 1956 г., позднее – 28 октября 1951 г.). На Енисее в районе Игарки и Дудинки устойчивое ледообразование начинается в среднем 17 октября. При этом наиболее раннее ледообразование наблюдалось в Игарке 7 октября 1981 г., в Дудинке – 3 октября 1984 года. Позднее ледообразование наблюдалось в Игарке 3 ноября 1983 г., в Дудинке – 1 ноября 1947 года.

В открытой части Карского моря волна ледообразования движется с северо-востока на юго-запад. К середине октября (в среднем 16 октября) фронт устойчивого ледообразования достигает о. Белый.

Устойчивое ледообразование в районе м. Желания начинается обычно в конце октября, в это же время образуется лед в Байдарацкой губе. Во второй декаде ноября процесс ледообразования обычно охватывает всю юго-западную часть моря, хотя в проливе Карские Ворота ледообразование может несколько задерживаться в связи с поступлением сюда относительно теплых баренцевоморских вод (рис. 1.42).

При раннем ледообразовании уже в начале сентября в районе м. Желания появляются начальные виды льда. К началу октября процесс ледообразования охватывает все море за исключением крайнего юго-западного района (восточных подходов к проливу Карские Ворота). К 10 октября в проливе Карские ворота может появиться дрейфующий лед в виде ниласа и начальных видов льда (рис. 1.41).

В связи с ранними сроками очищения моря в предыдущий ледовый период, большим теплосодержанием поверхностного слоя воды, вялым процессом осеннего выхолаживания ледообразование может происходить в поздние сроки. В районе к западу от о. Белый устойчивое ледообразование может начаться после 10 ноября. В районе м. Желания и на восточных подходах к проливу Карские Ворота при таких условиях ледообразование может начаться в конце декабря (рис. 1.43).

Таблица 1.15

Даты наступления ледовых фаз в юго-западной части Карского моря

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Полное замерзание	Исчезновение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
АМДЕРМА (с сезона 1934/1935 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 78 лет). Повторяемость очищения ото льда – 100 %.						
Средняя	3.11	6.11	н.с.	20.06	28.07	268
Ранняя	11.09 (1998)	11.09 (1998)	н.с.	27.03 (1995)	16.04 (1995)	163 (1994/95)
Поздняя	6.12 (2005)	6.12 (2005)	н.с.	28.07 (1964)	29.09 (1969)	335 (1968/69)
СКО	14	14	н.с.	20	28	34
АМДЕРМА (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость очищения ото льда – 100 %.						
Средняя	7.11	8.11	н.с.	20.06	16.07	251
Ранняя	11. 09 (1998)	11.09 (1998)	н.с.	27.03 (1995)	16.04 (1995)	163 (1994/95)
Поздняя	6.12 (2005)	6.12 (2005)	н.с.	17.07 (1987)	9.09 (1985)	319 (1998/99)
СКО	16	16	н.с.	20	29	35
УСТЬ-КАРА (с сезона 1934/1935 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 78 лет). Повторяемость очищения ото льда – 97 %.						
Средняя	12.10	16.10	9.11	24.06	6.07	267
Ранняя	29.09 (1934, 1998)	29.09 (1998)	14.10 (1998)	29.05 (1995)	29.05 (1995)	217 (1994/95)
Поздняя	4.11 (2007)	19.11 (1967)	20.12 (1936)	16.07 (1958)	16.09 (1978)	350 (1977/78)
СКО	8	10	14	11	22	26
УСТЬ-КАРА (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость очищения ото льда – 97 %.						
Средняя	15.10	16.10	9.11	18.06	22.06	251
Ранняя	29.09 (1998)	29.09 (1998)	14.10 (1998)	29.05 (1995)	29.05 (1995)	217 (1994/95)
Поздняя	4.11 (2007)	4.11 (2007)	9.12 (1996)	29.06 (2007)	1.07 (1987)	273 (1986/87)
СКО	8	8	11	9	10	13

Продолжение табл. 1.15

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Полное замерзание	Исчезновение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
МАРРЕ-САЛЕ (с сезона 1933/1934 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 79 лет). Повторяемость очищения ото льда – 100 %.						
Средняя	19.10	21.10	20.11	2.07	3.08	288
Ранняя	20.09 (1958)	2.10 (1934)	21.10 (1946)	9.06 (2012)	19.06 (2012)	230 (2011/12)
Поздняя	16.11 (1955)	26.11 (2005)	26.01 (2012)	25.07 (1999)	10.10 (1969)	352 (1968/69)
СКО	11	11	16	9	22	26
МАРРЕ-САЛЕ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость очищения ото льда – 100 %.						
Средняя	23.10	26.10	28.11	29.06	26.07	275
Ранняя	5.10 (1987)	7.10 (1990)	29.10 (1988)	9.06 (2012)	19.06 (2012)	230 (2011/12)
Поздняя	14.11 (2010)	26.11 (2005)	26.01 (2012)	25.07 (1999)	17.09 (1999)	337 (1998/99)
СКО	11	12	16	9	20	23
ХАРАСАВЕЙ (с сезона 1953/1954 гг. по сезон 1997/1998 гг. – 45 лет). Повторяемость очищения ото льда – 96 %.						
Средняя	12.10	18.10	22.11	10.07	28.07	293
Ранняя	18.09 (1958)	28.09 (1956)	14.10 (1992)	21.06 (1955)	29.06 (1955)	254 (1994/95)
Поздняя	28.10 (1967, 1985)	17.11 (1994)	5.01 (1980)	24.07 (1968)	11.09 (1966)	331 (1965/66)
СКО	10	12	32	8	17	19
ХАРАСАВЕЙ (с сезона 1981/1982 гг. по сезон 1997/1998 гг.– 17 лет). Повторяемость очищения ото льда – 100 %.						
Средняя	14.10	24.10	24.11	5.07	17.07	280
Ранняя	19.09 (1982)	2.10 (1986)	14.10 (1992)	26.06 (1993)	5.07 (1995)	254 (1994/95)
Поздняя	28.10 (1985)	17.11 (1994)	29.12 (1984)	11.07 (1992)	12.08 (1987)	314 (1986/87)
СКО	12	14	25	6	11,4	18

Продолжение табл. 1.15

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Полное замерзание	Исчезновение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
о. БЕЛЫЙ (с сезона 1933/1934 гг. по сезон 2011/2012 гг.– 79 лет). Повторяемость очищения ото льда – 100 %.						
Средняя	12.10	16.10	7.11	18.07	30.07	292
Ранняя	16.9 (1933)	30.09 (1973)	10.10 (1934)	27.06 (2012)	30.06 (2012)	240 (2011/12)
Поздняя	6.11 (2007)	6.11 (1971, 2007)	22.12 (1948)	6.08 (1966)	1.09 (1966)	333 (1933/34)
СКО	10	10	18	8	12	18
о. БЕЛЫЙ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость очищения ото льда – 100 %.						
Средняя	17.10	19.10	10.11	14.07	23.07	279
Ранняя	5.10 (1987)	5.10 (1987)	20.10 (1990, 2008)	27.06 (2012)	30.06 (2012)	240 (2011/12)
Поздняя	6.11 (2007)	6.11 (2007)	8.12 (2011)	31.07 (1999)	17.08 (1989)	304 (1986/87)
СКО	10	11	16	8	11	18
о. ДИКСОН (с сезона 1933/1934 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 79 лет). Повторяемость очищения ото льда – 99 %.						
Средняя	5.10	6.10	16.10	17.07	25.07	293
Ранняя	17.09 (1958)	17.09 (1958)	26.09 (1958)	25.06 (1945)	4.07 (2012)	262 (1944/45)
Поздняя	25.10 (1985)	25.10 (1985)	6.11 (1941)	13.08 (1974)	31.08 (1966)	324 (1965/66)
СКО	9	8	9	9	11	15
о. ДИКСОН (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость очищения ото льда – 100 %.						
Средняя	8.10	8.10	17.10	17.07	20.07	287
Ранняя	22.09 (1996)	22.09 (1996)	1.10 (1998)	1.07 (2011, 2012)	4.07 (2012)	264 (2011/12)
Поздняя	25.10 (1985)	25.10 (1985)	31.10 (1994)	31.07 (1992)	6.08 (1992)	309 (1998/99)
СКО	8	8	7	7	7	12

Окончание табл. 1.15

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Полное замерзание	Исчезновение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
СОПОЧНАЯ КАРГА (с сезона 1955/1956 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 57 лет). Повторяемость очищения ото льда – 99 %.						
Средняя	6.10	11.10	26.10	25.06	29.06	267
Ранняя	7.09 (1958)	15.09 (1956)	4.10 (1992)	14.06 (2011)	14.06 (2011)	240 (2011/12)
Поздняя	28.10 (1951)	28.10 (1951)	29.11 (1985)	13.07 (1987)	13.07 (1987)	288 (1958/59)
СКО	9	8	12	6	6	11
СОПОЧНАЯ КАРГА (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость очищения ото льда – 100 %.						
Средняя	10.10	11.10	28.10	26.06	29.06	262
Ранняя	29.09 (1992)	29.09 (1992)	4.10 (1992)	14.06 (2011)	14.06 (2011)	240 (2011/12)
Поздняя	23.10 (2011)	24.10 (1985)	29.11 (1985)	13.07 (1987)	13.07 (1987)	279 (1994/95)
СКО	7	7	13	6	6	9
НОВЫЙ ПОРТ (с сезона 1980/1981 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 32 год). Повторяемость очищения ото льда –100 %.						
Средняя	10.10	12.10	21.10	20.06	27.06	260
Ранняя	28.09 (1996)	28.09 (1996)	5.10 (1982)	6.06 (2000)	11.06 (2011)	233 (2010/11, 2011/12)
Поздняя	25.10 (2011)	25.10 (2011)	11.11 (2007)	11.07 (1987)	14.07 (1987)	286 (1986/87)
СКО	8	8	8	8	6	10

Примечание. «Н.с.» – нет сведений; СКО – среднее квадратическое отклонение.

За последнее 30-летие средние даты первого и устойчивого ледообразования в юго-западной части Карского моря сдвинулись в сторону более поздних сроков на 3–4 дня. Средние даты очищения моря ото льда сдвинулись в сторону более ранних сроков на крайнем юго-западе (к западу от о. Белый) на 1–2 недели, на востоке юго-западного района (к востоку от о. Белый) – на 1–5 дней. Продолжительность ледового периода сократилась в среднем на крайнем юго-западе (к западу от о. Белый) на 1,5–2,5 недели, на востоке юго-западного района (к востоку от о. Белый) – на 5–8 дней.

Таблица 1.16

Средние даты наступления ледовых фаз на юго-западе Карского моря по 12-летнему ряду наблюдений в XXI веке

ГМС	Первое появление льда	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
Амдерма	18.11	15.07	239
Усть-Кара	18.10	22.06	248
Марре-Сале	30.10	22.07	265
о. Белый	23.10	17.07	267
о. Диксон	12.10	15.07	277
Сопочная Карга	15.10	24.06	253

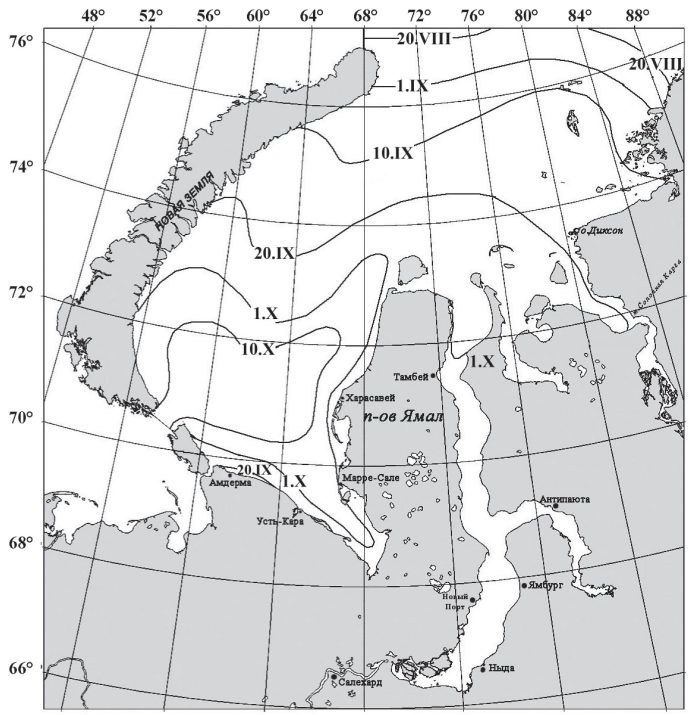


Рис. 1.41. Карта изохрон ранних сроков устойчивого ледообразования в юго-западной части Карского моря.

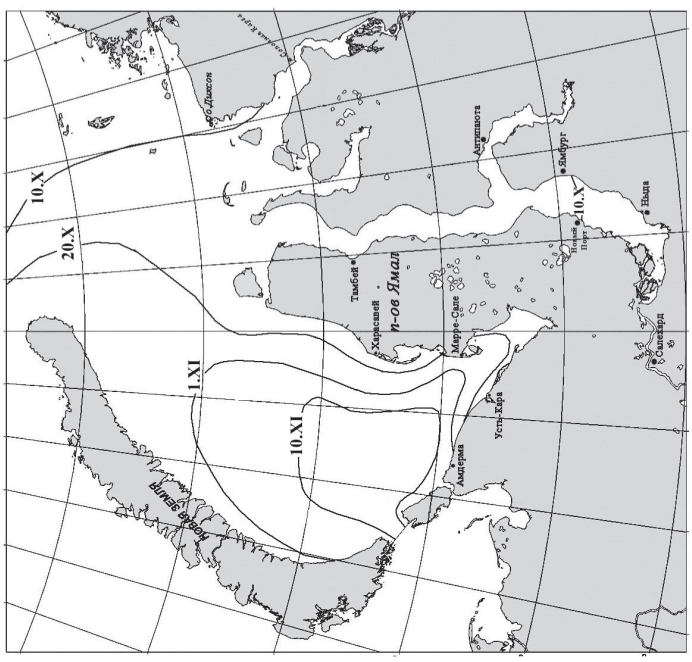


Рис. 1.42. Карта изохрон средних сроков устойчивого ледообразования в юго-западной части Карского моря.

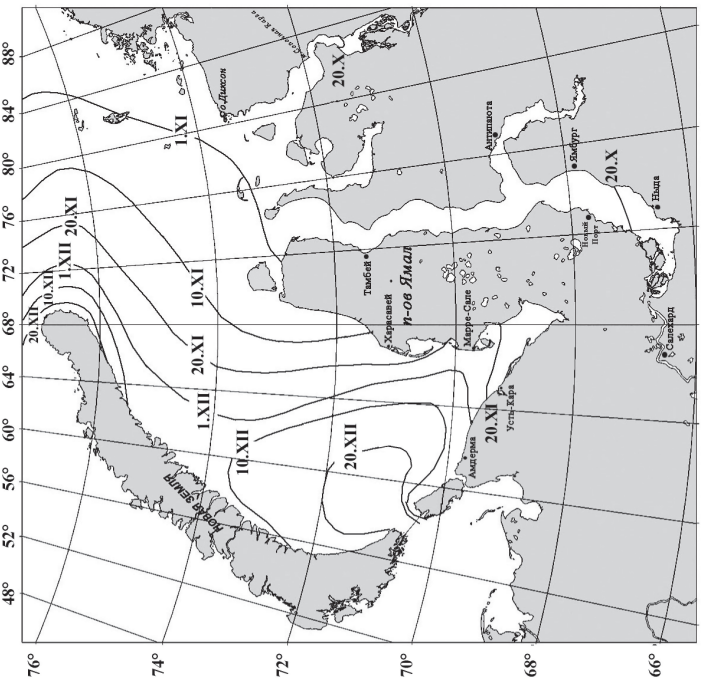


Рис. 1.43. Карта изохрон поздних сроков устойчивого ледообразования в юго-западной части Карского моря.

По данным сравнения табл. 1.15 и 1.16 еще более явные факты климатических изменений демонстрирует период, охватывающий первые 12 лет XXI века: даты ледообразования (по сравнению с многолетними средними значениями) сдвинулись в сторону более поздних сроков на 6–15 дней, а даты очищения моря ото льда – в сторону более ранних сроков в среднем на 5–14 дней. Продолжительность ледового периода сократилась в среднем на 2–4 недели.

1.5. Нарастание и распространение льда в юго-западной части Карского моря

На рис. 1.44 (а–п) приведены карты положения кромок дрейфующего льда в середине каждого месяца года.

Для умеренных и мягких зим характерна такая ситуация в октябре (рис. 1.44а), когда кромка льда располагается в районе между о. Белый и о. Вилькицкого.

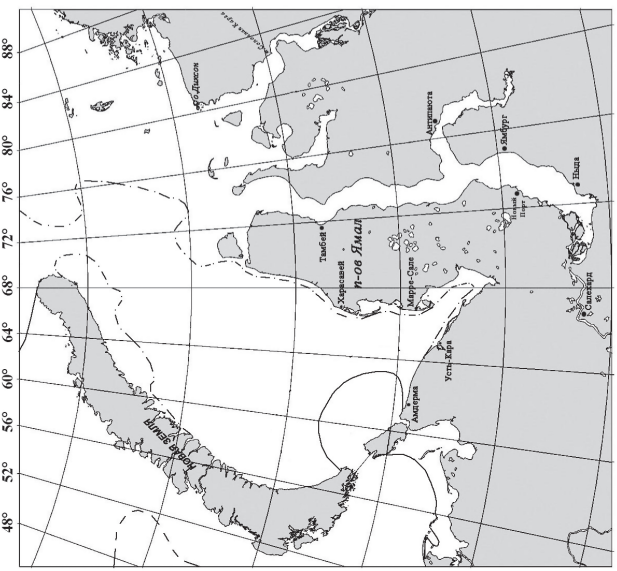
В ноябре, как правило, большая часть Карского моря покрывается льдом. Однако в отдельные годы в это время значительная часть юго-западного района моря может быть свободной ото льда (рис. 1.44б).

В середине декабря (рис 1.44в) обычно все море покрыто льдом, однако в очень мягкие зимы может оставаться свободным ото льда участок трассы от Карских Ворот до подходов к западному побережью полуострова Ямал. В январе–апреле в соответствии с рис. 1.44 (г–е), как правило, лед наблюдается на всей акватории моря и лишь в очень редких случаях в районе восточных подходов к проливу Карские Ворота может формироваться зона чистой воды.

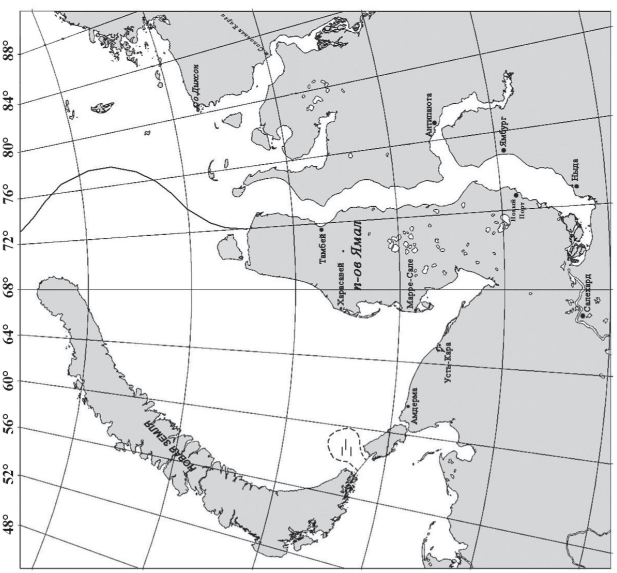
В связи с таянием льда ледовитость юго-западной части моря обычно начинает уменьшаться в конце июня с центральной части пролива Карские Ворота. В экстремально ранние сроки процесс уменьшения ледовитости моря начинается в мае, а в экстремально поздние – в августе [3, 4].

На рис. 1.45 (а–л) приведены карты повторяемости наличия льда в середине октября–декабря и апреля–сентября, полученные по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века. На рис. 1.46 (а–л) – карты повторяемости наличия льда в середине октября–декабря и апреля–сентября, полученные по данным ИСЗ за первые 12 лет XXI века.

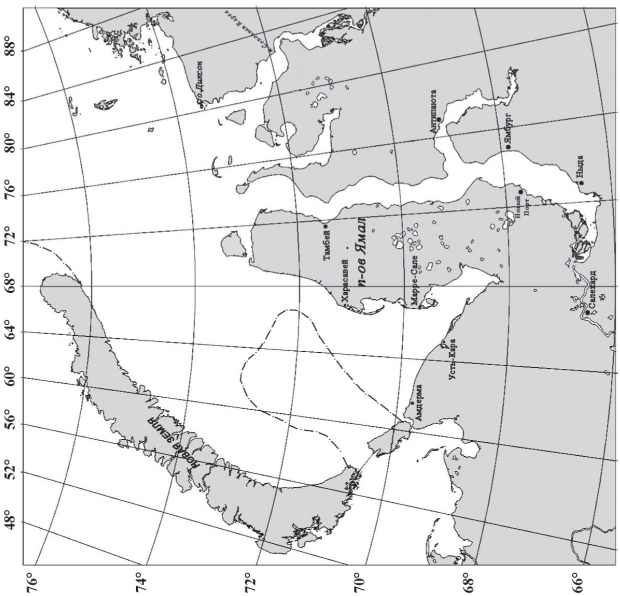
Для января–марта второй половины XX века карты повторяемости наличия льда не строились, поскольку в эти месяцы все море было покрыто льдом. Однако в начале XXI века ситуация изменилась. Так, в январе 2009 г., а также в феврале и марте 2012 г. на юго-западе Карского моря наблюдались пространства чистой воды, что и нашло свое отражение в картах повторяемости наличия льда в середине января, февраля и марта, полученных по данным ИСЗ за первые 12 лет XXI века. Эти карты приведены на рис. 1.47 (а–в).



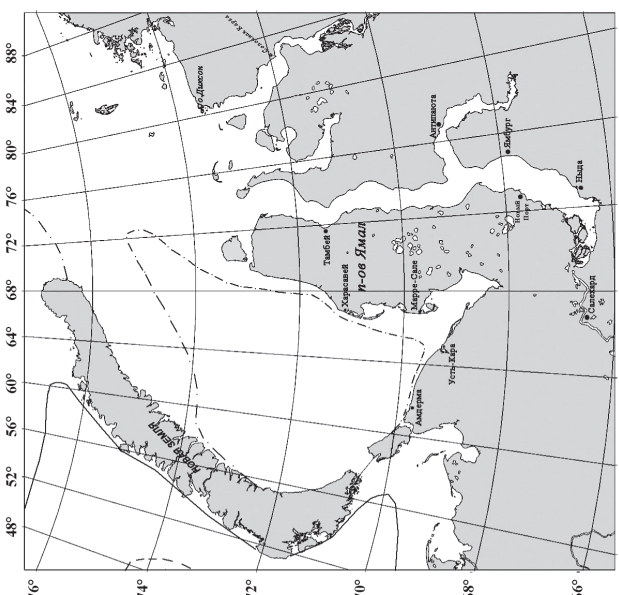
1.44б (ноябрь)



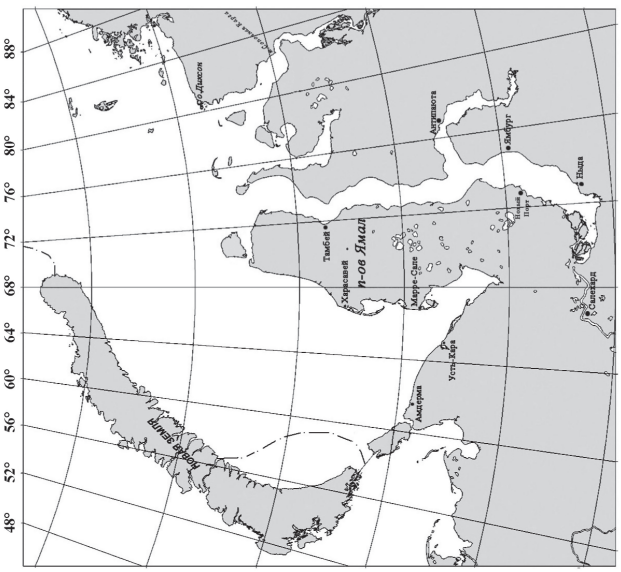
1.44а (октябрь)



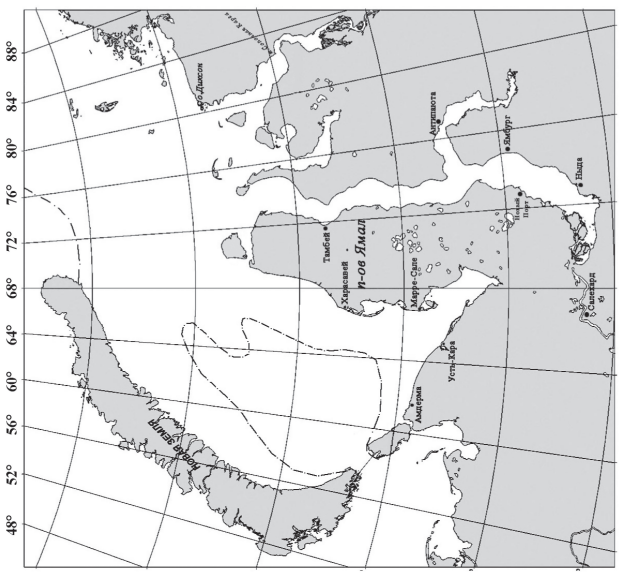
1.44г (январь)



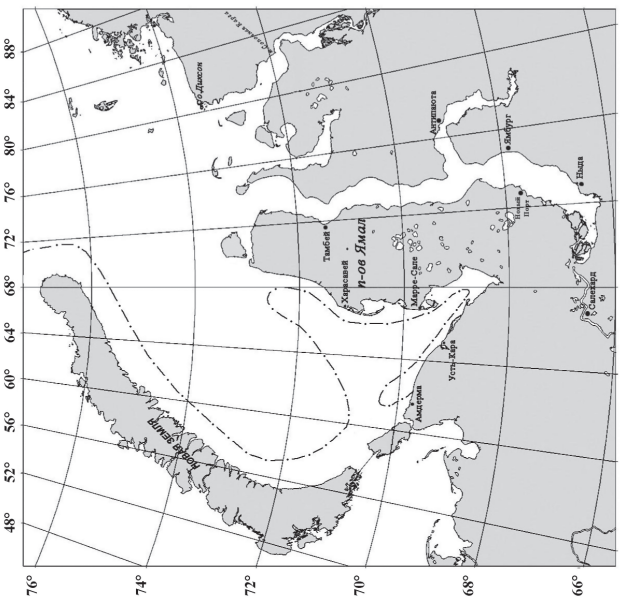
1.44в (декабрь)



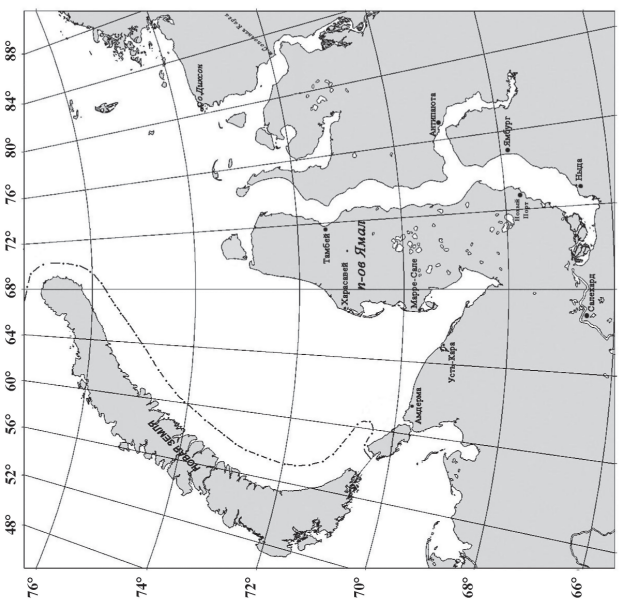
1.44е (март)



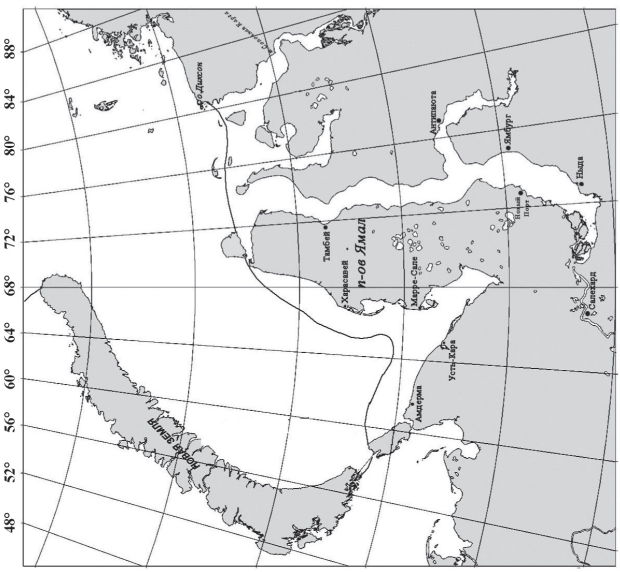
1.44д (февраль)



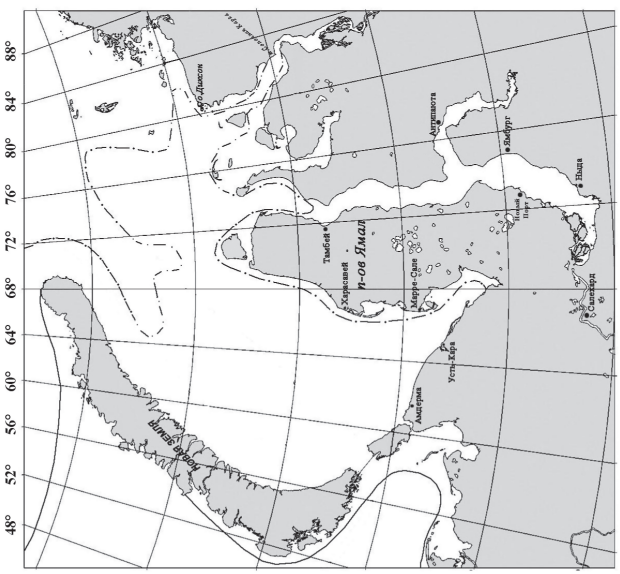
1.44к (май)



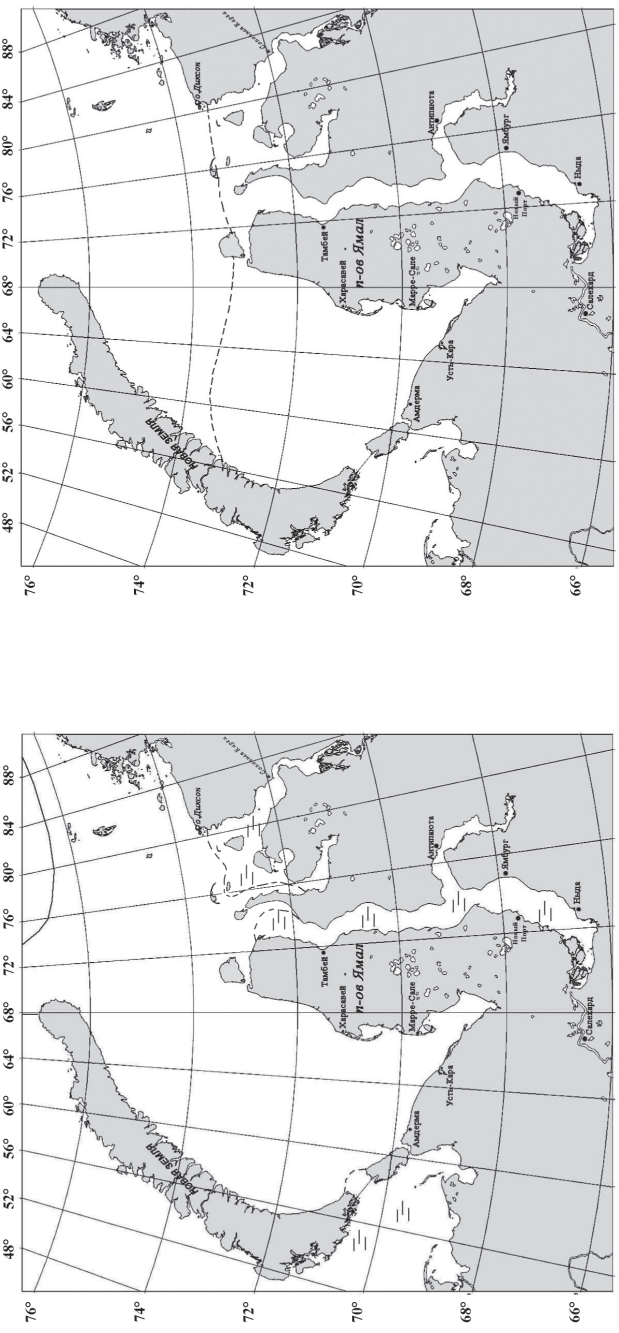
1.44ж (апрель)



1.44м (июль)

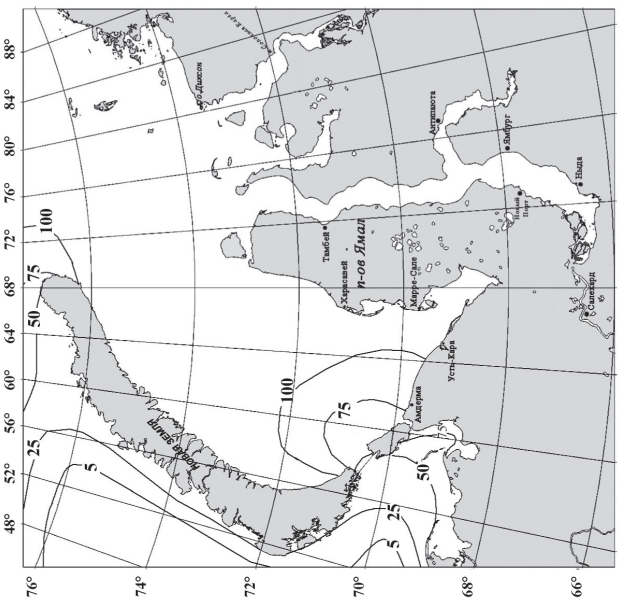


1.44л (июнь)

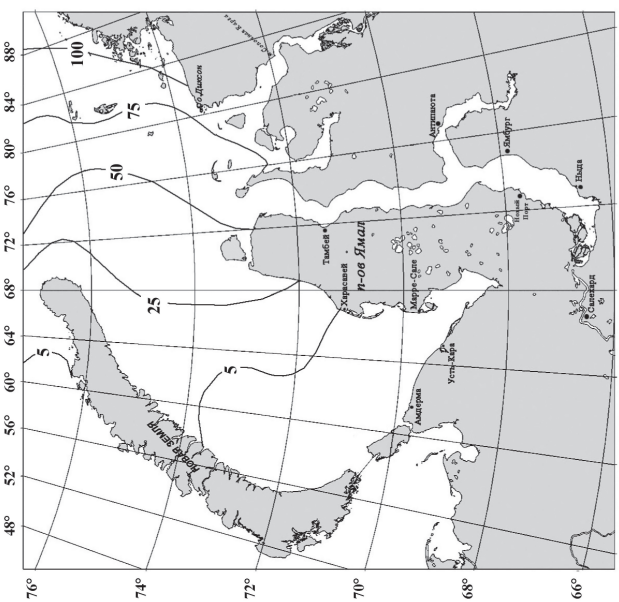


1.44н (август) 1.44п (сентябрь)

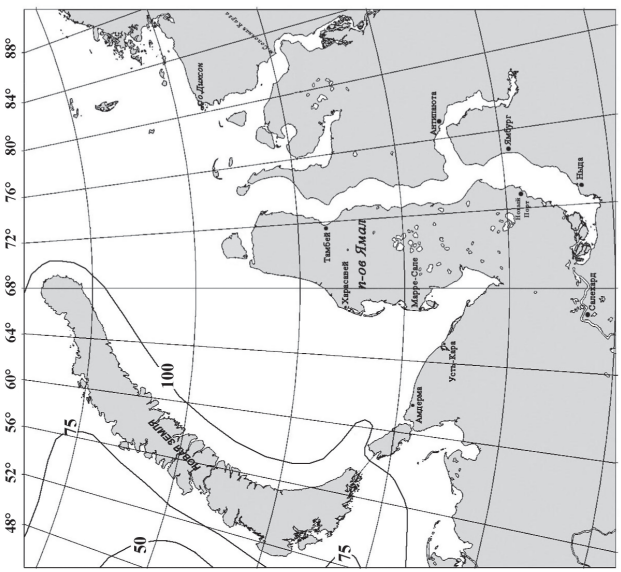
Рис. 1.44. Положение границ льда на юго-западе Карского моря на середину месяца:
———— среднее; – – – – максимальное; – · – · – минимальное.



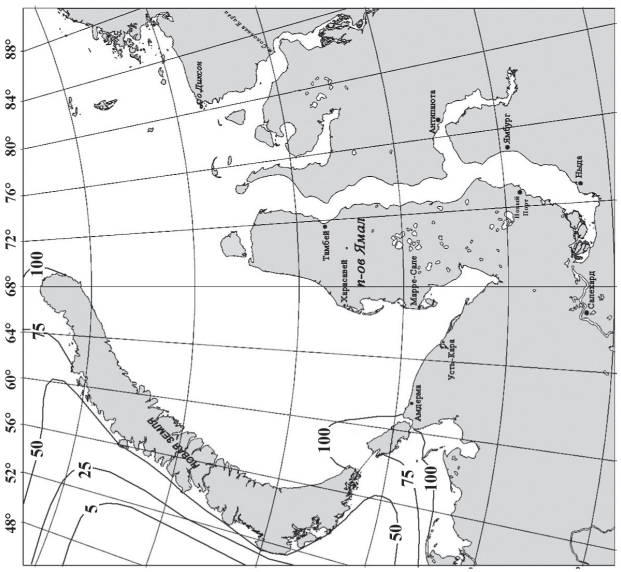
1.45б (ноябрь)



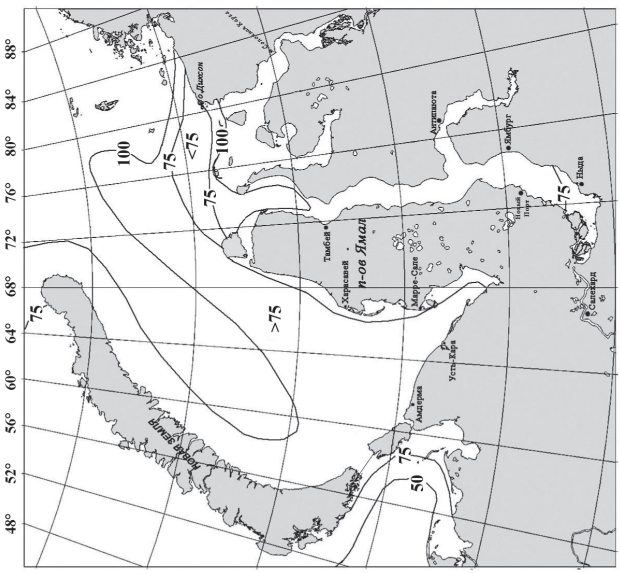
1.45а (октябрь)



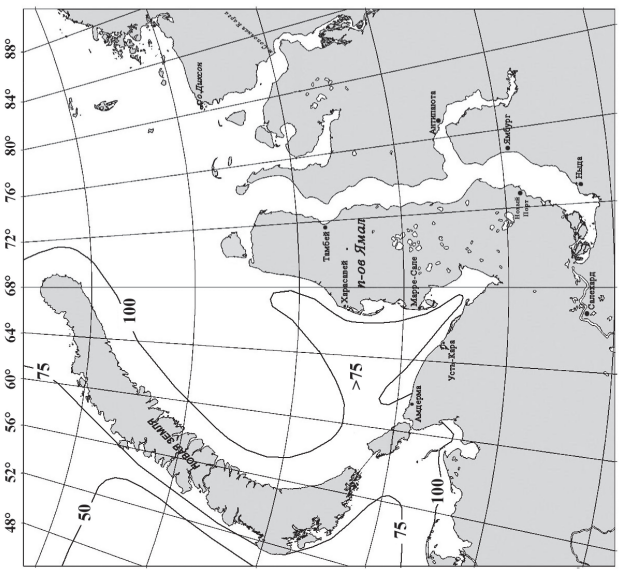
1.45г (апрель)



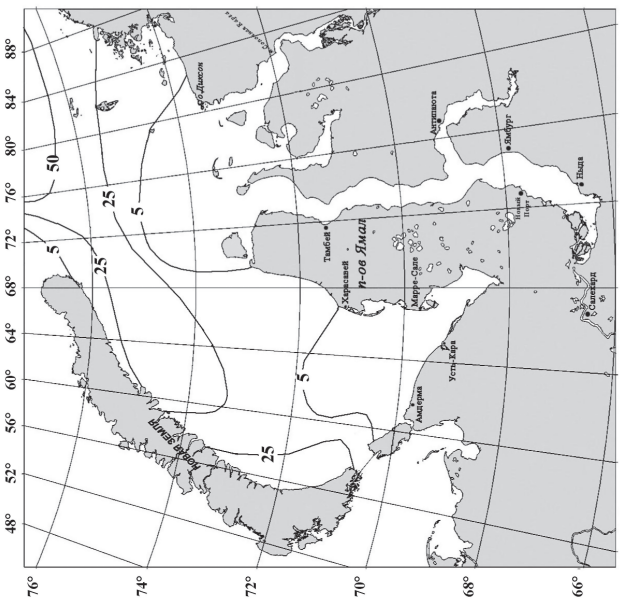
1.45в (декабрь)



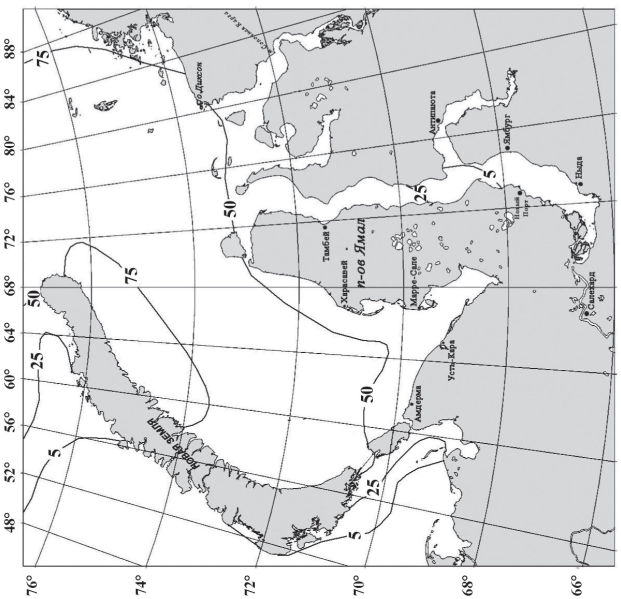
1.45е (июнь)



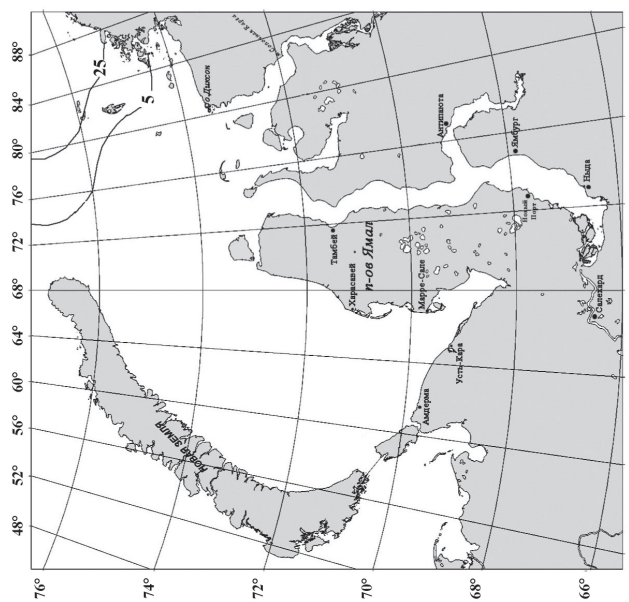
1.45д (май)



1.45к (август)

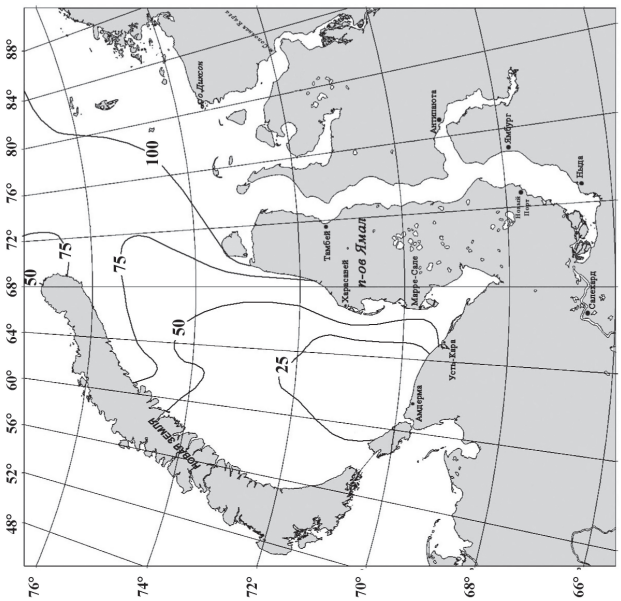


1.45ж (июль)

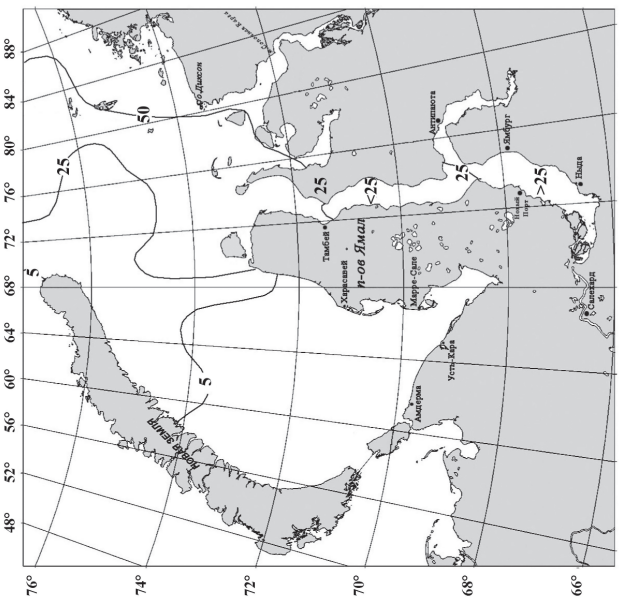


1.45л (сентябрь)

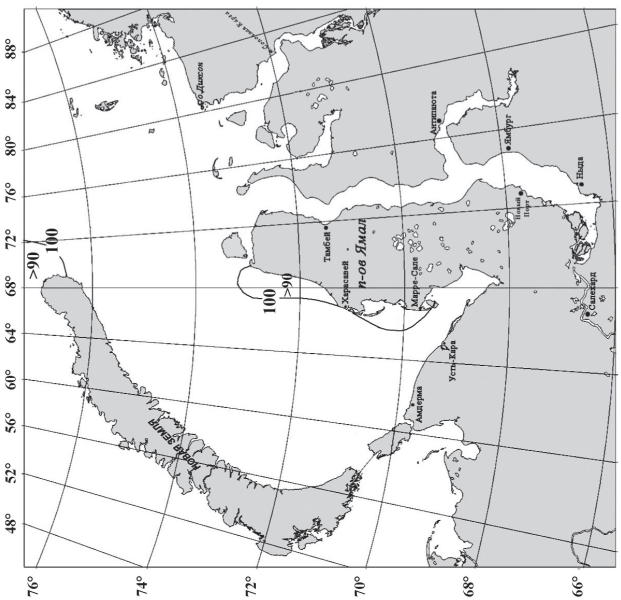
Рис. 1.45. Повторяемость наличия льда в юго-западной части Карского моря на середину месяца, рассчитанная по данным ледовых авиаразведок за 50—80-е гг. XX века (%).



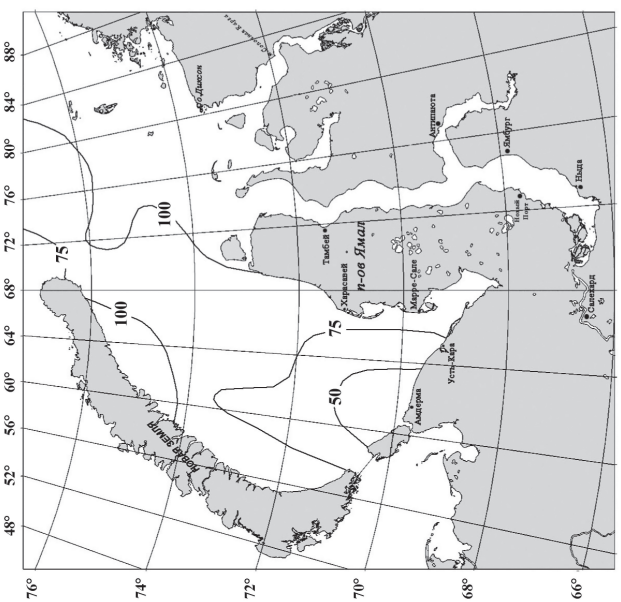
1.46б (ноябрь)



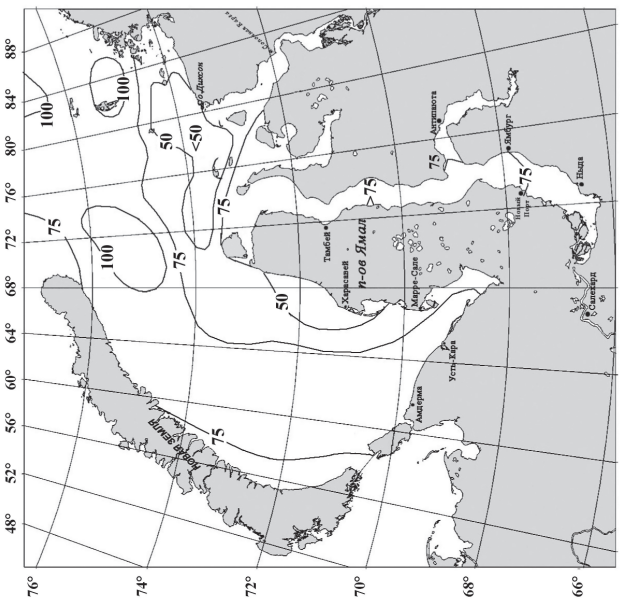
1.46а (октябрь)



1.46г (апрель)

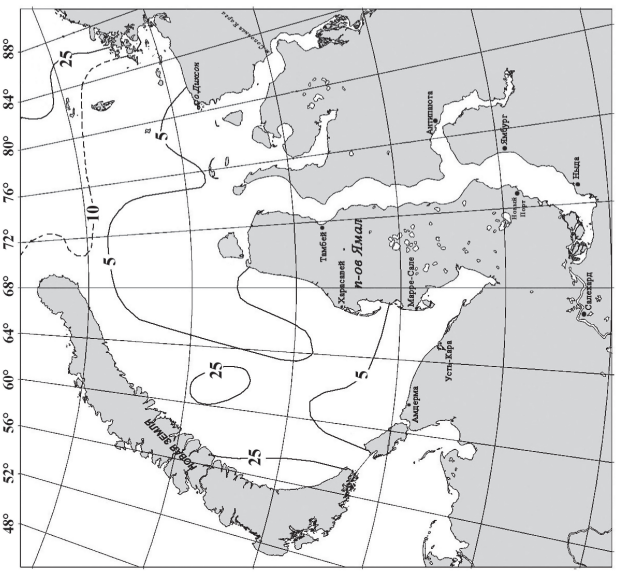


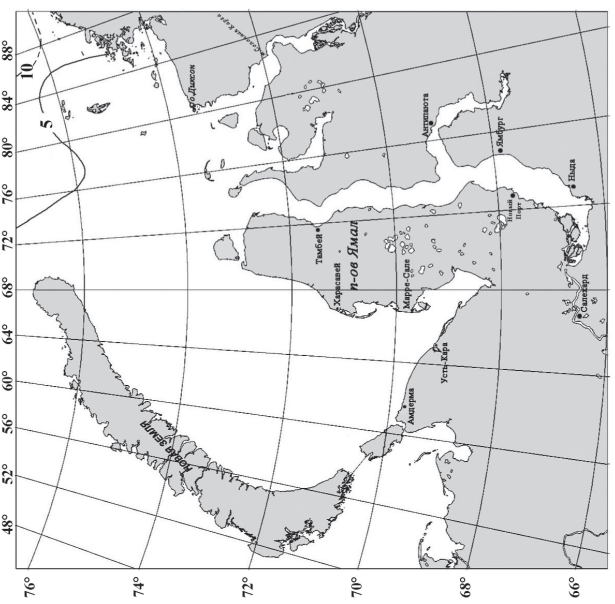
1.46в (декабрь)



1.46е (июнь)

1.46д (май)


п-ов Ямал
Белое море
Карское море
Диксон
Тамбей
Харасавей
Марре-Сале
Усть-Кара
Амдерма
Архангельск
Салехард
Нарьян-Мар
Ижма
Ухта
Воркута
Инта
Печора
Усинск
Ижма
Сосногорск
Ухта
Княжпогост
Сыктывкар

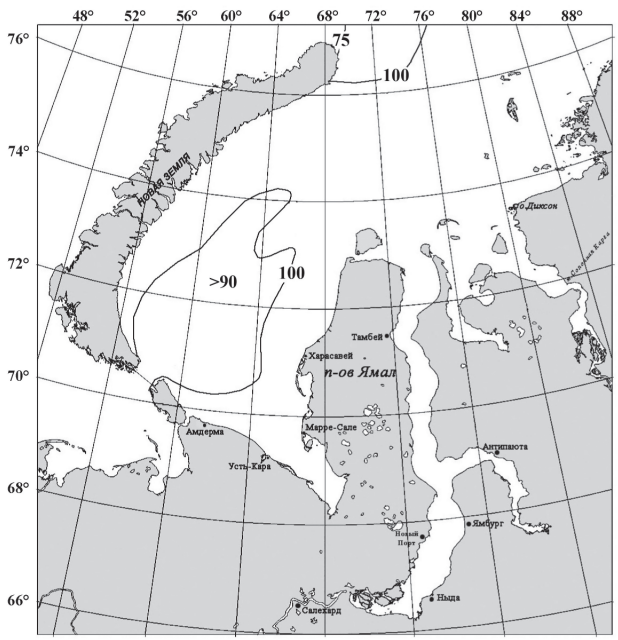


1.46л (сентябрь)

Рис. 1.46. Повторяемость наличия льда в юго-западной части Карского моря на середину месяца, рассчитанная по данным ИСЗ за первые 12 лет XXI века (%).



1.47а (январь)



1.47б (февраль)



1.47в (март)

Рис. 1.47. Повторяемость наличия льда в юго-западной части Карского моря в январе–марте, рассчитанная по данным ИСЗ за первые 12 лет XXI века (%).

Сопоставление рис. 1.45–1.47 показывает, что за первые 12 лет XXI века в оценке повторяемости присутствия льда произошли существенные изменения, по сравнению со второй половиной XX века, а именно:

– в октябре-ноябре повторяемость наличия льда на всей акватории юго-западной части Карского моря уменьшилась в среднем на 20–25 %;

– в декабре в район прежнего расположения изолинии повторяемости 100 % сместилась изолиния 50 %;

– в январе–марте в XXI веке зафиксирована повторяемость 5–8 %наличия зон чистой воды на крайнем юго-западе моря, которые полностью отсутствовали прежде;

– в мае зафиксирована повторяемость 5–8 % наличия зон чистой воды в середине месяца в районе Обь-Енисейской полыньи, в прежние годы покрывавшейся в это время года молодым льдом, а повторяемость наличия зон чистой воды в Байдарацкой губе увеличилась с 50 до 75 %;

– в июле в зоне разделения Новоземельского и Североземельского массивов (по линии о. Диксон – м. Желания) повторяемость наличия льда уменьшилась с 50–60 до 20–30 %;

– в августе изолиния повторяемости 25 % (с такой повторяемостью во второй половине XX века лед наблюдался в центральном районе юго-западной части Карского моря) сдвинулась на северо-восток примерно на 500 км;

– в сентябре повторяемость наличия льда в юго-западной части Карского моря в последние годы оказалась равной нулю, в то время как в прежние годы остаточный лед в это время года все-таки наблюдался, хотя и с повторяемостью менее 5 %.

На рис. 1.48 (а–в) приведены карты повторяемости наличия зон наиболее труднопроходимого для судов льда сплоченностью 7–10 баллов в середине июля, августа и сентября, полученные по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века. На рис. 1.49 (а–в) приведены аналогичные карты, полученные по данным ИСЗ за первые 12 лет XXI века.

Сопоставление рис. 1.48 и 1.49 позволяет выявить следующие изменения, произошедшие за первые 12 лет XXI века, в оценке повторяемости присутствия сплоченного льда:

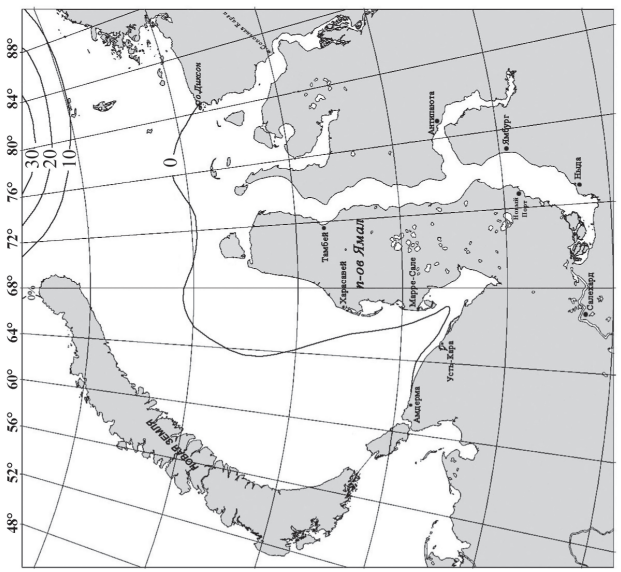
– в июле значительно более активно происходит обособление Новоземельского ледяного массива: в зоне разрыва между Новоземельским и Североземельским массивами (по линии о. Диксон – м. Желания) повторяемость наличия сплоченного льда составляет 10–30 % против 40–50 % в прошлые годы;

– в августе площадь зон, для которых повторяемость наличия сплоченного льда составляет 0 %, значительно увеличилась.

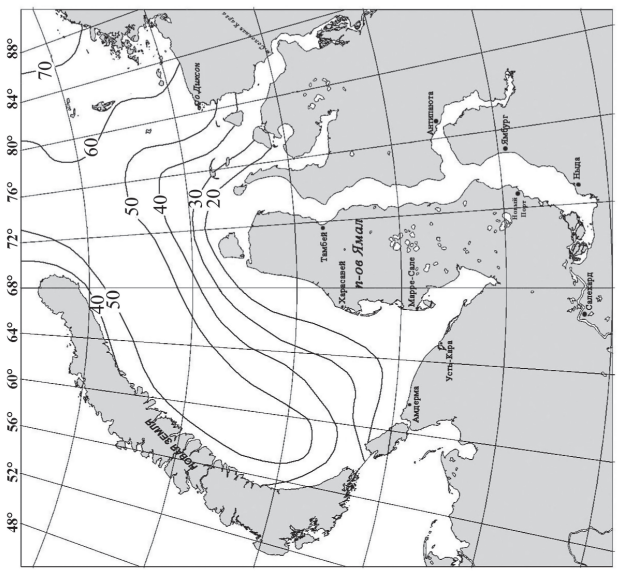
Во второй половине XX века повторяемость наличия льда на трассе пролив Карские Ворота – Енисейский залив в октябре составляла 50–75 %, в ноябре–июне – 100 %. К середине июля повторяемость наличия льда на трассе уменьшалась до 50 %. При этом повторяемость наличия льда сплоченностью 7–10 баллов на западном участке трассы (пролив Карские Ворота – о. Белый) составляла 20–30 %, а на восточном участке (о. Белый – о. Диксон) – 20–50 %. В августе-сентябре повторяемость присутствия дрейфующего льда на трассе пролив Карские Ворота – о. Диксон была минимальной, и в большинстве случаев в эти месяцы складывались благоприятные условия для безледокольного плавания.

В первые 12 лет XXI века ледовые условия на трассе были более легкими. В середине октября повторяемость присутствия льда на трассе составляла 25–50 %, а во второй половине июля – 25–30 %. В середине июля повторяемость наличия зон льда сплоченностью 7–10 баллов на всех участках трассы составляла 10–20 %. В августе-сентябре трасса была свободна ото льда. Период безледокольного плавания по трассе пролив Карские Ворота – о. Белый увеличился в среднем на 2–3 недели.

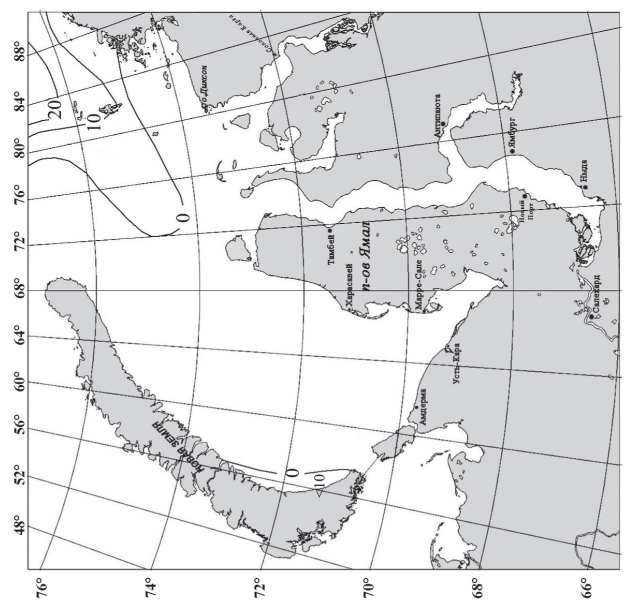
В табл. 1.17 приведена толщина припайного льда по данным морских ГМС Карского моря за полные периоды наблюдений (34–89 лет) и за последний 30-летний период. В табл. 1.18 приведена средняя и максимальная толщина льда для первых 12 лет XXI века.



1.48б (август)

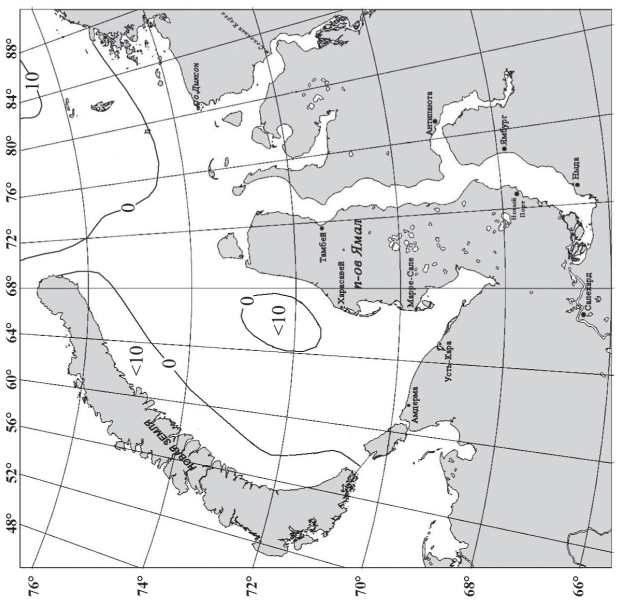


1.48а (июль)

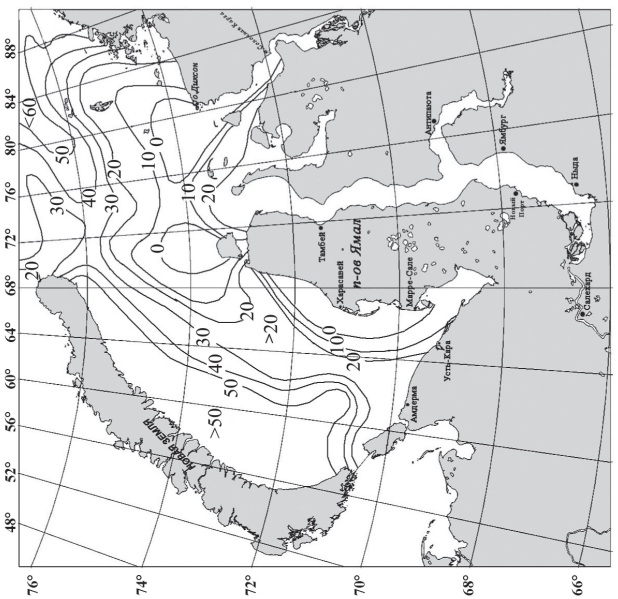


1.48в (сентябрь)

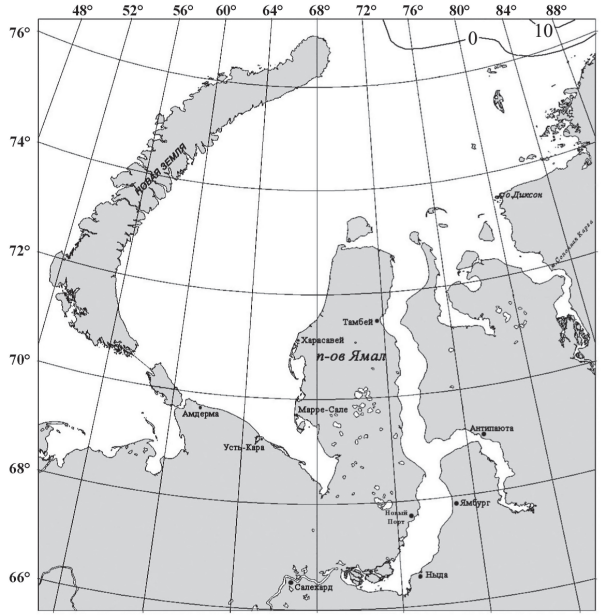
Рис. 1.48. Повторяемость наличия зон льда сплоченностью 7–10 баллов в юго-западной части Карского моря, рассчитанная по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века (%).



1.49б (август)



1.49а (июль)



1.49в (сентябрь)

Рис. 1.49. Повторяемость наличия зон льда сплоченностью 7–10 баллов в юго-западной части Карского моря, рассчитанная по данным ИСЗ за первые 12 лет XXI века (%).

Таблица 1.17

Толщина припайного льда в юго-западной части Карского моря (см)

Месяц	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
АМДЕРМА (с сезона 1939/1940 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 73 года)																								
Средняя	0	0	32	40	46	48	53	59	68	74	82	87	95	99	104	107	112	112	114	116	111	109	0	0
Макс.	15	43	67	80	90	99	111	110	115	125	133	150	152	158	160	160	160	162	178	178	172	172	165	150
Мин.	0	0	6	10	14	14	14	15	20	21	30	30	35	40	37	37	37	26	26	25	25	40	0	0
СКО	–	–	16	17	19	21	21	22	24	24	25	28	27	27	27	28	27	30	31	29	31	29	–	–
АМДЕРМА (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																								
Средняя	0	0	23	33	42	50	53	58	65	72	80	85	92	95	97	101	105	108	112	115	110	106	0	0
Макс.	15	21	39	58	65	74	92	106	112	115	119	127	134	143	153	154	154	156	158	158	150	148	145	123
Мин.	0	0	7	16	21	9	12	16	20	21	31	24	39	40	40	48	52	54	55	57	57	60	0	0
СКО	–	–	12	15	14	19	18	20	21	22	24	28	27	27	29	30	29	29	29	25	28	30	–	–
УСТЬ-КАРА (с сезона 1934/1935 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 78 года)																								
Средняя	26	31	40	48	56	64	71	79	85	92	97	102	106	110	114	117	120	122	123	123	120	114	104	0
Макс.	44	65	72	82	92	103	103	107	115	122	128	136	140	149	156	159	161	162	164	169	166	168	161	112
Мин.	10	9	8	5	21	34	33	49	49	58	64	75	75	80	85	87	91	95	92	92	75	58	25	0
СКО	9	11	13	13	13	13	14	14	14	13	13	12	12	13	13	14	15	15	16	16	17	21	25	–
УСТЬ-КАРА (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																								
Средняя	24	30	37	47	55	64	73	83	90	96	103	107	111	114	117	119	121	123	124	124	121	119	114	0
Макс.	41	47	56	65	77	85	94	98	109	113	118	121	125	128	131	135	139	140	142	143	142	143	133	0
Мин.	13	9	8	25	21	34	47	55	66	68	78	85	92	93	95	95	95	95	100	102	96	87	83	0
СКО	9	10	12	11	13	12	13	11	11	11	9	8	8	10	10	11	11	13	12	14	14	16	14	–

Продолжение табл. 1.17

Месяц	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
МАРРЕ-САЛЕ (с сезона 1939/1940 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 73 года)																								
Средняя	25	35	45	53	62	71	77	85	92	98	105	111	116	121	126	131	134	136	139	140	138	129	112	87
Макс.	60	72	78	86	100	105	115	126	132	139	141	145	159	164	166	172	180	185	190	196	196	195	194	160
Мин.	8	10	15	16	15	19	19	40	50	53	61	67	70	73	73	84	89	94	98	103	98	53	42	28
СКО	12	14	15	16	18	17	19	18	19	19	18	17	18	18	19	19	19	18	19	18	19	25	30	32
МАРРЕ-САЛЕ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																								
Средняя	29	32	37	48	58	70	76	84	92	97	104	110	115	119	124	127	130	135	136	136	136	127	107	84
Макс.	58	62	67	74	87	97	105	126	132	139	141	144	146	148	157	160	167	172	175	173	168	160	150	134
Мин.	12	16	15	16	25	38	25	44	50	53	61	67	70	73	73	84	90	94	100	104	98	78	63	56
СКО	15	13	13	16	17	15	20	10	22	22	21	19	19	19	20	18	19	18	18	17	17	20	25	30
ХАРАСАВЕЙ (с сезона 1963/1964 гг. по сезон 1996/1997 гг. – 34 года)																								
Средняя	26	33	39	51	61	70	80	90	99	106	111	116	121	126	130	133	136	138	140	141	141	139	134	115
Макс.	58	70	88	90	105	110	107	120	129	139	142	146	147	150	158	164	169	174	176	180	183	185	184	137
Мин.	8	10	13	14	31	41	55	62	72	75	84	90	92	97	100	105	107	110	112	113	114	114	94	91
СКО	13	13	15	17	17	16	14	14	15	14	13	13	13	12	12	12	13	13	13	14	15	16	21	14
ХАРАСАВЕЙ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 1996/1997 гг. – 15 лет)																								
Средняя	21	29	33	43	54	65	78	88	100	108	113	119	124	128	131	135	137	139	140	140	139	132	123	114
Макс.	37	54	64	74	80	92	103	113	129	139	142	146	147	149	151	153	156	157	158	158	157	156	153	133
Мин.	8	16	13	14	31	41	55	62	72	75	84	90	92	97	100	105	107	110	112	113	114	114	94	101
СКО	12	13	14	15	15	16	16	16	17	18	16	15	15	13	12	11	12	11	11	12	12	13	19	13

Продолжение табл. 1.17

Месяц	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
о. БЕЛЫЙ (с сезона 1933/1934 гг. сезон 2011/2012 гг. – 79 лет)																								
Средняя	28	37	46	55	65	74	83	91	99	105	111	116	120	125	130	133	136	140	142	144	146	146	143	132
Макс.	53	61	70	80	93	112	121	126	135	142	149	155	158	164	171	178	186	191	195	197	198	198	190	190
Мин.	9	3	19	21	35	50	50	51	62	63	65	70	69	81	84	85	90	99	106	106	106	100	96	69
СКО	12	11	12	12	12	13	16	17	17	16	17	16	17	17	19	19	19	18	18	19	18	19	22	28
о. БЕЛЫЙ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																								
Средняя	23	32	42	53	63	73	85	93	101	106	111	116	121	124	128	131	134	140	142	144	146	146	139	123
Макс.	40	51	64	80	93	112	119	121	131	138	142	148	150	151	156	159	163	169	172	173	175	176	176	175
Мин.	12	3	20	30	42	50	55	59	62	68	70	78	80	82	85	88	90	95	100	106	106	110	96	69
СКО	8	12	11	11	13	15	17	18	19	18	17	17	17	18	19	19	19	16	16	16	15	16	22	35
ДИКСОН (с сезона 1923/1924 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 89 лет)																								
Средняя	40	50	59	67	76	84	93	100	107	114	120	125	130	136	142	146	150	152	155	157	158	156	146	121
Макс.	66	70	88	106	118	131	151	166	177	182	189	193	194	195	198	202	208	207	208	208	213	212	210	197
Мин.	15	25	36	44	51	52	60	60	65	74	76	80	84	86	98	100	99	99	95	94	93	85	54	30
СКО	10	10	11	13	13	15	17	18	18	18	18	18	19	19	19	19	21	21	20	21	21	24	28	33
ДИКСОН (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																								
Средняя	37	48	56	64	74	82	91	98	104	112	120	124	129	134	140	145	149	150	151	152	151	149	141	116
Макс.	55	67	80	84	94	105	111	130	140	152	163	174	175	187	196	202	208	186	187	183	183	179	176	158
Мин.	25	30	36	46	51	54	62	65	65	74	76	80	84	86	98	100	99	99	95	94	93	88	59	47
СКО	7	9	10	10	11	13	13	14	14	14	17	16	17	18	19	19	20	19	19	19	20	20	22	29

Продолжение табл. 1.17

Месяц	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
Декада	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**
СОПОЧНАЯ КАРГА (с сезона 1941/1942 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 71 год)																								
Средняя	43	54	67	77	89	98	107	115	123	131	136	142	148	152	156	160	164	167	169	169	169	167	158	0
Макс.	66	93	104	124	148	169	176	181	184	190	203	214	225	227	226	226	224	226	229	234	236	228	221	173
Мин.	12	25	34	44	50	56	60	71	80	83	85	92	100	104	108	110	115	118	121	120	80	106	96	0
СКО	14	15	17	19	20	21	21	21	22	23	23	24	25	25	24	24	24	23	23	24	27	27	28	–
СОПОЧНАЯ КАРГА (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																								
Средняя	40	49	60	71	81	91	99	108	115	121	127	132	137	141	146	150	153	155	157	156	157	154	136	0
Макс.	66	77	97	109	116	135	141	153	159	167	170	174	180	189	194	199	200	200	200	200	204	204	174	132
Мин.	15	25	34	44	50	56	60	71	80	85	90	95	100	104	108	110	115	118	121	120	120	106	96	0
СКО	14	15	17	18	19	19	19	19	18	18	18	17	17	18	18	18	18	18	18	19	20	24	19	–
ДУДИНКА (с сезона 1948/1949 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 64 года)																								
Средняя	27	38	46	55	64	73	81	89	95	103	107	111	116	120	124	127	130	133	134	136	123	0	0	0
Макс.	69	85	82	92	105	120	134	135	135	140	145	152	155	168	172	180	185	191	196	199	159	0	0	0
Мин.	8	12	19	26	29	35	45	55	60	68	70	74	76	80	89	85	96	91	91	102	101	0	0	0
СКО	15	16	15	16	16	17	16	16	16	17	17	18	20	20	21	22	21	21	21	22	17	–	–	–
ИГАРКА (с сезона 1963/1964 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 49 лет)																								
Средняя	24	31	37	44	51	58	64	69	73	78	81	84	87	89	91	93	95	96	100	99	92	0	0	0
Макс.	50	65	68	76	100	125	136	146	146	146	147	147	148	149	150	150	152	155	157	155	98	0	0	0
Мин.	8	9	11	23	28	30	32	36	39	45	50	56	59	53	55	55	60	68	70	70	70	0	0	0
СКО	11	11	12	11	13	15	15	15	15	16	15	15	15	16	17	18	18	17	17	20	10	–	–	–

Окончание табл. 1.17

Месяц	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
Декада	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**
ТАМБЕЙ (станция закрыта в 2009 году) (с сезона 1965/1966 гг. по сезон 2007/2008 гг. – 43 года)																								
Средняя	38	49	62	70	80	89	97	104	113	119	126	131	136	140	144	145	148	149	151	152	152	151	145	135
Макс.	71	79	97	113	129	131	133	137	145	161	178	193	210	220	226	233	237	240	243	246	246	243	236	219
Мин.	10	12	37	43	45	52	60	69	80	86	90	94	98	100	101	102	104	106	116	126	126	126	112	101
СКО	14	14	16	17	19	18	18	18	16	17	17	18	20	21	21	23	23	23	23	23	23	24	27	29
НОВЫЙ ПОРТ (с 1994) – м. КАМЕННЫЙ (до 1994) (с сезона 1950/1951 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 62 года)																								
Средняя	34	44	54	63	75	85	94	103	112	120	127	133	140	145	150	153	156	157	157	156	153	152	136	0
Макс.	59	73	93	109	127	135	153	156	164	183	193	202	210	210	210	210	211	211	218	223	235	235	185	0
Мин.	13	16	6	12	17	25	37	55	64	70	78	85	93	101	106	108	109	110	110	110	100	100	100	0
СКО	12	14	19	20	20	21	22	21	23	22	23	23	23	23	24	23	23	23	23	23	25	28	24	–
НОВЫЙ ПОРТ (с сезона 1994/1995 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 18 лет)																								
Средняя	25	33	38	47	55	64	70	79	88	98	105	111	119	125	130	134	137	139	140	138	131	124	0	0
Макс.	45	56	65	73	78	84	95	105	110	116	124	131	139	145	150	155	162	166	168	168	156	144	0	0
Мин.	13	16	7	12	17	25	37	55	64	70	78	85	93	101	106	108	109	112	112	112	100	115	0	0
СКО	7	10	14	15	16	16	15	13	12	12	12	12	12	13	13	14	15	14	15	14	16	12	–	–

Таблица 1.18

Средняя и максимальная толщина припайного льда в юго-западной части Карского моря на момент наибольшего развития ледяного покрова в мае для всего периода наблюдений и для первых 12 лет XXI века (см)

ГМС	Средняя толщина льда за весь период наблюдений	Максимальная толщина льда за весь период наблюдений	Средняя толщина льда за 12 лет XXI века	Максимальная толщина льда за 12 лет XXI века
Амдерма	116	178	112	140
Марре-Сале	140	196	135	167
о. Белый	146	198	140	154
о. Диксон	157	213	140	171
Сопочная Карга	169	236	146	160
Новый Порт	168	235	140	168

Лед в Карском море достигает своей наибольшей толщины в апреле-мае. Для припайного льда на крайнем юго-западе моря характерны следующие значения толщины льда в середине мая: в районе Амдермы средняя толщина льда 116 см (наименьшая толщина – 25 см в мягкую зиму 1944/1945 гг., наибольшая – 178 см в суровую зиму 1968/1969 гг.); в Усть-Каре средняя толщина льда 123 см (наименьшая толщина – 92 см в зиму 1947/1948 гг., наибольшая – 169 см в суровую зиму 1965/1966 гг.); в Марре-Сале средняя толщина льда 140 см (наименьшая толщина – 103 см в зиму 1937/1938 гг., наибольшая – 196 см в суровую зиму 1978/1979 гг.).

Максимальная за ледовый период толщина припайного льда в районе о. Белый в конце мая составляет в среднем 146 см (наименьшая толщина 106 см в мягкие зимы 1944/1945 и 2011/2012 гг., наибольшая – 198 см в суровую зиму 1978/1979 гг.). Максимальных значений толщина льда в Обской губе достигает в первой – третьей декадах мая. В среднем это 150–157 см (по данным станций Новый Порт и м. Каменный максимальное значение в самую суровую зиму 1968/1969 гг. – 235 см, минимальное в мягкую зиму 1967/1968 гг. – 110 см).

Анализ табл. 1.17 и 1.18 показывает:

– за последнее 30-летие средние толщины льда вдоль морского побережья уменьшились на 1–4 см, а максимальные – на 20–25 см, в Обской губе и Енисейском заливе средние значения уменьшились на 12–18 см, максимальные – на 30–60 см;

– за первые 12 лет XXI века средние толщины вдоль морского побережья уменьшились на 4–7 см, а максимальные – на 30–45 см, в Обской губе и Енисейском заливе средние значения уменьшились на 20–28 см, максимальные – на 65–75 см.

На рис. 1.50 приведено положение границы припая на момент его максимального развития (в марте–мае). Припай в юго-западной части Карского моря занимает в среднем 10 % площади акватории (для сравнения: в северо-восточной

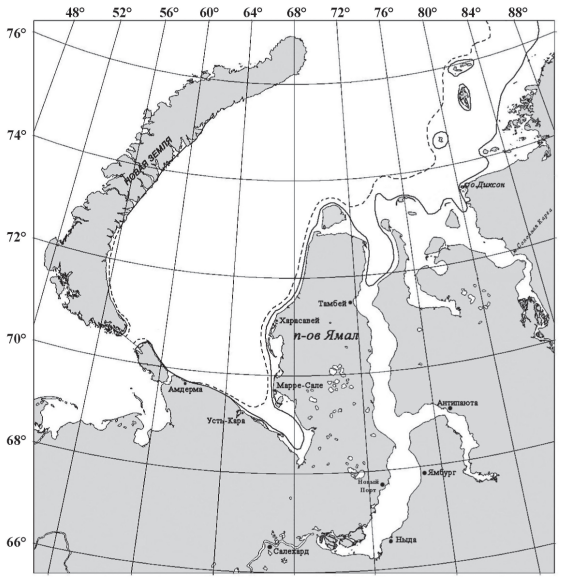


Рис. 1.50. Среднее (сплошная линия) и максимальное (пунктирная линия) распространение припая в юго-западной части Карского моря на момент его максимального развития.

части моря – в среднем 23 %). Наибольшая изменчивость положения кромки припая наблюдается в вершине Байдарацкой губы и к северу от устьев Обской губы и Енисейского залива.

В умеренные и мягкие зимы положение кромки на юго-западе моря, как правило, близко к положению 10-метровой изобаты, в суровые – приближается к 20-метровой изобате (положение 20-метровой изобаты показано на рис. 1.58). Справедливости ради следует отметить, что повышенная площадь припая может наблюдаться и в умеренные зимы при маловетреной погоде. В частности, наибольшее распространение льда к северу от о. Диксон наблюдалось с середины апреля по середину мая в умеренную зиму 2004 года. За 30-летний период наблюдений с ледового периода 1979/1980 гг. по 2008/2009 гг., по данным [61], именно в апреле 2004 года зафиксирована самая большая ледовитость для юго-западной части Карского моря – 51,2 тыс. км^2 (при среднем значении 36,6 тыс. км^2). Минимальная площадь припая в апреле наблюдалась в 1995 году и составляла 14,6 тыс. км^2.

Из табл. 1.9–1.11 следует, что в период максимального развития ледяного покрова (март–май) на ледовых трассах юго-западной части Карского моря в мягкие зимы преобладает тонкий однолетний лед, в умеренные – средний и тонкий однолетний лед. В суровые зимы на пути следования ледоколов и караванов судов возможна встреча зон с преобладанием толстого однолетнего льда толщиной до 140–150 см, в экстремально суровые зимы – зон с преобладанием толстого однолетнего льда толщиной до 150–160 см.

На участке трассы м. Харасавей – о. Белый – о. Диксон лед, как правило, более тонкий, чем на других участках, поскольку данный маршрут пролегает в районах Ямальской и Обь-Енисейской полыней. На рис. 1.51 показана ледовая обстановка в мае 2009 г. – в период максимального развития ледяного покрова на юго-западе Карского моря. На снимке с ИСЗ хорошо просматривается зона более тонкого льда на участке трассы м. Харасавей – о. Белый – о. Диксон, положение кромки припайного льда, все основные полыньи юго-западной части Карского моря (Северная и Южная Новоземельские, а также Амдерминская полынья в стадии закрытия, Ямальская и Обь-Енисейская полыньи – в стадии развития). Хорошо видна текстура дрейфующего льда, представленная в это время ледового периода в основном большими полями и обломками ледяных полей.

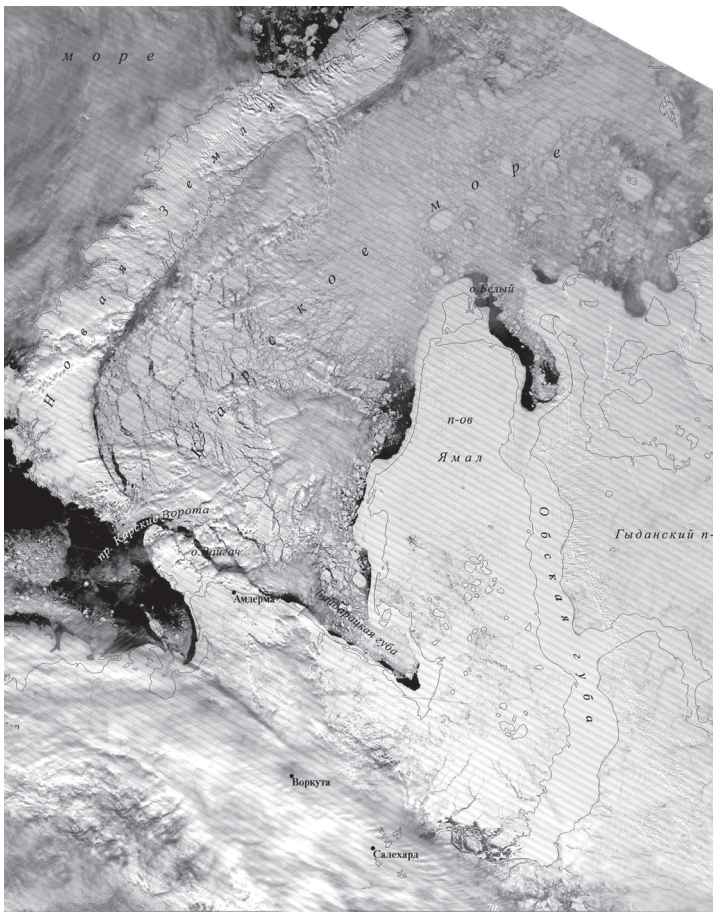
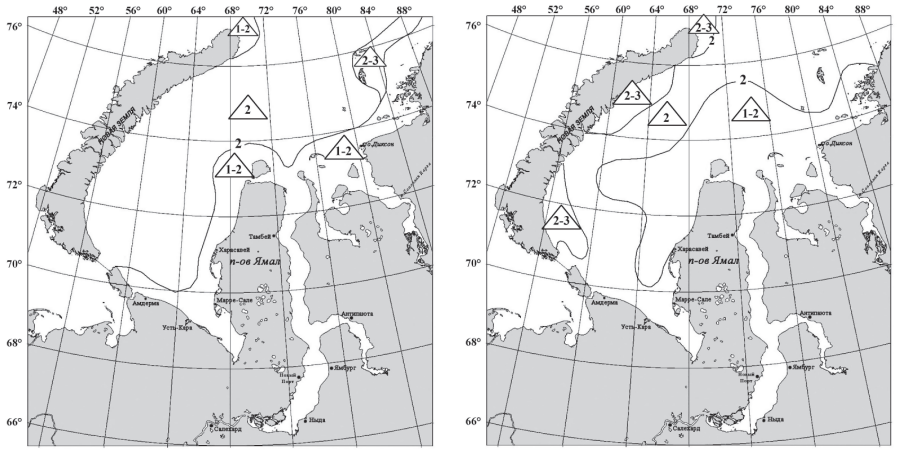


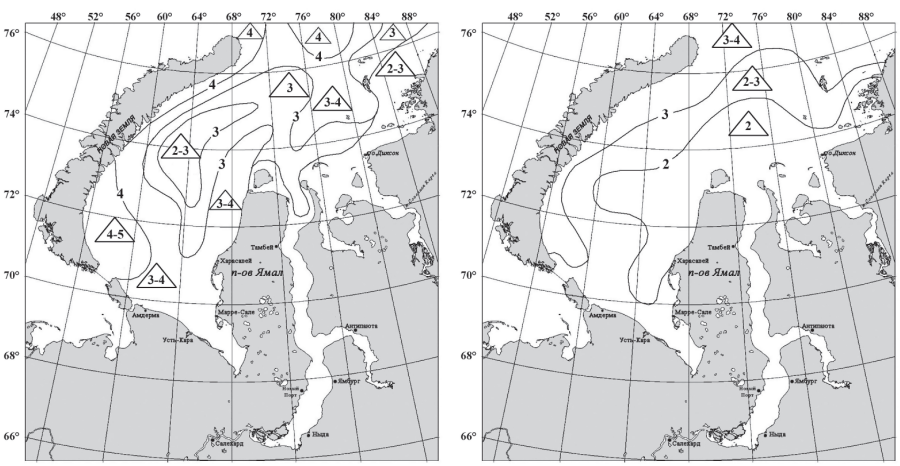
Рис. 1.51. Ледовая обстановка на юго-западе Карского моря в мае 2009 г. Снимок с ИСЗ TERRA (MODIS).

Снимок с ИСЗ не позволяет определить степень торосистости льда. Эта характеристика наиболее полно изучена в период проведения регулярных авиационных ледовых разведок. На рис. 1.52 (а, б) и 1.53 (а, б) приведены карты средней и максимальной степени торосистости в феврале и августе по данным [15].



а) б)

Рис. 1.52. Распределение средней степени торосистости в юго-западной части Карского моря в феврале (а) и августе (б).



а) б)

Рис. 1.53. Распределение максимальной степени торосистости в юго-западной части Карского моря в феврале (а) и августе (б).

Для большей части припая на юго-западе Карского моря характерна степень торосистости 1–2 балла (55 % площади припая), 38 % площади припая имеют характерную торосистость 0–1 балл и только 7 % припая – 2–3 балла. Зоной повышенной торосистости является узкий припай вдоль юго-западного побережья моря (на участке от о-ва Вайгач до Усть-Кары), припай в вершине Байдарацкой губы, а также припай вдоль восточного и северного побережий архипелага Новая Земля [66].

В соответствии с рис. 1.52 средняя степень торосистости 2 балла характерна для дрейфующего льда юго-западной части Карского моря как в феврале, так и в августе. Максимальная торосистость дрейфующего льда (см. рис. 1.53), наблюдаемая в годы усиления динамической активности, составляет для февраля: на восточных подходах к пролив Карские Ворота – 4–5 баллов; у северной оконечности Новой Земли – 4 балла; в районе о. Свердрупа, а также в Байдарацкой губе и на северных подходах к ней – 3–4 балла; в остальных районах юго-западной части Карского моря – 3 балла.

1.6. Очищение ото льда юго-западной части Карского моря

В юго-западной части Карского моря ледяной покров осеннего и зимнего образования обычно вытаивает каждый год. Очищение юго-западной части Карского моря ото льдов происходит в среднем в августе (раннее очищение – в июле, позднее – в сентябре). В некоторые годы остается небольшое количество льдов до начала нового ледообразования, при этом остаточные льды занимают менее 10 % площади моря.

Сроки очищения моря ото льда зависят, помимо суровости зимы и наступления дат перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С, от развития заприпайных полыней, поступления теплых баренцевоморских и речных вод.

В начале мая ледяной покров подвергается усиленному дроблению, что приводит к появлению открытой воды среди льдов и разрежений льдов до 9 баллов. В течение мая разрежение льдов продолжается, появляются зоны со сплоченностью 7–8 баллов. В конце мая на западе района и в начале июня на востоке в связи с увеличением поступления солнечной радиации и повышением температуры воздуха активизируются процессы дробления, таяния и разрежения сплошных льдов. Появляются снежницы на льду сначала в виде пятен пропитанного водой снега, а позже – в виде скоплений на льду талой воды.

Весеннее разрушение припайного льда раньше всего начинается в южных районах Обской и Тазовской губ. В Салехарде взлом припая происходит в среднем 27 мая. В начале июня в связи с переходом температуры воздуха через 0 °С на припае Обской и Тазовской губ начинается таяние снега, а во второй декаде июня появляются забереги, и лед покрывается снежницами. В начале третьей декады июня лед в южной части Обской губы интенсивно

разрушается, обсыхает, в то время как в северной части Обской губы только покрывается водой. В конце июня лед взламывается в южной части губы (до бухты Новый Порт). В районе Нового Порта взлом припая происходит в среднем 20 июня (ранний – 6 июня 2000 г., поздний – 11 июля 1987 г.). В северной части Обской губы припай взламывается в первой-второй декадах июля. В районе Тамбея взлом припая происходит в среднем 9 июля (ранний – 27 июня 1985 г., поздний – 27 июля 1978 г.).

В Енисейском заливе в районе Сопочной Карги припай взламывается в среднем 25 июня (ранний взлом – 14 июня 2011 г., поздний – 13 июля 1987 г.). Взлом припая в районе Усть-Кары в среднем происходит 24 июня (ранний – 29 мая 1995 г., поздний – 16 июля 1958 г.), в Марре-Сале – 2 июля (ранний – 9 июня 2012 г., поздний – 25 июля 1999 г.), в районе о. Белый – 18 июля (ранний – 27 июня 2012 г., поздний – 6 августа 1966 г.).

Элементами инфраструктуры ледяного покрова арктических морей в период таяния являются положение и площадь ледяных массивов. Ледяные массивы представляют собой скопления льдов большой сплоченности (7–10 баллов), повышенной толщины и торосистости. На акватории юго-западной части Карского моря располагается Новоземельский ледяной массив, который в значительной мере определяет ледовитость в этом районе в теплый период года (рис. 1.54).



Рис. 1.54. Положение ледяных массивов Карского моря:
1 – Новоземельский массив; 2 – Северный Карский массив;
3 – Североземельский массив.

Обособление Новоземельского массива обычно начинается в начале июня, однако скорость уменьшения площади массива в июне достаточно низкая. В июле активизируется поступление теплой баренцевоморской воды через пролив Карские Ворота, прогреваются воды Обь-Енисейской полыньи, распространяющейся как на север, так и на запад в направлении Новоземельского массива, активно увеличивается разрушенность льда в массиве, происходит резкий скачок в скорости разрушения массива. В это время формируется зона редких льдов и чистой воды вдоль линии, соединяющей о. Диксон и м. Желания.

Во второй половине XX века разделение Новоземельского и Северо-земельского массивов происходило в среднем в третьей декаде июля – первой декаде августа. По данным ИСЗ, за первые 12 лет XXI века уже в середине июля повторяемость наличия льдов в этой зоне составляет всего лишь 20–30 % (в том числе сплоченных льдов – 0–30 %). Таким образом, процесс разделения массивов в последние годы происходит в среднем в начале июля, что на две-три недели раньше прежних сроков.

В августе скорость разрушения массива замедляется, поскольку к этому времени сохраняются только самые мощные торосистые льдины, называемые наблюдателями «крыгами» [15].

Новоземельский ледяной массив в летний период может иметь западное, центральное и восточное положение. Преобладает западное положение массива (60 % случаев), при котором сплоченные льды поджаты к Новой Земле. При таком положении массива Ямальская полынья получает наибольшее развитие, и очищение в районе к западу от о. Белый распространяется с востока на запад. При центральном положении Новоземельского ледяного массива ядро сплоченных льдов располагается в центральной части акватории. В этом случае и Новоземельская, и Ямальская полыньи получают активное развитие, и очищение происходит с востока и запада к центру акватории.

В табл. 1.19 приведены данные о площади Новоземельского ледяного массива за весь период наблюдений, за последние 30 лет и за первые 12 лет XXI века.

Обычно площадь Новоземельского ледяного массива составляет в середине июля 35–45 %, в середине августа – 3–6 % и в середине сентября – 1 %. Однако в годы наибольшей ледовитости моря Новоземельский массив в середине июля может иметь площадь 86 %, в середине августа – 44 %, а в середине сентября – 15 %. Находясь в таком состоянии, он в течение всей летней навигации представляет опасность для судоходства [15, 66, 78, 89].

Анализ табл. 1.19 показывает, что в последние 30 лет средняя ежедекадная площадь Новоземельского массива в июле-августе уменьшилась по сравнению с данными по полному ряду наблюдений на 3–9 %. За первые 12 лет XXI века аналогичное уменьшение составило 5–15 %.

В течение всего летнего сезона, до начала нового ледообразования Новоземельский ледяной массив сохранялся в 1958, 1966, 1969, 1974, 1978, 1980 гг. В эти годы в середине сентября еще сохранялось 5–15 % площади массива. В XXI веке таких ледовых сезонов, когда Новоземельский массив сохранялся бы в сентябре, не было.

Таблица 1.19

Площадь Новоземельского ледяного массива за весь период наблюдений, за последние 30 лет и за первые 12 лет XXI века (%)

Месяц	VI			VII			VIII			IX		
Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
с 1940 по 2012 г. – 73 года												
Средняя	82	75	70	58	43	26	13	6	3	1	1	1
Макс.	99	98	99	98	86	85	60	44	32	19	15	11
Мин.	38	14	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0
СКО	13	17	18	22	23	19	14	9	6	4	2	2
с 1983 по 2012 г. – 30 лет												
Средняя	79	71	63	49	34	19	10	3	1	0	0	0
Макс.	96	95	90	85	85	80	54	17	9	4	2	1
Мин.	38	14	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0
СКО	14	18	19	22	23	18	13	4	2	–	–	–
с 2001 по 2012 г. – 12 лет												
Средняя	73	62	55	43	30	13	6	1	0	0	0	0
Макс.	92	85	81	79	82	41	18	6	1	0	0	0
Мин.	38	14	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0
СКО	15	21	23	24	23	13	6	2	–	–	–	–

В табл. 1.20 приведены данные о ледовитости юго-западной части Карского моря за весь период наблюдений, за последние 30 лет и за первые 12 лет XXI века. Наибольшая за весь период наблюдений ледовитость юго-западной части Карского моря в середине августа зафиксирована после суровых зим 1965/1966 и 1968/1969 гг. (85 и 69 % соответственно). При этом площадь Новоземельского массива также была максимальной за весь период наблюдений (41 и 44 % соответственно). За последние 30 лет наиболее высокая ледовитость юго-западной части Карского моря, а также наибольшая площадь Новоземельского массива в середине августа наблюдалась после суровой зимы 1998/1999 гг. (38 и 17 % соответственно).

Анализ табл. 1.20 показывает, что в последние 30 лет средняя ежедекадная ледовитость юго-западной части Карского моря в июле-августе уменьшилась, по сравнению с данными по полному ряду наблюдений на 6–13 %. За первые 12 лет XXI века аналогичное уменьшение составило 12–26 %. В XXI веке таких ледовых сезонов, когда ледовитость юго-западной части Карского моря в сентябре отличалась бы от нуля, не было.

На рис. 1.55 приведена карта изохрон средних сроков полного очищения ото льда юго-западной части Карского моря, которая показывает, что в среднем к концу первой декады июля освобождаются ото льда вершина Байдарацкой губы, восточные подходы к проливу Карские ворота, южные части

Обской губы и Енисейского залива. К концу июля очищается весь крайний юго-запад Карского моря и участок трассы от о. Белый до о. Диксон. Очищение трассовой зоны от Карских Ворот до Енисейского залива после мягкой зимы может произойти в первой половине июля, а после суровой зимы задержаться до августа-сентября (см. рис. 1.36–1.40).

Таблица 1.20

Ледовитость юго-западной части Карского моря за весь период наблюдений, за последние 30 лет и за первые 12 лет XXI века (%)

Месяц	VI			VII			VIII			IX		
Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
с 1940 по 2012 г. – 73 года												
Средняя	90	87	82	74	62	47	31	17	9	4	3	2
Макс.	100	100	99	99	98	98	96	85	67	44	42	48
Мин.	63	26	10	20	9	0	0	0	0	0	0	0
СКО	9	13	14	20	25	27	25	19	14	10	8	7
с 1983 по 2012 г. – 30 лет												
Средняя	89	83	77	68	54	34	19	9	3	1	1	1
Макс.	100	100	94	99	98	93	61	38	31	13	16	9
Мин.	63	26	10	3	10	3	0	0	0	0	0	0
СКО	10	15	17	24	25	23	19	10	7	3	3	2
с 2001 по 2012 г. – 12 лет												
Средняя	85	74	68	55	42	21	10	5	2	0	0	0
Макс.	97	92	94	86	87	52	34	17	7	0	0	0
Мин.	63	26	10	3	0	0	0	0	0	0	0	0
СКО	10	20	22	28	26	16	11	6	3	0	0	0

На рис. 1.56 приведена ледовая обстановка на юго-западе Карского моря в середине июня 2009 года. Ситуация соответствует началу раннего (после мягкой зимы) очищения юго-западной части Карского моря ото льда. Отчетливо виден «язык» чистой воды на юге Обской губы. Снимок с ИСЗ свидетельствует также о начале процесса разделения ледяных массивов: по линии м. Желания – о. Диксон наметилась зона разрежения льда, которая далее будет трансформироваться в зону чистой воды, отделяющую Новоземельский ледяной массив от Североземельского и Северного Карского массивов.

Для осуществления судоходства в южной части Обской губы важно знать, с какой скоростью движется на север граница чистой воды («язык» чистой воды). Для исследования продвижения «языка» чистой воды с юга в Обской губе были использованы карты ледовых разведок за 5-летний период с 1979 по 1983 год. Рассматривался участок южной части Обской губы протяженностью 230 км (от вершины Обской губы до м. Каменный). Фиксировалось прохождение кромкой льда пяти рубежей. На рис. 1.57 приведены схема фиксированных положений кромки льда в Обской губе и средние за 5 лет даты достижения кромкой льда положений 1–5.

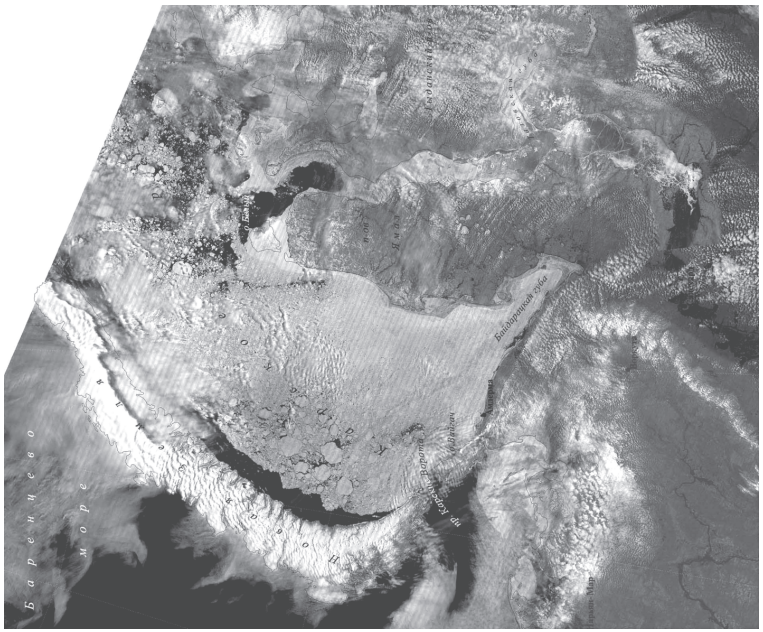


Рис. 1.56. Ледовая обстановка на юго-западе Карского моря в июне 2009 года. Снимок с ИСЗ TERRA (MODIS).

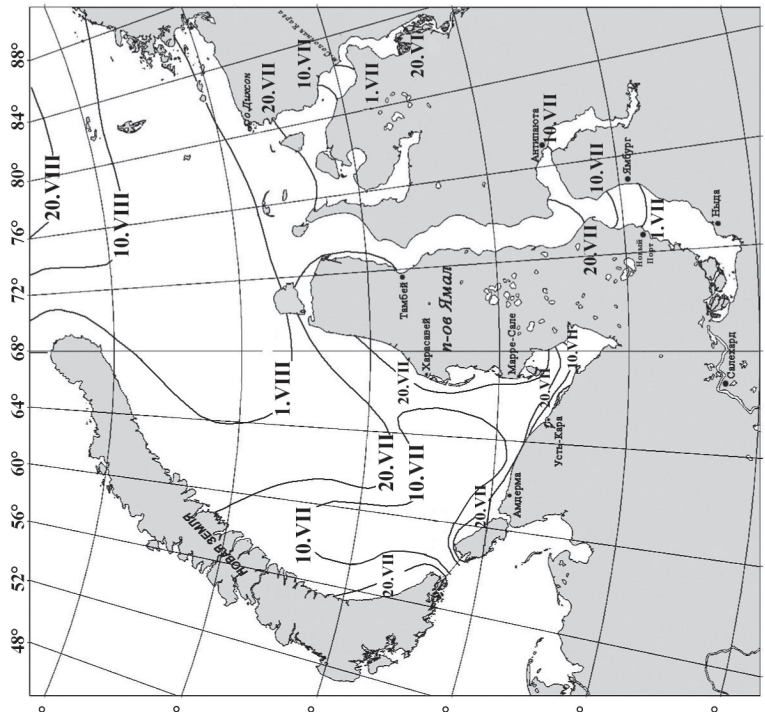


Рис. 1.55. Карта изохрон средних сроков полного очищения ото льда юго-западной части Карского моря.

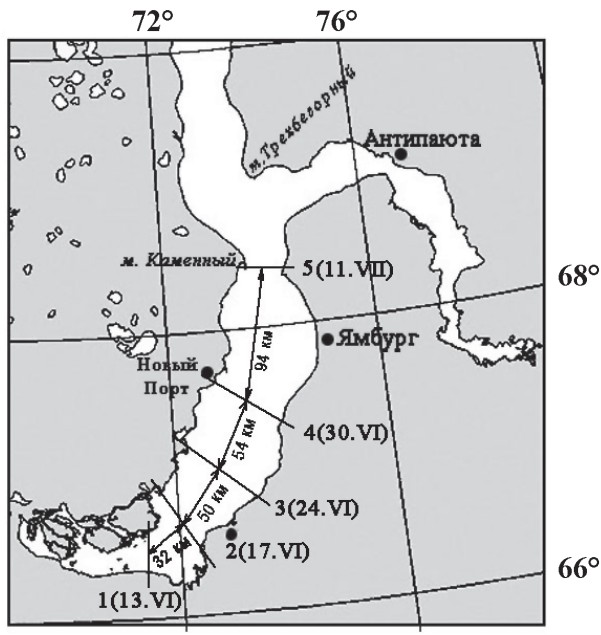


Рис. 1.57. Схема фиксированных положений кромки льда в Обской губе и средние даты достижения кромкой льда положений 1–5.

Оказалось, что средняя скорость продвижения «языка» чистой воды от одного рубежа до другого различна на разных участках продвижения «языка» чистой воды на север и составляет: на отрезках 1–2 и 2–3 – 7–8 км/сут, на отрезках 3–4 и 4–5 – 8–9 км/сут. От вершины Обской губы до мыса Каменный «язык» чистой воды продвигается в среднем за 28 дней. Процесс очищения Обской губы ото льда продолжается обычно с середины июня до начала третьей декады июля. Бухта Новый Порт очищается в среднем 27 июня (раннее очищение – 11 июня 2011 г., позднее – 14 июля 1987 г.). Район Тамбея очищается в среднем 22 июля (раннее очищение – 8 июля 1991 г., позднее – 5 августа 1987 г.).

1.7. Влияние ледовых процессов на судоходство и добычу углеводородов в юго-западной части Карского моря

На рис. 1.58 приведены основные традиционные курсы плавания судов в юго-западной части Карского моря. Выбор пролива для входа в Карское море из Баренцева моря и дальнейшего следования к о. Диксон зависит от ледовых условий в юго-западной части Карского моря.

В начале летней навигации на трассе Северного морского пути (в конце июня – начале июля) можно встретить лед как на западных подходах к проливам Карские Ворота и Югорский Шар, так и у м. Желания. Обычно лед

затрудняет подход к проливам Карские Ворота и Югорский Шар с востока и запада только до первой декады июля.

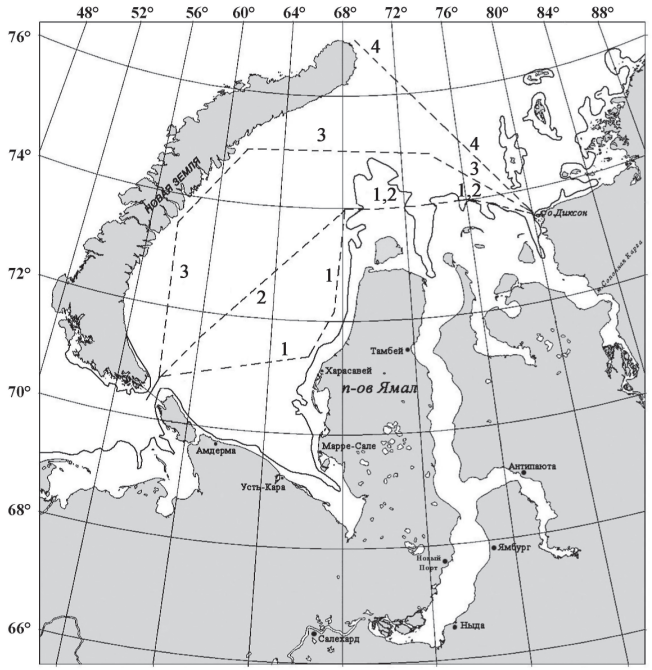


Рис. 1.58. 0сновные традиционные трассы плавания судов в юго-западной части Карского моря:

сплошная линия – изобата 20 м; пунктир – традиционные трассы; 1 – Карские Ворота – Харасавей – о. Белый – о. Диксон; 2 – Карские Ворота – о. Белый – о. Диксон; 3 – Карские Ворота – восточное побережье Новой Земли – о. Диксон; 4 – м. Желания – о. Диксон.

В отдельные годы лед, выносимый из Карского моря, может блокировать подход с запада к проливу Карские Ворота до конца июля. Тогда более удобным может оказаться выход в Карское море через пролив Югорский Шар. Повторяемость такой ситуации 20 %. Если же неблагоприятные ледовые условия на подходах к проливам Карские Ворота и Югорский Шар сочетаются с трудной ледовой обстановкой в юго-западной части Карского моря, рекомендуется следовать к о. Диксон, обходя острова архипелага Новая Земля с севера. На рис. 1.58 это маршрут № 4.

Выбор пути в Карском море от м. Желания к о. Диксон определяется взаиморасположением Новоземельского и Северного Карского ледяных массивов. Маршрут № 1 в период летней навигации используется при западном положении Новоземельского ледяного массива и хорошо развитой Ямальской полынье. При плавании по маршруту № 1 вдоль западного

побережья п-ова Ямал во второй половине июня – первой половине июля рекомендуется следовать западнее 20-метровой изобаты. При наличии под берегом сплоченного льда судам приходится двигаться через разреженный лед по кромке Новоземельского массива, а если лед дрейфует на восток под действием ветров западной четверти, то даже углубляться в массив. В таких условиях продолжительность ледокольной проводки судов на пути от пролива Карские Ворота до о. Диксон может значительно возрасти, хотя лед Новоземельского массива в первой половине июля обычно ослаблен таянием.

Маршрут № 3 оптимален при восточном положении Новоземельского ледяного массива. В этом случае Новоземельская полынья хорошо развита и может быть использована для безопасного судоходства.

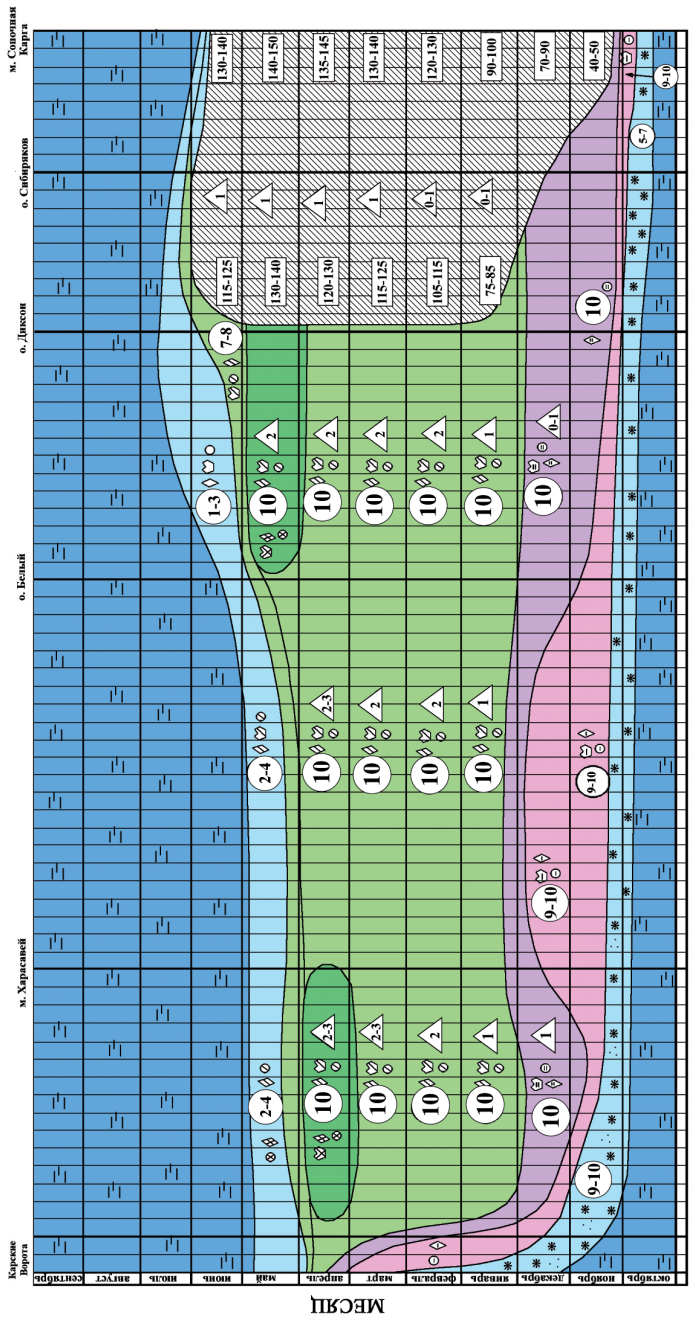
Безледокольное плавание судов усиленного ледового класса от пролива Карские Ворота и пролива Югорский Шар к о. Диксон становится возможным в среднем с 25–30 июля, а в наиболее благоприятные годы – с середины июня. Если лед не затрудняет плавание и не препятствует выбору пути, судам следует придерживаться трасс, ведущих по кратчайшим путям с учетом глубин [83]. Условию кратчайшего пути при движении из Карских Ворот в Енисейский залив соответствует маршрут № 2.

Плавание судов в зимний период по трассам Северного морского пути (СМП) осуществляется под проводкой ледоколов. Капитаны ледоколов должны определить маршрут движения и проводки судов, который зависит от навигационных особенностей района, технических характеристик судов, метеорологической и ледовой обстановки на акватории. Перед началом движения капитаны ледоколов должны согласовать маршрут движения с капитанами проводимых судов. Проводка судов по трассам СМП осуществляется в период навигации, сроки которой (а также типы ледоколов, допущенных к плаванию по СМП) определяются администрацией Северного морского пути (АСМП) с учетом состояния ледовых условий [73].

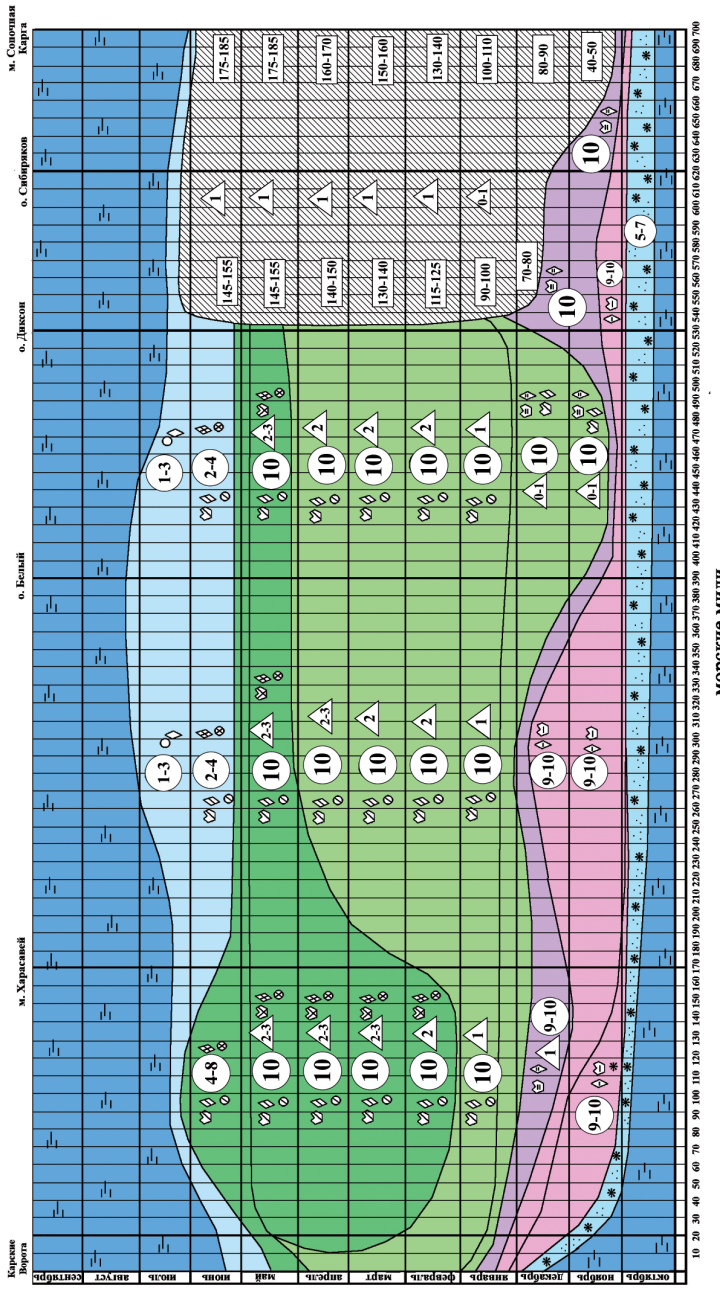
На рис. 1.59 представлены графики типичных ледовых условий на основной ледовой трассе юго-западной части Карского моря Карские Ворота – Харасавей – м. Сопочная Карга (маршрут №1 и Енисейский залив) в мягкую зиму (а), в умеренную зиму (б), в суровую зиму (в) и в самую суровую зиму 1968/1969 гг. (г). Протяженность трассы – 700 миль.

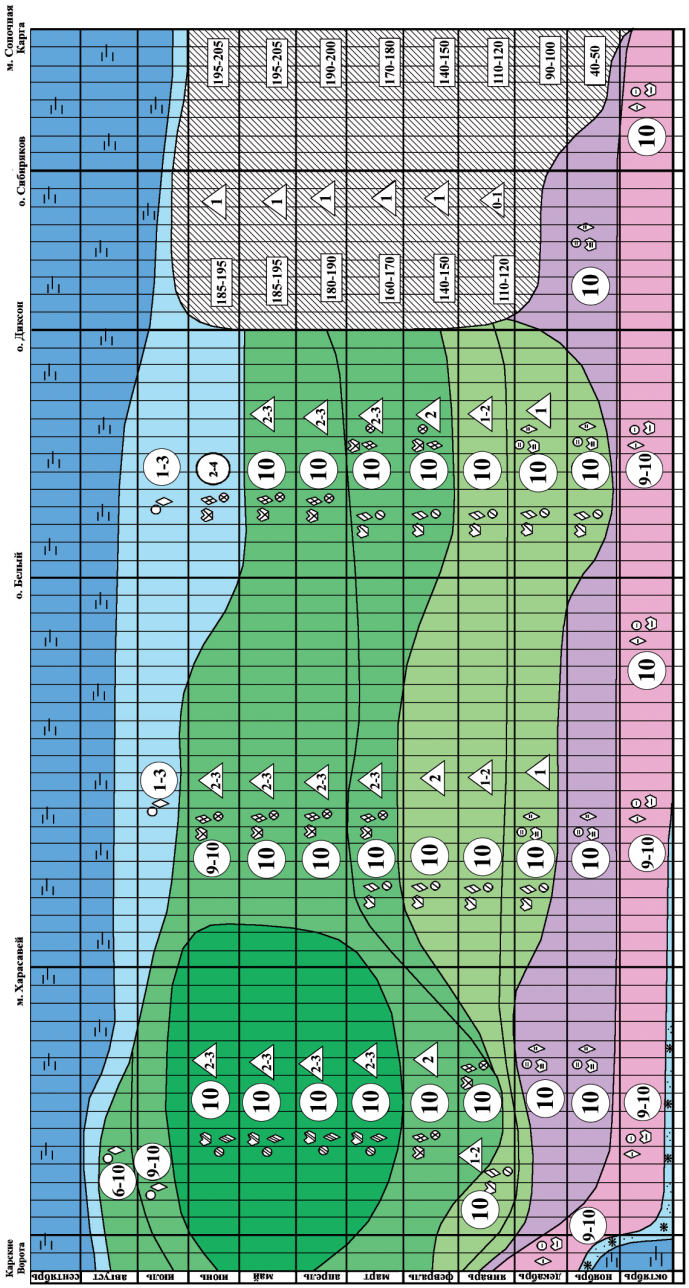
В табл. 1.21 приведены данные о протяженности участков трассы с различными ледовыми характеристиками в мягкую, умеренную, суровую и самую суровую зимы.

В мягкие и суровые зимы трасса полностью покрыта льдом в течение 5 месяцев, а в суровые зимы – в течение 7–9 месяцев. После мягкой зимы в середине июня общая протяженность ледовых зон составляет в среднем 300 миль, после умеренной зимы – 660 миль, после суровой зимы – 700 миль (вся трасса покрыта льдом). В середине июля после мягкой зимы общая протяженность ледовых зон составляет в среднем 90 миль (лед сплоченностью 1–4 балла), после умеренной зимы – 250 миль, после суровой зимы – 620 миль, после самой суровой зимы – 700 миль (вся трасса покрыта льдом).

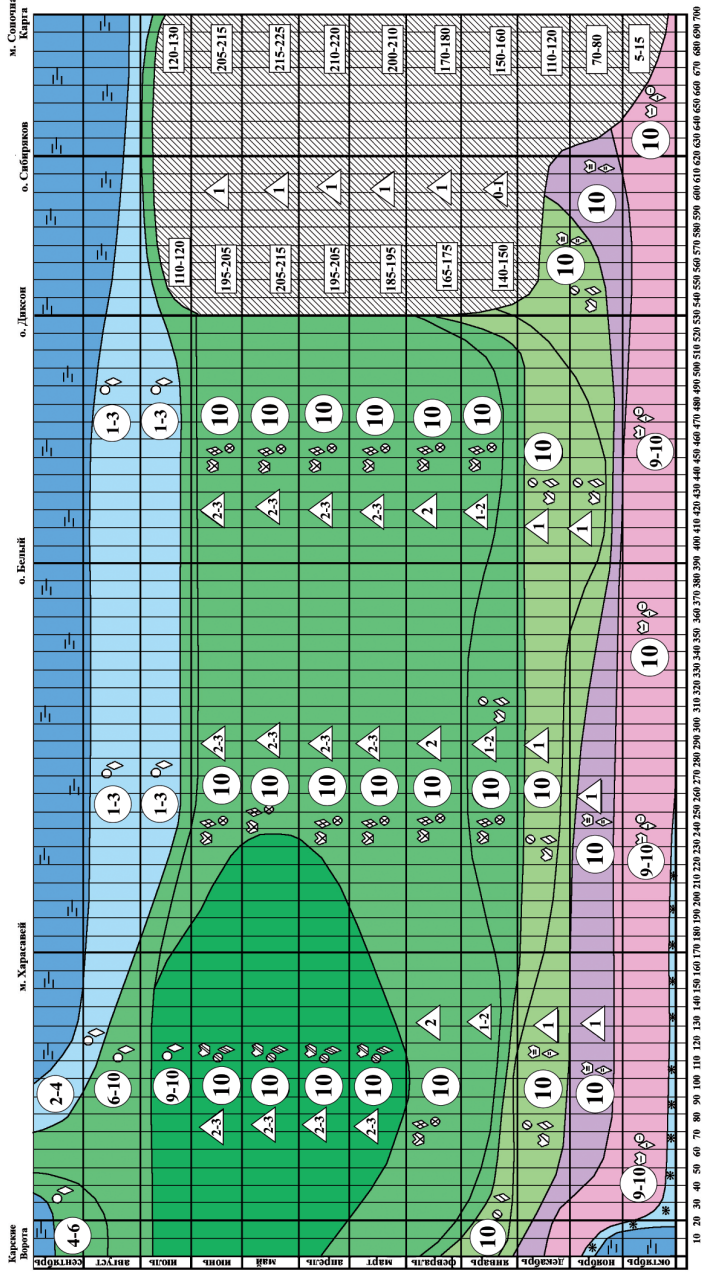

Карские Ворота
м. Харасавей
о. Белый
о. Диксон
о. Сибиряков
м. Соломбала Карга
сентябрь
август
июль
июнь
май
апрель
март
февраль
январь
декабрь
ноябрь
октябрь
130-140
140-150
135-145
130-140
120-130
90-100
70-90
40-50
115-125
130-140
120-130
115-125
105-115
75-85
7-8
морские мили
МЕСЯЦ

1.59а


Карское Ворота
м. Харасавей
о. Белый
о. Диксон
о. Сибиряков
м. Сопочная Карга
сентябрь
август
июль
июнь
май
апрель
март
февраль
январь
декабрь
ноябрь
октябрь
МЕСЯЦЫ
морские мили
1.596


Карские Ворота
м. Харасавей
о. Белый
о. Диксон
о. Сибиряков
м. Сопочная Карга
сентябрь
август
июль
июнь
май
апрель
март
февраль
январь
декабрь
ноябрь
октябрь
МЕСЯЦ
морские мили

1.59в



1.59г

Рис. 1.59. Графики типичных ледовых условий в мягкую зиму (а), в умеренную зиму (б), в суровую зиму (в) и в самую суровую зиму (г) на трассе Карские Ворота – Харасавей – Енисейский залив (м. Сопочная Карга): раскраска – по возрастным характеристикам льда.

В августе-сентябре после мягких и умеренных зим трасса обычно свободна ото льда, а после суровых зим на трассе может сохраняться лед. В середине октября 1969 года (после самой суровой зимы) на крайнем юго-западе Карского моря началось ледообразование нового льда среди пятен прошлогоднего.

Таблица 1.21

Протяженность ледовых зон на трассе
Карские Ворота – Харасавей – м. Сопочная Карга (в милях)

Характеристика зоны	Месяцы											
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Мягкая зима												
Чистая вода	590	20	0	0	0	0	0	40	400	610	700	700
Нилас и начальные виды льда	110	60	20	10	–	–	–	–	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	360	210	20	20	10	–	–	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	220	390	10	10	10	–	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед				100	100							
Тонкий однолетний лед	–	–	–	400	410	520	400	40	–	–	–	–
Однолетний лед средней толщины и тонкий однолетний лед	–	–	–	–	–	–	140	140	40	–	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–	–	320	110	90	–	–
Припай в Енисейском заливе	–	40	80	160	160	160	160	160	150	–	–	–
Ледовая зона	110	680	700	700	700	700	700	660	300	90	0	0
Умеренная зима												
Чистая вода	480	20	0	0	0	0	0	20	40	450	700	700
Нилас и начальные виды льда	220	20	10	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	350	70	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	160	340	20	–	–	–	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	100	180	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Продолжение табл. 1.21

Характеристика зоны	Месяцы											
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Тонкий однолетний лед	–	–	–	520	400	360	310	–	–	–	–	–
Однолетний лед средней толщины и тонкий однолетний лед	–	–	–	–	140	170	220	510	370	–	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–		–	–	–	–	–	130	250	–	–
Припай в Енисейском заливе	–	50	100	160	160	170	170	170	160	–	–	–
Ледовая зона	220	680	700	700	700	700	700	680	660	250	0	0
Суровая зима												
Чистая вода	20	20	0	0	0	0	0	0	0	80	570	700
Нилас и начальные виды льда	680	20	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	40	20	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Серо-белый лед		450	220	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	110	350	20	100	–	–	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	440	100	–	–	–	–	–	–	–
Однолетний лед средней толщины и тонкий однолетний лед	–	–	–	20	170	340	340	340	170	–	–	–
Однолетний лед средней толщины	–	–	–	60	160	50	–	–	–	–	–	–
Толстый однолетний лед	–	–	–	–	–	140	190	190	190	180	80	
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–	–	–	170	440	50	–

Окончание табл. 1.21

Характеристика зоны	Месяцы											
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Припай в Енисейском заливе	–	60	110	160	170	170	170	170	170	–	–	–
Ледовая зона	680	680	700	700	700	700	700	700	700	620	130	0
Самая суровая зима												
Чистая вода	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140	630
Нилас и начальные виды льда	40	20	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Серый лед и нилас	650	30	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	130	30	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	360	210	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний лед	–	90	350	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Однолетний лед средней толщины и тонкий однолетний лед	–	–	–	260	30	–	–	–	–	–	–	–
Однолетний лед средней толщины	–	–	–	240	500	390	310	290	310	80	100	–
Толстый однолетний лед	–	–	–	–	–	140	220	240	220	180	80	50
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	290	380	20
Припай в Енисейском заливе	–	70	110	170	170	170	170	170	170	150	–	–
Ледовая зона	690	700	700	700	700	700	700	700	700	700	560	70

Учет ледовых и гидрометеорологических условий имеет большое значение для решения навигационных вопросов: планирования морских операций в ледовый период, определения сроков начала и конца навигации, прокладки оптимальных курсов плавания с учетом технических возможностей судов и

ледоколов. Особенно важны рекомендации оптимальных маршрутов плаваний во льдах по трассам Карского моря, составляемые на основе данных ИСЗ, наблюдений гидрометеорологических станций и климатических представлений, а также прогнозы погоды и ледовой обстановки в море.

Морские транспортные перевозки в юго-западной части Карского моря тесно связаны с освоением месторождений углеводородов Южно-Карского нефтегазодобывающего комплекса. На рис. 1.60 показано расположение месторождений этого комплекса, крупнейшими из которых являются два газоконденсатных месторождения – Русановское и Ленинградское.



Рис. 1.60. Расположение крупных месторождений углеводородов Южно-Карского нефтегазодобывающего комплекса.

В этот комплекс входят также:

– крупные месторождения п-ова Ямал (Харасавейское газоконденсатное, Бованенковское нефтегазоконденсатное, Арктическое нефтегазоконденсатное, Северо-Тамбейское газоконденсатное, Южно-Тамбейское нефтегазоконденсатное и др.);

– газоконденсатные месторождения южно-карского мелководья (Харасавейское-море, Крузенштерновское, Западно-Шараповское);

– месторождения, открытые на побережье и на мелководной акватории южной части Обской губы (газоконденсатные – Каменномысское, Северо-Каменномысское, Обское, Ямбургское, а также нефтегазоконденсатные – Парусное, Новопортовское и др.);

– месторождения, открытые на побережье и на акватории Тазовской губы (газоконденсатные – Юрхаровское, Семаковское, Антипаютинское, Тота-Яхинское, Чугорь-Яхинское и др.).

Сырьевая база акваторий Обской и Тазовской губ составляют по предварительным оценкам 22 % ресурсов газа всего Карского бассейна. На шельфе у побережья п-ова Ямал сырьевая база формируется за счет уникальных по запасам газоконденсатных месторождений Ленинградского и Русановского, шельфовых участков Харасавейского и Крузенштерновского месторождений и других перспективных объектов. Ресурсы газа этого района составляют 48 % суммарных ресурсов газа Карского моря. Работы на морском шельфе значительно дороже аналогичных работ на суше. Например, стоимость бурения одной разведочной скважины в условиях арктических морей – 50 млн дол. и более, тогда как на суше это составляет около 5 млн дол. [57].

Лед представляет большую опасность для буровых платформ. Особенно опасны ледяные образования в виде торосов и стамух, располагающиеся в непосредственной близости от платформ и трубопроводов. Механическое воздействия льда на дно моря, а также на гидротехнические сооружения, расположенные на шельфе, начинается с момента его образования. Осенью в период ветровых нагонов молодые льды могут выдавливаться на сушу. На берегах и на дне вблизи уреза воды в результате надвигов и навалов формируются борозды, ямы, напорные валы, представляющие из себя груды грунта и льда. Подводные валы становятся ядрами торошения.

Наиболее интенсивно лед воздействует на дно на кромке припая, где в течение всего зимнего периода формируются гряды и барьеры торосов, кили которых могут достигать дна. Борозды ледовой пропашки, образующиеся при движении ледовых образований, в прибрежной зоне (до глубин 3–6 м) ориентированы преимущественно по нормали к берегу, далее в море борозды выпахивания располагаются хаотично. Характерная длина борозд пропашки 100–1000 м. Самые крупные борозды, измеренные в Байдарацкой губе на участке исследования дна от уреза воды до глубины 23 м, достигают 2,5 м в глубину и 60–75 м в ширину.

Стамухи. На юго-западе Карского моря стамухи образуются в зоне глубин до 20 м. На рис. 1.61 показаны районы образования стамух на юго-западе Карского моря в соответствии с [66, 72]. Сопоставление рис. 1.60 и 1.61 свидетельствует о том, что стамухи представляют наибольшую опасность для Харасавейского, Семаковского, Антипаютинского газоконденсатных месторождений.

Стамухи особенно часто встречаются на севере Обской губы и Енисейского залива, а также у западного побережья п-ова Ямал. В Байдарацкой губе, центральной и южной частях Обской губы, проливе Малыгина, Тазовской губе, Енисейском и Гыданском заливах стамухи образуются значительно реже. Стамухи формируются уже в октябре–декабре в основном изо льда местного образования. К середине зимы они вмерзают в припай и существуют в течение всей зимы. На мелководье Обь-Енисейского района, где глубины не превышают 20 м, стамухи могут формироваться повсеместно.

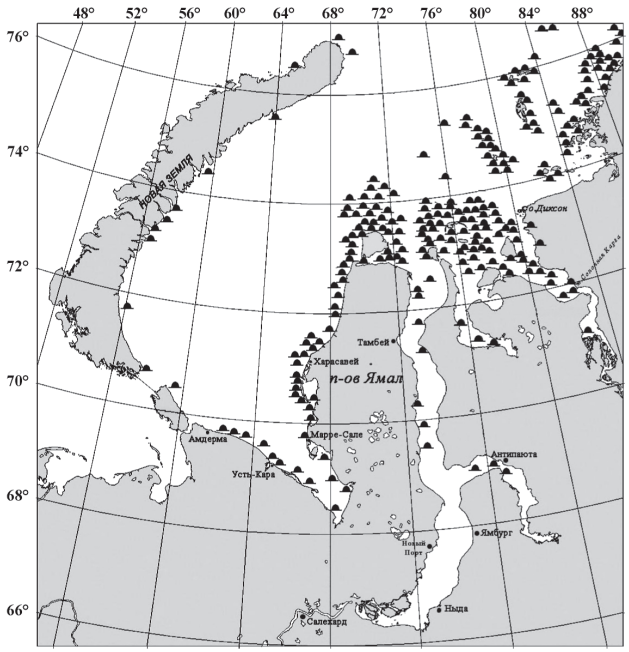


Рис. 1.61. Районы образования стамух на юго-западе Карского моря.

Максимально наблюденные значения геометрии стамух в юго-западной части Карского моря следующие: высота паруса – 15 м, глубина киля – 26 м. Средняя высота паруса составляет 8–9 м, средняя глубина киля – 9–10 м.

Межгодовая изменчивость числа стамух в Обь-Енисейском районе существенна: наибольшее их число (115) наблюдалось в 1974 г., наименьшее (5) – в 1991 году. После взлома припая (в первой-второй декадах июля) стамухи, как правило, быстро разрушаются [66].

Торосы. Согласно «Номенклатуре морских льдов» [76], гряда тороса представляет собой сравнительно прямолинейное нагромождение деформированного льда, образовавшегося в результате сжатия. Торос асимметричен, углы левого и правого его склонов различны. В [71] проанализировано 27 гряд торосов, исследованных специалистами института Арктики и Антарктики в 2007/2010 гг. в юго-западной части Карского моря, большей частью – в Байдарацкой губе. Этот период в данном регионе характеризовался в целом легкими ледовыми условиями. Однако следует отметить, что легкие ледовые условия не обязательно приводят к заниженным параметрам торосов, так как большую роль в их образовании играет динамика ледяного покрова. Исследованные торосы были достаточно мощными. Средняя высота их парусов составляла 3,2 м, а средняя глубина килей – 11,5 м при средней толщине торосов, равной 13,3 м. Максимальная высота паруса составила 4,5 м, максимальная глубина киля – 15,7 м, а максимальная толщина тороса была около 20 м.

Во время контакта с грунтом кили торосов обламываются, приобретая профиль трапеции. Исследованные гряды торосов были разделены на две группы. К первой группе отнесены торосы, профили килей которых хорошо аппроксимируются треугольниками, ко второй – торосы, кили которых хорошо аппроксимируются трапецией. Паруса в обоих случаях аппроксимированы треугольниками. Расчеты показали, что среднее значение отношения высоты киля к высоте паруса у торосов с треугольной формой киля равно 4,0, что превышает значение этой характеристики для торосов с трапециевидной формой киля, которое равно 3,7. Средняя длина гряды торосов: с треугольной формой киля – 71 м (минимальная – 45 м, максимальная – 85 м), с трапециевидной формой киля – 57 м (минимальная – 24 м, максимальная – 95 м).

Более 80 % исследованных торосов с трапециевидной формой киля образовались в декабре-январе, в то время как торосы с треугольной формой киля большей частью образовались с января по март. Более длительный период существования торосов с трапециевидной формой киля является причиной большей толщины консолидированного слоя (КС). Средняя толщина КС для торосов с трапециевидными килями равна 2,6 м, для торосов с килями треугольной формы – 2,1 м. Средняя пористость торосов, показывающая долю пустот в нем, составляет 9–14 %. Минимальные значения пористости, равные 1 %, показывают, что отдельные торосы имеют мало пустот. Обычно это торосы, образовавшиеся в начале холодного сезона. Свежие торосы без КС имеют максимальную пористость 38 %, а торосы с консолидированным слоем – 24 %. Пористость гряд торосов в среднем составила для паруса 5 %, а для киля – 10 % [71].

Интересны также данные, полученные в мае 1997 г., на «языке» среднего и тонкого однолетнего льда, вынесенного в Печорское море через пролив Карские Ворота из Карского моря. Торосистость в районе исследований составляла 4–5 баллов, сплоченность льда – 8–9 баллов. Средняя высота парусов торосов в пределах этой зоны оказалась равной 1,04 м, максимальная – 6,27 м. В апреле-мае 1998 г. в ходе экспедиции на л/к «Капитан Драницын» были изучены морфологические характеристики торосов в Обской губе. Средняя высота паруса торосов составила 0,7 м, что существенно меньше средней высоты торосов на крайнем юго-западе Карского моря [66].

Айсберги. Наблюдаются около северо-восточного побережья архипелага Новая Земля. Айсберги являются одним из наиболее опасных элементов природной среды для судоходства и функционирования инженерных сооружений в шельфовой зоне моря. Основными потенциальными источниками айсбергов (выводными ледниками) являются ледники Новой Земли, Земли Франца-Иосифа, Шпицбергена.

Вероятность того, что в течение года айсберги появятся в юго-западной части Карского моря к западу от меридиана 72° в.д., по данным [66], составляет: южнее параллели 70° с.ш. – 1 %, в районе параллели 75° с.ш. – 10–20 %, в районе параллели 77° с.ш. – 50–60 %. К востоку от меридиана 72° в.д. айсберги могут появиться в районе параллели 75° с.ш. с вероятностью 1 %, в районе параллели 77° с.ш. – с вероятностью 10–20 %.

1.8. Ледовые условия в портах юго-западной части Карского моря

Диксон

Географические координаты порта: 73°31′ с.ш., 80°20′ в.д.

Диксон – самый северный в России и единственный в Карском море порт. Расположен в восточной части поселка Диксон на материке. Создан в 1934 году по приказу администрации Главсевморпути для обеспечения углем, водой и продовольствием судов, работающих в Арктике. С переходом судов на другие виды топлива (дизельное, атомное) его обязанностью стала переработка грузов для снабжения местных организаций и полярных станций.

Перегрузочный комплекс порта включает главный причал с причальными стенками, три портовых крана, автопогрузчики, крытые склады и открытые складские площадки. Длина главного причала – 100 м, глубина у причальной стенки – 14 м, что дает возможность принимать довольно крупные суда. К недостаткам относится устаревшая материальная база – причал работает с 1941 года. Развитие порта в будущем предположительно будет связано с добычей угля на материке и углеводородов – на шельфе.

Первое появление льда в районе порта происходит в среднем в первой пятидневке октября. Самое раннее появление льда в районе порта отмечено 17 сентября 1958 г., а самое позднее – 25 октября 1985 года. Сроки устойчивого ледообразования, как правило, совпадают со сроками первого появления льда. В среднем в середине октября происходит полное замерзание порта.

Наибольшей за зиму толщины лед достигает в середине мая (в среднем 150–160 см). Максимальная толщина льда в районе порта – 213 см (1969 г.).

Средняя дата взлома припайного льда в районе порта Диксон – 17 июля. Окончательное очищение акватории порта происходит в среднем 25 июля, при экстремальных сроках: раннее очищение – 4 июля 2012 г.; позднее – 31 августа 1966 года.

Продолжительность ледового периода на акватории порта от первого появления льда до окончательного очищения в среднем составляет 293 дня, изменяясь от 262 дней (1944/1945 гг.) до 324 дней (1965/1966 гг.). В 1974 г. район Диксона не очищался ото льда в течение всей летней навигации.

За последнее 30-летие сроки ледообразования и замерзания в порту Диксон сдвинулись на 2–3 дня в сторону более поздних дат, по сравнению со средними многолетними данными. Сроки полного очищения акватории порта ото льда сдвинулись на 5 дней в сторону более ранних дат. Средняя продолжительность ледового периода составила 287 дней, сократившись, по сравнению со средней многолетней продолжительностью, на 6 дней.

Дудинка

Географические координаты порта: 69°24′ с.ш., 86°10′ в.д.

Морской порт Дудинка расположен на правом берегу р. Енисей в месте его слияния с р. Дудинка. Является частью инфраструктуры Северного морского пути. Круглогодично связан морским сообщением с портами Белого моря и Мурманском, в период летней навигации – речным сообщением с Красноярском и Диксоном. Русло р. Енисей в районе порта разделено о. Кабацким на две протоки: правую – судоходную с глубинами по судоходному ходу 12–33 м и шириной до 2 км и левую – несудоходную.

Самая северная в мире железная дорога и автомобильное шоссе связывает Дудинку с Норильском (96 км). Основная цель работы порта Дудинка – обеспечение нужд ГМК «Норильский никель» и города Норильска. Грузовой причальный фронт состоит из 23 речных и 9 морских причалов. Нефтяной причал расположен ниже морских причалов на 900 м по течению Енисея. Общая длина причалов порта 1740 м.

Дудинский морской порт ежегодно затапливается в период весеннего половодья. В целях предотвращения разрушений путей сообщения в период ледохода в порту сооружена ледозащитная дамба на косе при впадении р. Дудинка в р. Енисей. Глубины причалов от 8 до 12 м позволяют принимать суда грузоподъемностью до 17 тыс. т.

В районе Дудинки устойчивое ледообразование начинается в среднем 17 октября. При этом наиболее раннее ледообразование наблюдалось 3 октября 1984 года. Позднее ледообразование наблюдалось в Дудинке 1 ноября 1947 года.

Наибольшей толщины лед достигает в первой половине мая. По данным многолетних наблюдений в среднем это 136 см (максимальная толщина наблюдалась в 1979 г. – 199 см, наименьшая – 102 см в 1970 г.).

Разрушение припая происходит в Дудинке в среднем 5 июня. Пик паводка приходится в среднем на 7 июня (во время ледохода). Максимальный уровень воды зафиксирован в 1999 г. на отметке 21,49 м. Основные морские причалы порта на 8-метровой отметке освобождаются от воды в среднем к 1 июля.

Глава 2

ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

2.1. Общие сведения о гидрометеорологическом режиме Баренцева моря

Баренцево море отделено от Арктического бассейна архипелагом Шпицберген, островами Белый, Виктория и архипелагом Земля Франца-Иосифа. На востоке его граница с Карским морем проходит от о. Греэм-Белл (м. Кользат) до м. Желания, далее – по западным границам проливов Маточкин Шар (о. Новая Земля), Карские Ворота (пролив между островами Новая Земля и Вайгач) и Югорский Шар (пролив между о. Вайгач и материком). На юге Баренцево море ограничено норвежским побережьем, российским побережьем Кольского п-ова, материковым побережьем от п-ова Канин до о. Вайгач (участок которого от м. Канин Нос до м. Русский Заворот называется Тиманским берегом). Западная морская граница между Баренцевым и Норвежским морями проходит от о. Сёркаплёйа (архипелаг Шпицберген) через о. Медвежий на м. Нордкап.

Площадь моря – 1405 тыс. км^2. Глубина моря почти на всей акватории от 200 до 400 м и только вблизи границы с Норвежским морем увеличивается до 600 м. Южная часть имеет глубину преимущественно менее 200 м.

Район Баренцева моря, расположенный к востоку от о. Колгуев, называется иногда Печорским морем. Пролив, отделяющий о. Колгуев от Тиманского берега, называется Поморским проливом.

Наиболее крупные заливы у юго-западного побережья моря: Порсангерфьорд, Варангер-фьорд, Мотовский залив, Кольский залив. Северное побережье Кольского п-ова называется Мурманским берегом.

На юго-западе Баренцево море соединяется с Белым морем. Восточнее п-ва Канин берега низкие и слабо изрезанные. Здесь имеются три больших мелководных залива (Чешская губа, Печорский залив, Хайпудырская губа) и несколько небольших бухт. В пределах Баренцева моря островов мало. Крупнейший из них – о. Колгуев. Наиболее крупные реки, впадающие в Баренцево море, – Печора и Индига [33, 77].

Существующие схемы физико-географического районирования Баренцева моря не позволяют однозначно определить границы районов морских акваторий. В данном издании использован принцип, близкий к предложенному

Г.В. Горбовским [33]. При этом границы районов привязаны к конкретным параллелям и меридианам (рис. 2.1). В частности, именно для района 6 (юго-восток Баренцева моря), на севере ограниченного параллелью 72° с.ш., а на западе меридианом 40° в.д., осуществляется определение ледовитости в Гидрометцентре России (рис. 2.2).



Рис. 2.1. Районирование Баренцева моря.

Положение Баренцева моря в высоких широтах, непосредственная связь с Атлантическим океаном и Центральным арктическим бассейном определяют основные черты климата моря. Это полярный морской климат, который характеризуется продолжительной зимой, коротким холодным летом, сравнительно малой годовой амплитудой температуры воздуха. В северных районах моря (1 и 2) господствуют арктические воздушные массы, а на юге

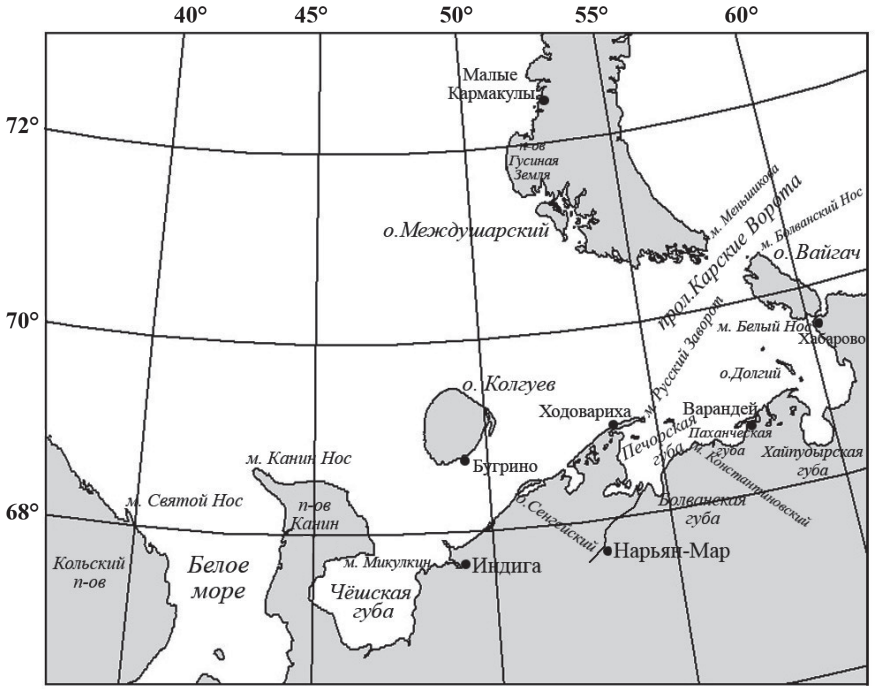


Рис. 2.2. Юго-восточная часть Баренцева моря.

(районы 5 и 6) – воздух умеренных широт. В полосе взаимодействия этих двух потоков (районы 3 и 4) образуется атмосферный арктический фронт, среднее положение которого соответствует направлению от северной оконечности Новой Земли через район к югу от о. Медвежий к Исландии. Здесь часто образуются циклоны, с прохождением которых связан изменчивый характер погоды на Баренцевом море.

Ветровой режим. *Зимой* углубление исландского минимума и активизация сибирского максимума обостряют арктический фронт, усиливая циклоническую деятельность над центральной частью Баренцева моря. Над морем наблюдается изменчивая погода с сильными ветрами, большими колебаниями температуры воздуха, выпадением осадков «зарядами». Нередко наблюдаются затоки холодного арктического воздуха или вторжение теплых воздушных масс с Атлантического океана.

Повторяемость преобладающих южных и юго-западных ветров в южной и западной частях моря (в районах 3, 5, 6) составляет 50 %. В восточной части моря, примыкающей к Новой Земле (районы 2, 4), преобладают юго-восточные и восточные ветры. Северо-западная часть моря (район 1) находится под действием северо-восточных и восточных воздушных потоков.

В юго-западной части моря в центре барической ложбины отмечаются наибольшие для моря скорости ветра. Средняя многолетняя скорость ветра в

январе составляет в этом районе 9–10 м/с. К северу и востоку средние скорости ветра убывают: на севере в районе Шпицбергена – до 6–7 м/с, в районе м. Желания – до 8–9 м/с; на юго-востоке – до 7–8 м/с.

Повторяемость сильных ветров (со скоростью ≥15 м/с) у Мурманского побережья, а также в районе моря между северной оконечностью Скандинавии и о. Медвежий превышает 15 %. В центральной и юго-восточной частях моря штормовые ветры наблюдаются в 10–15 % случаев (чаще при южных и юго-западных ветрах). В северо-западной части моря штормовые ветры редки (5 %). Тихая погода со скоростями ветра до 5 м/с на большей части моря наблюдается в 20–30 % случаев.

Весной в связи с перестройкой поля давления увеличивается повторяемость ветров северной четверти. Повторяемость слабых ветров возрастает на большей части моря до 40–50 %. В мае повторяемость скорости ветра 15 м/с и более на акватории моря составляет менее 5 %, за исключением района, расположенного у побережья Новой Земли, где повторяемость сильных ветров остается высокой (более 10 %). Это связано в основном с возникновением новоземельской боры.

Летом исландский минимум становится менее глубоким, а сибирский антициклон разрушается. Над холодной поверхностью моря образуется малоградиентное поле повышенного давления. Вследствие этого здесь устанавливается прохладная погода со слабыми, преимущественно северо-восточными ветрами. В западной части моря при этом с повторяемостью 25–35 % наблюдаются также западные и северо-западные ветры, а на северо-западе с повторяемостью до 25 % – южные ветры. Средняя месячная скорость ветра в летние месяцы – 5–6 м/с. Скорость ветра более 10 м/с наблюдается в 5–10 % случаев. Сильные ветры (≥15 м/с) наблюдаются лишь в 1–2 % случаев.

Осенью увеличивается количество циклонов и возрастает активность ветровой деятельности. Сокращается повторяемость северных ветров. Средняя месячная скорость ветра над морем повышается до 7–8 м/с. Более чем в 3 раза, по сравнению с летом, возрастает повторяемость скорости ветра более 10 м/с [33, 44, 64].

Температура воздуха. Через Баренцево море проходят теплые циклоны из Северной Атлантики, что является причиной несколько более высокой температуры воздуха, по сравнению с другими арктическими морями, и обильных атмосферных осадков.

Юго-западная часть моря (район 5 на рис. 2.1) отличается довольно слабым годовым ходом температуры воздуха: разность средних температур самого теплого и самого холодного месяцев составляет 13...23 °С. По данным норвежской станции Гамвик, средняя месячная температура февраля составляет –4,7 °С, в июле этот показатель равен 9,3 °С. По данным станции Мурманск, средняя месячная температура февраля составляет –10,2 °С, в июле она равна 12,8 °С. Самая низкая температура воздуха в Мурманске равна –39 °С.

Для юго-восточного района моря (район 6) характерны большие контрасты между зимними и летними температурами – в среднем 23...26 °С. По данным станции Ходовариха, средняя месячная температура февраля

составляет –17,1 °С, в июле температура равна 8,5 °С. Самые низкие значения температуры воздуха наблюдаются на на юго-востоке Баренцева моря и составляют –48...–40 °С. Для центральных и северо-западного районов моря (районы 1, 3, 4) средний контраст зимних и летних температур составляет 14...17 °С. Средняя месячная температура воздуха в районе станции о. Надежды в феврале равна –12,7 °С, в июле равна 1,9 °С. Самая низкая температура воздуха в районе этой станции составляет –36 °С.

Для северо-восточной части моря (район 2) средний контраст зимних и летних температур составляет 18...24 °С. Средняя месячная температура воздуха в районе станции м. Желания в феврале равна –19,9 °С, в июле равна 2 °С. Средняя месячная температура воздуха в районе станции о. Хейса (Земля Франца-Иосифа) в феврале равна –24,2 °С, в июле равна 0,7 °С. Минимальные значения температуры у берегов Земли Франца-Иосифа составляют –44...–40 °С.

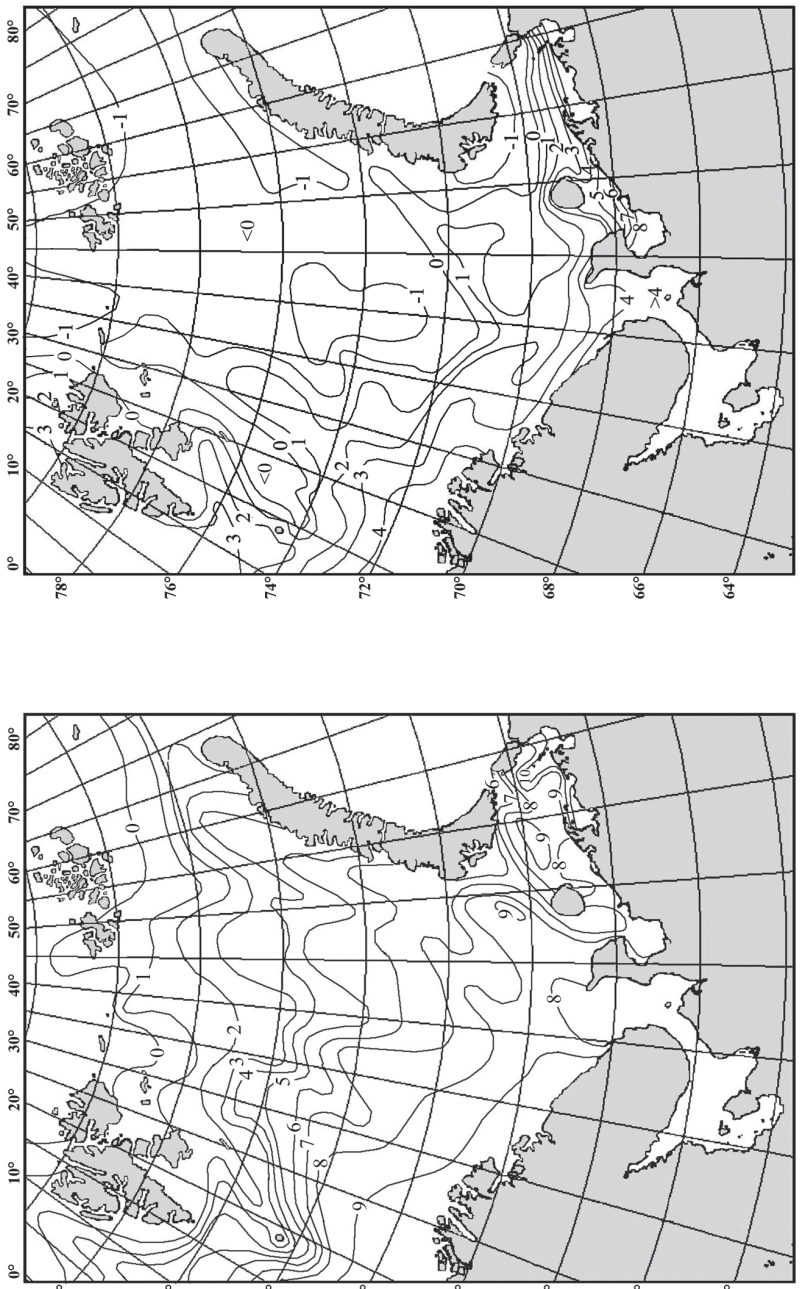
Температура воды. Температурный режим вод Баренцева моря определяется климатическими особенностями, поступлением вод из соседних бассейнов и материковым стоком. Расположение Баренцева моря между Атлантическим океаном и Арктическим бассейном обусловливает его гидрологические особенности. С запада между о. Медвежьим и м. Нордкап проходит ветвь Гольфстрима – Нордкапское течение. Направляясь на восток, оно дает ряд ответвлений, следующих согласно рельефу дна.

В Баренцевом море имеются четыре основных типа водных масс: атлантическая, арктическая, прибрежная и баренцевоморская. *Атлантические* воды поступают из Норвежского моря и характеризуются относительно высокой температурой и соленостью в течение всего года. *Арктические* воды образуются в весенне-летний период в результате таяния льда и имеют низкую температуру и соленость. *Прибрежные* воды формируются при смешении вод моря с материковым стоком (прежде всего рек Печора и Индига), а также приносятся прибрежным течением, идущим вдоль Скандинавского побережья. Эти воды с низкой соленостью характеризуются высокой температурой летом и низкой температурой зимой. *Баренцевоморские* воды образуются в результате перемешивания атлантических, арктических и прибрежных вод и отличаются высокой соленостью и низкой температурой.

Летом на юге моря температура воды в поверхностном слое составляет в среднем 7...10 °С, в центральной части составляет 3...5 °С и на севере понижается до 0 °С. Северная часть Баренцева моря заполнена арктическими водами, центральная – атлантическими, а южная – прибрежными. При этом арктические и прибрежные воды занимают поверхностные горизонты. На глубинах в северной части моря располагаются баренцевоморские воды, а в южной – атлантические. Такая структура обусловливает устойчивое состояние вод по вертикали и затрудняет развитие ветрового перемешивания.

На рис. 2.3 приведено распределение средней месячной температуры воды в поверхностном (а) и придонном (б) слоях в конце лета.

Зимой на юге и юго-западе моря температура на поверхности воды равна 4...5 °С, в центральных районах – около 0 °С, в северной и северо-восточной



а) б)

Рис. 2.3. Распределение температуры воды в Баренцевом море в августе в поверхностном (а) и придонном (б) слоях.

частях она отрицательна и близка к температуре замерзания при данной солености. Вся северо-восточная часть моря от поверхности до дна заполнена баренцевоморскими водами, а юго-западная – атлантическими. Следы прибрежных вод обнаруживаются только в поверхностных горизонтах. Арктические воды почти не прослеживаются. Под влиянием интенсивного перемешивания поступающие в море воды довольно быстро трансформируются в баренцевоморскую воду.

В Баренцевом море на стыке холодных арктических и теплых атлантических вод расположен так называемый «полярный гидрологический фронт». Он характеризуется подъемом глубинных вод с повышенным содержанием биогенных элементов (фосфора, азота и т.д.), что обусловливает обилие фитопланктона в море. Большое влияние на динамику полярного гидрологического фронта оказывают ветер и приливные течения [25, 40, 44, 77].

Соленость воды основной баренцевоморской массы, занимающей около 50 % площади и объема моря, составляет 34,5–34,7 ‰. Наиболее изменчивы значения солености в районе Печорского моря. В результате взаимодействия атлантических и прибрежных вод, а также вод Карского и Белого морей, в юго-восточной части Баренцева моря образуются воды Печорского моря, соленость которых составляет 25–30 ‰.

Температура и соленость определяют величины и распределение плотности воды в Баренцевом море. Наиболее плотные воды на поверхности зимой отмечаются в северной его части, где однонаправленно действуют сильное охлаждение и осолонение воды при ледообразовании. Весной и в особенности летом под влиянием распреснения поверхностных слоев плотностная стратификация вод по вертикали заметно выражена по всему морю. Летом повышенная плотность воды наблюдается в центральных районах моря. На севере ее уменьшение связано с распреснением поверхностных вод в результате таяния льдов, на юге – со значительным прогревом и опресняющим влиянием речного стока. Осеннее охлаждение ведет к выравниванию величин плотности с глубиной [25].

Течения. Общая циркуляция вод Баренцева моря формируется под влиянием ветра, притока вод из соседних бассейнов, приливов, рельефа дна и других факторов. Для Баренцева моря характерно присутствие устойчивых течений, тесно связанных с водообменом на его границах.

На рис. 2.4 приведена расчетная схема постоянных течений в поверхностном слое для безледного периода (ААНИИ) по модели В.А. Буркова [17].

На схеме представлены следующие течения: Прибрежное течение Земли Франца-Иосифа (1), течение Баренца, или Восточно-Шпицбергенское (2), Зюйдкапское (3), Медвежинское (4), течение Персея, или Юго-западное (5), Центральное (6), Литке (7). Эти течения направлены из Арктического бассейна или Карского моря и несут в Баренцево море холодную воду. Теплые течения входят в систему мощного Северо-Атлантического течения (являющегося продолжением Гольфстрима): Южно-Шпицбергенское (8), Нордкапское (9) с ветвями северной (10), центральной (11) и южной (12), Мурманское (13), Мурманское прибрежное (14), Канинское (15),

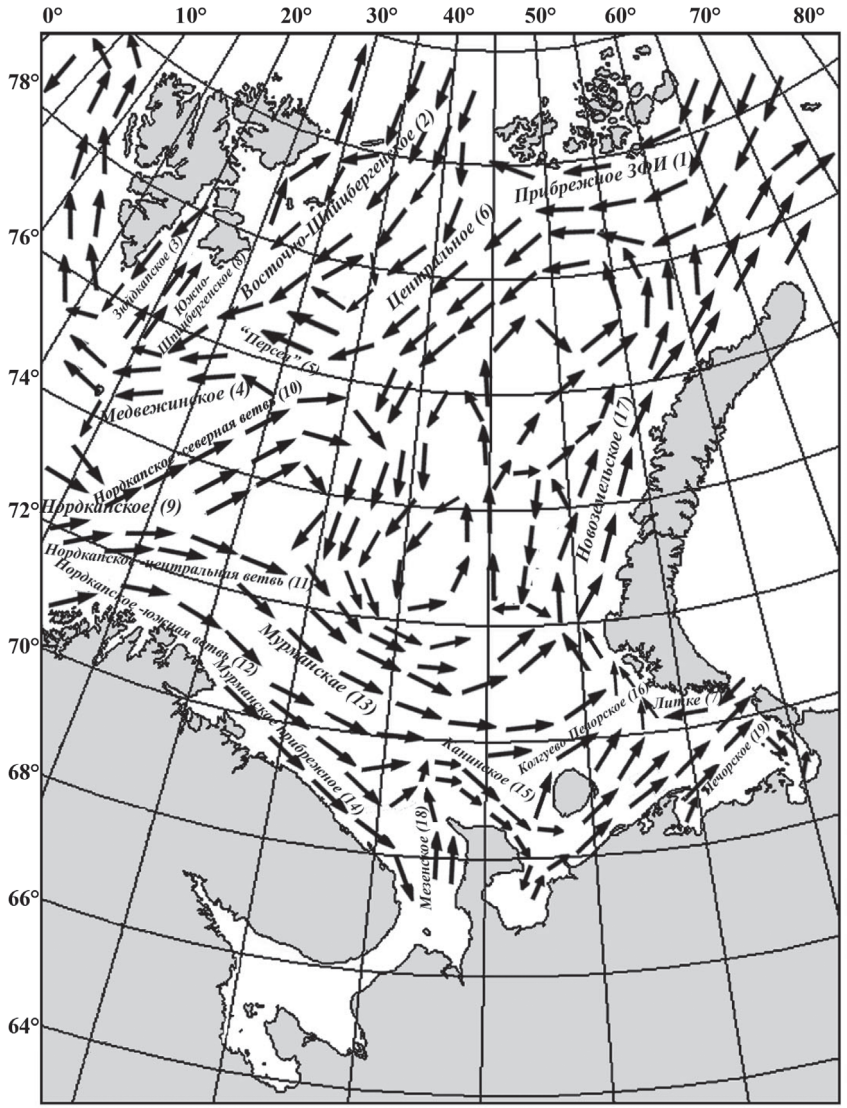


Рис. 2.4. Поверхностные течения в Баренцевом море, подтвержденные расчетной схемой для безледного периода (ААНИИ).

Колгуево-Печорское (16), Новоземельское (17). Особую группу составляют Мезенское течение (18) и Печорское стоковое течение (19). Для них характерна пониженная соленость.

Поверхностные течения Баренцева моря образуют круговорот против часовой стрелки. По южной и восточной периферии моря вода движется на восток и северо-восток. Атлантические воды теплого Нордкапского течения

поступают с запада между о. Медвежий и побережьем материка, и их влияние прослеживается до северных берегов Новой Земли. Северные и западные части круговорота питаются местными и арктическими водами, поступающими из Карского моря и Северного Ледовитого океана. В центральной части моря существует система круговых течений.

Наиболее устойчивый поток образует Нордкапское течение. В прибрежной южной ветви этого течения скорость воды на поверхности моря составляет 25–40 см/с. В северной ветви скорости значительно меньше и не превышают 10–15 см/с. Достаточно высокие скорости (порядка 50 см/с) наблюдаются в Медвежинском течении, которое, сливаясь, образуют воды Восточно-Шпицбергенского течения и течения Персея. Скорости постоянных течений в других районах моря менее 10 см/с, что, как правило, в несколько раз меньше приливной составляющей, а при сильных ветрах – и дрейфовой составляющей. Поэтому схему, приведенную на рис. 2.4, сложно проверить, она нуждается в дальнейшем уточнении.

Приливно-отливные явления имеют большое значение, особенно у берегов. Приливы в Баренцевом море вызываются главным образом атлантической приливной волной полусуточного характера, которая вступает в море с запада между мысом Нордкап и архипелагом Шпицберген и движется параллельно Мурманскому берегу на восток до Новой Земли. На северные окраины моря оказывает влияние и другая приливная волна, поступающая с севера. Скорости приливных течений, как правило, превышают скорости постоянных. Их наибольшее значение (около 150 см/с) отмечается в поверхностном слое. Большими скоростями характеризуются приливные течения вдоль Мурманского берега, при входе в Воронку Белого моря, в Канино-Колгуевском районе и на Южно-Шпицбергенском мелководье [33, 44].

Уровень моря. Приливы вызывают значительные изменения уровня Баренцева моря. Максимальные приливы отмечены у м. Нордкап (до 4 м) и в фьордах Мурманского побережья; далее к северу и востоку величина приливов уменьшается до 1,0–1,5 м у Шпицбергена и до 0,8 м – вблизи Новой Земли. У южных берегов Земли Франца-Иосифа величина прилива составляет всего 0,4–0,5 м. Наряду с доминирующими приливными колебаниями заметно выражены сгонно-нагонные колебания уровня, вызванные сильными и продолжительными ветрами. Суммарные колебания уровня наиболее значительны (до 3–4 м) у Кольского побережья, а также у Шпицбергена и в юго-восточной части моря (до 1–2 м), меньшие величины (до 1 м) наблюдаются у берегов Новой Земли.

Волнение моря. Наибольшую повторяемость имеют волны высотой 2–4 м. Зимой во время штормов при устойчивых (не менее 16–18 часов) ветрах западной четверти до 20–25 м/с в центральных районах моря волны могут достигать высоты 10–12 м (крайне редко – 14 м). В прибрежных районах при продолжительных штормовых ветрах северной четверти высота волн достигает 7–8 м. Начиная с апреля интенсивность волнения уменьшается.

2.2. Факторы, обусловливающие состояние ледяного покрова Баренцева моря

Ледовый режим Баренцева моря формируется под воздействием Атлантического и Северного Ледовитого океанов. Благодаря притоку теплых атлантических вод, приносимых ответвлениями течения Гольфстрим, Баренцево море практически никогда (даже в самые суровые зимы) не покрывается полностью льдом. В этом его основное отличие от других морей арктического шельфа. Хорошая изоляция от ледяных массивов Арктического бассейна и Карского моря имеет особое значение для ледовых условий Баренцева моря. Его юго-западная часть не замерзает, за исключением отдельных фьордов Мурманского побережья.

Начало ледообразования в Баренцевом море зависит не только от изменчивости погодных условий в осенний период, но и от теплозапаса воды в различных районах моря, а для северных районов – от площади старых льдов.

Ветровая активность влияет на перемешивание воды и, следовательно, на скорость выхолаживания поверхностного слоя воды, в прямой зависимости от которой находятся сроки начала ледообразования. Относительно слабо выраженная плотностная стратификация при сильных ветрах осенью обусловливает развитие ветрового перемешивания в Баренцевом море. Оно распространяется здесь до горизонтов 25–30 м в осенне-зимний сезон, ускоряя конвективное перемешивание. Лишь в юго-восточной части моря, где существуют слои вод с различными характеристиками, ветер перемешивает только верхние слои до горизонтов 10–12 м.

Изрезанность береговой черты Баренцева моря оказывает существенное влияние на условия формирования и развития припая. Устойчивый припай ежегодно устанавливается в вершинах губ и заливов, однако вдоль открытого побережья Новой Земли и материка от Печорской губы до м. Канин Нос припай наблюдается обычно в виде узкой полосы, подвергаясь при этом частым взломам в связи с высокой ветровой активностью.

Ветровой дрейф и постоянные течения определяют ледообмен Баренцева моря с Арктическим бассейном, Карским и Белым морями.

С повторяемостью направления ветров тесно связано появление заприпайных полыней у южного и юго-западного побережья архипелага Земля Франца-Иосифа, у островов Колгуев и Вайгач, а также вдоль материкового побережья юго-восточной части Баренцева моря. Средняя ширина заприпайных полыней вдоль материкового побережья юго-восточной части Баренцева моря составляет 15–30 км.

В табл. 2.1 приведена повторяемость и средняя ширина заприпайных полыней у побережья Земли Франца-Иосифа [61, 72].

Преобладающие с октября по апрель юго-западные и западные ветры в южной и западной частях моря способствуют удерживанию кромки в восточном положении.

Таблица 2.1

Повторяемость P (%) и средняя ширина L (км) заприпайных полыней в ноябре–июне у побережья архипелага Земля Франца-Иосифа

Район	P	L
Северо-восточное побережье	60	24
Юго-восточное побережье	47	24
Западное побережье	74	60

Очищение моря ото льда начинается раньше и протекает быстрее в районах, где ярко выражено влияние теплых течений. На северо-западе наиболее быстрое отступление кромки на север наблюдается в районе северной ветви Нордкапского течения.

2.3. Типизация зим по степени суровости в Баренцевом море

Для юго-восточной части Баренцева моря по 73-летнему периоду наблюдений на ГМС Нарьян-Мар в XX веке (с сезона 1927/1928 гг. по сезон 1999/2000 гг.) рассчитаны интервалы критериев суровости зим по суммам градусодней мороза (в °С):

– мягкая зима <2030;
– умеренная зима 2030–2790;
– суровая зима >2790.

Средняя за весь период наблюдений сумма градусодней мороза составила 2380 °С, максимальная – 3633 °С (1968/1969 гг.), минимальная – 1433 °С (1936/1937 гг.).

В табл. 2.2 представлены результаты типизации зим в Нарьян-Маре за 85-летний период. За 73-летний период наблюдений за температурой воздуха в XX веке на юго-востоке Баренцева моря были выявлены 12 мягких и 14 суровых зим (16 и 19 % соответственно). В последние 30 лет (с зимнего сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг.) наблюдалось 5 мягких зим и 4 суровые зимы (17 и 13 % соответственно), за 12 лет XXI века – 3 мягких зимы, суровых зим не наблюдалось (25 и 0 % соответственно).

В табл. 2.3 представлены результаты типизации зим по суровости в районе Баренцбурга (Шпицберген) за 100-летний период. Для северо-западной части Баренцева моря по 88-летнему периоду наблюдений в XX веке (с сезона 1912/1913 гг. по сезон 1999/2000 гг.) на Шпицбергене на ГМС Баренцбург (Россия) и Свальбард (Норвегия) рассчитаны интервалы критериев суровости зим по суммам градусодней мороза (в °С):

– мягкая зима <1920;
– умеренная зима 1920–2750;
– суровая зима >2750.

Таблица 2.2

Типизация зим в Нарьян-Маре
(М – мягкая зима, У – умеренная зима, С – суровая зима)

Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы
1927/28	У	1949/50	У	1971/72	У	1993/94	У
1928/29	С	1950/51	У	1972/73	У	1994/95	М
1929/30	У	1951/52	У	1973/74	У	1995/96	У
1930/31	У	1952/53	У	1974/75	У	1996/97	У
1931/32	У	1953/54	М	1975/76	У	1997/98	С
1932/33	У	1954/55	У	1976/77	У	1998/99	С
1933/34	У	1955/56	С	1977/78	У	1999/00	У
1934/35	М	1956/57	У	1978/79	С	2000/01	У
1935/36	У	1957/58	С	1979/80	У	2001/02	У
1936/37	М	1958/59	У	1980/81	У	2002/03	У
1937/38	М	1959/60	У	1981/82	У	2003/04	У
1938/39	У	1960/61	У	1982/83	У	2004/05	У
1939/40	У	1961/62	М	1983/84	М	2005/06	У
1940/41	С	1962/63	У	1984/85	С	2006/07	М
1941/42	С	1963/64	С	1985/86	У	2007/08	М
1942/43	М	1964/65	У	1986/87	С	2008/09	У
1943/44	М	1965/66	С	1987/88	У	2009/10	У
1944/45	У	1966/67	М	1988/89	У	2010/11	У
1945/46	С	1967/68	У	1989/90	У	2011/12	М
1946/47	У	1968/69	С	1990/91	У		
1947/48	У	1969/70	У	1991/92	У		
1948/49	У	1970/71	У	1992/93	У		

За весь 100-летний период наблюдений на Шпицбергене средняя СГДМ составила 2285 °С, максимальная – 3860 °С (1968/1969 гг.), минимальная – 1199 °С (2011/2012 гг.). За 88-летний период наблюдений за температурой воздуха в XX веке на Шпицбергене были выявлены 18 мягких и 14 суровых зим (20 и 16 % соответственно). За последние 30 лет наблюдалось 8 мягких зим и 2 суровые зимы (27 и 7 % соответственно), за 12 лет XXI века – 6 мягких зим, суровых зим не наблюдалось (50 и 0 % соответственно).

По данным ГМС Нарьян-Мар и ГМС Баренцбург для мягкой зимы, в большой степени соответствующей типовым характеристикам, оказался ледовый сезон 2007/2008 гг., для умеренной зимы – 2010/2011 гг., для суровой зимы – 1978/1979 годов. К сожалению, данные ледовых разведок за 1979 г. оказались недостаточными для построения полных ледовых карт

по Баренцеву морю в марте–сентябре. В связи с этим севернее параллели 73° с.ш. использованы данные ледовых разведок за 1966 г., также являвшийся суровым годом.

Таблица 2.3

Типизация зим в Баренцбурге
(М – мягкая зима, У – умеренная зима, С – суровая зима)

Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы
1912/13	У	1937/38	М	1962/63	С	1987/88	С
1913/14	У	1938/39	М	1963/64	У	1988/89	С
1914/15	У	1939/40	У	1964/65	У	1989/90	У
1915/16	С	1940/41	У	1965/66	С	1990/91	У
1916/17	С	1941/42	У	1966/67	С	1991/92	У
1917/18	У	1942/43	У	1967/68	С	1992/93	У
1918/19	У	1943/44	У	1968/69	С	1993/94	У
1919/20	У	1944/45	М	1969/70	У	1994/95	У
1920/21	У	1945/46	У	1970/71	С	1995/96	У
1921/22	У	1946/47	У	1971/72	У	1996/97	У
1922/23	М	1947/48	У	1972/73	М	1997/98	У
1923/24	М	1948/49	У	1973/74	У	1998/99	М
1924/25	М	1949/50	М	1974/75	У	1999/00	У
1925/26	У	1950/51	У	1975/76	У	2000/01	М
1926/27	У	1951/52	С	1976/77	У	2001/02	У
1927/28	У	1952/53	У	1977/78	У	2002/03	У
1928/29	С	1953/54	М	1978/79	С	2003/04	У
1929/30	У	1954/55	М	1979/80	У	2004/05	У
1930/31	М	1955/56	У	1980/81	С	2005/06	М
1931/32	У	1956/57	М	1981/82	У	2006/07	М
1932/33	М	1957/58	У	1982/83	У	2007/08	М
1933/34	М	1958/59	У	1983/84	У	2008/09	У
1934/35	У	1959/60	М	1984/85	М	2009/10	М
1935/36	У	1960/61	У	1985/86	У	2010/11	У
1936/37	М	1961/62	У	1986/87	У	2011/12	М

На рис. 2.5–2.14 представлена ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине октября–декабря 2007 г., 2010 г. и 1978 г. в Баренцевом море. В октябре-ноябре на трассе м. Канин Нос – север о. Колгуев – м. Карские Ворота, как правило, существуют условия для безледокольного плавания, поэтому информация о преобладающих характеристиках ледовой обстановки в трассовой зоне приведена начиная с декабря (табл. 2.4).

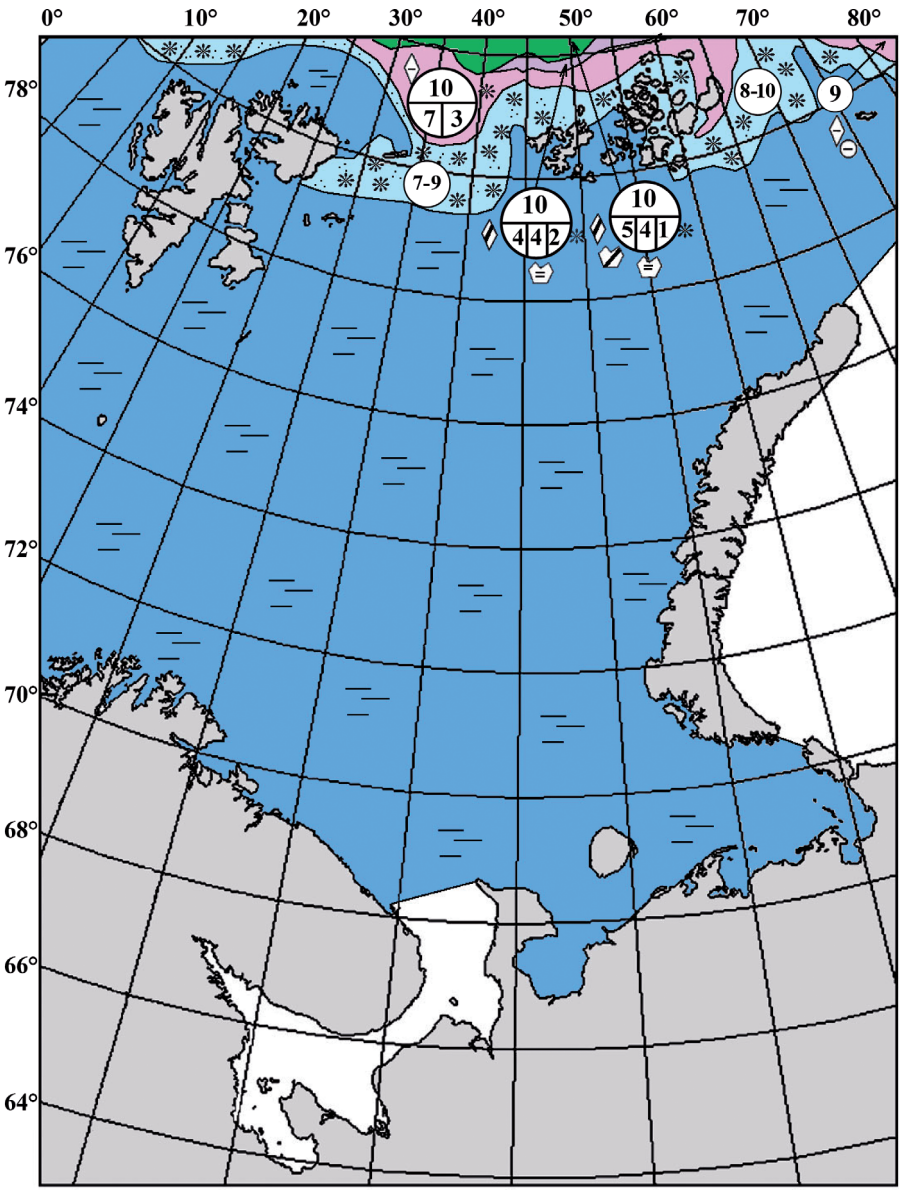


Рис. 2.5. Ледовая обстановка в Баренцевом море в октябре 2007 года. Мягкая зима.

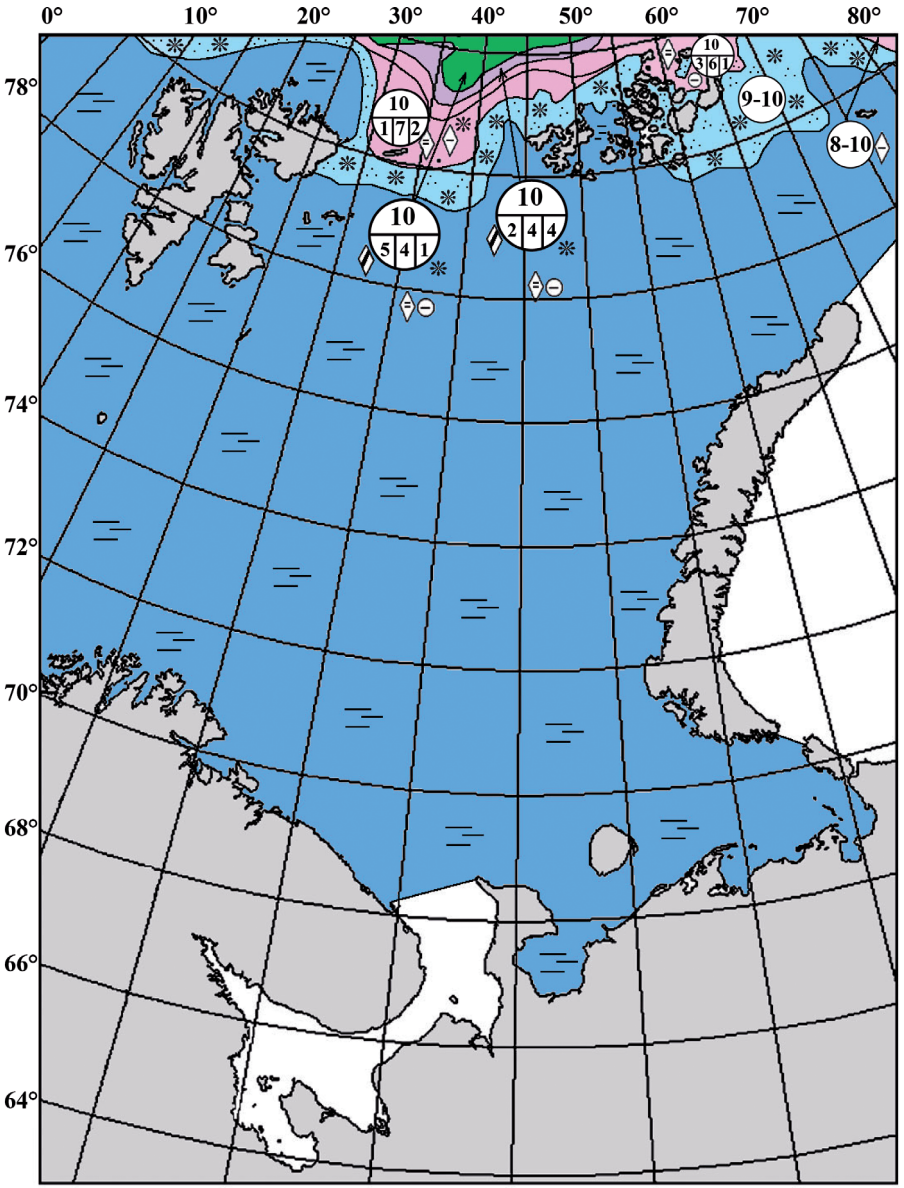


Рис. 2.6. Ледовая обстановка в Баренцевом море в октябре 2010 года. Умеренная зима.

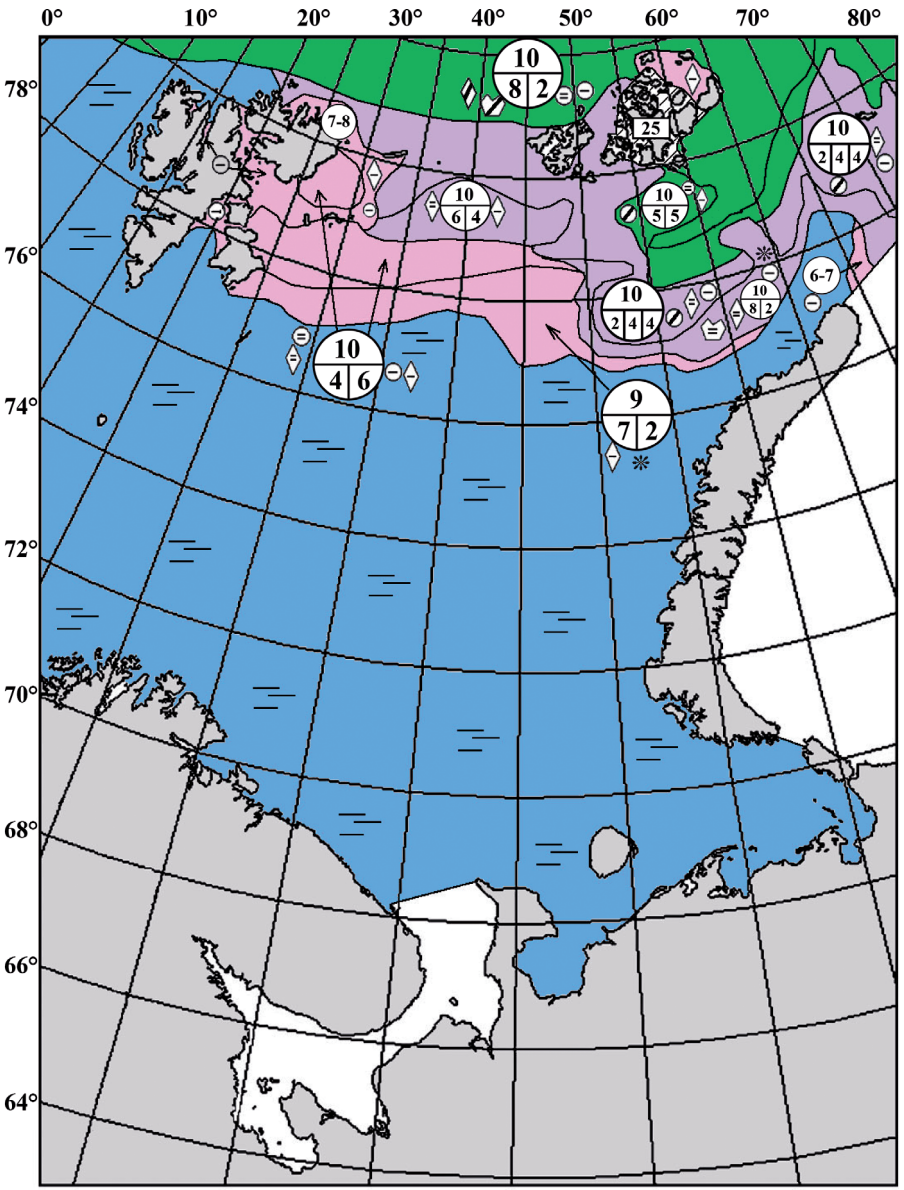


Рис. 2.7. Ледовая обстановка в Баренцевом море в октябре 1978 года. Суровая зима.

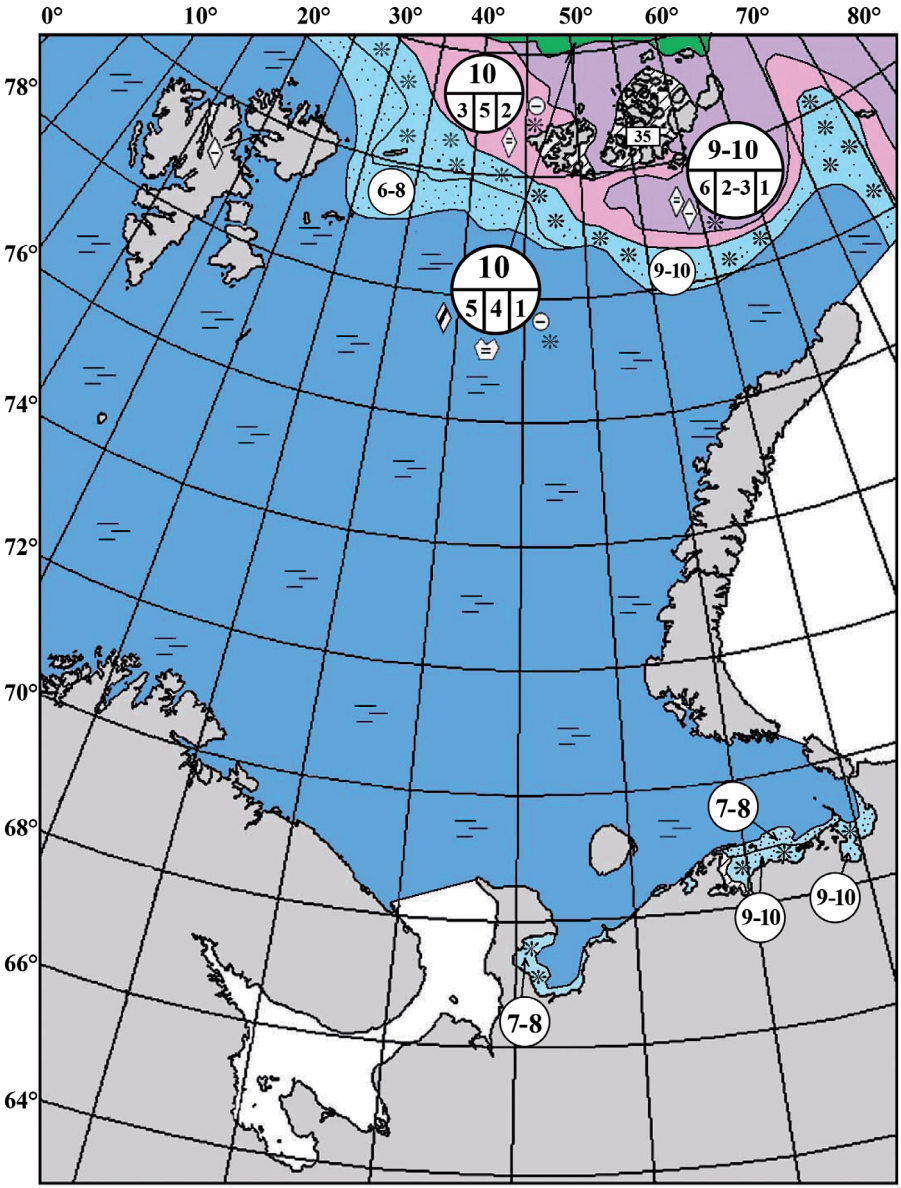


Рис. 2.8. Ледовая обстановка в Баренцевом море в ноябре 2007 года. Мягкая зима.

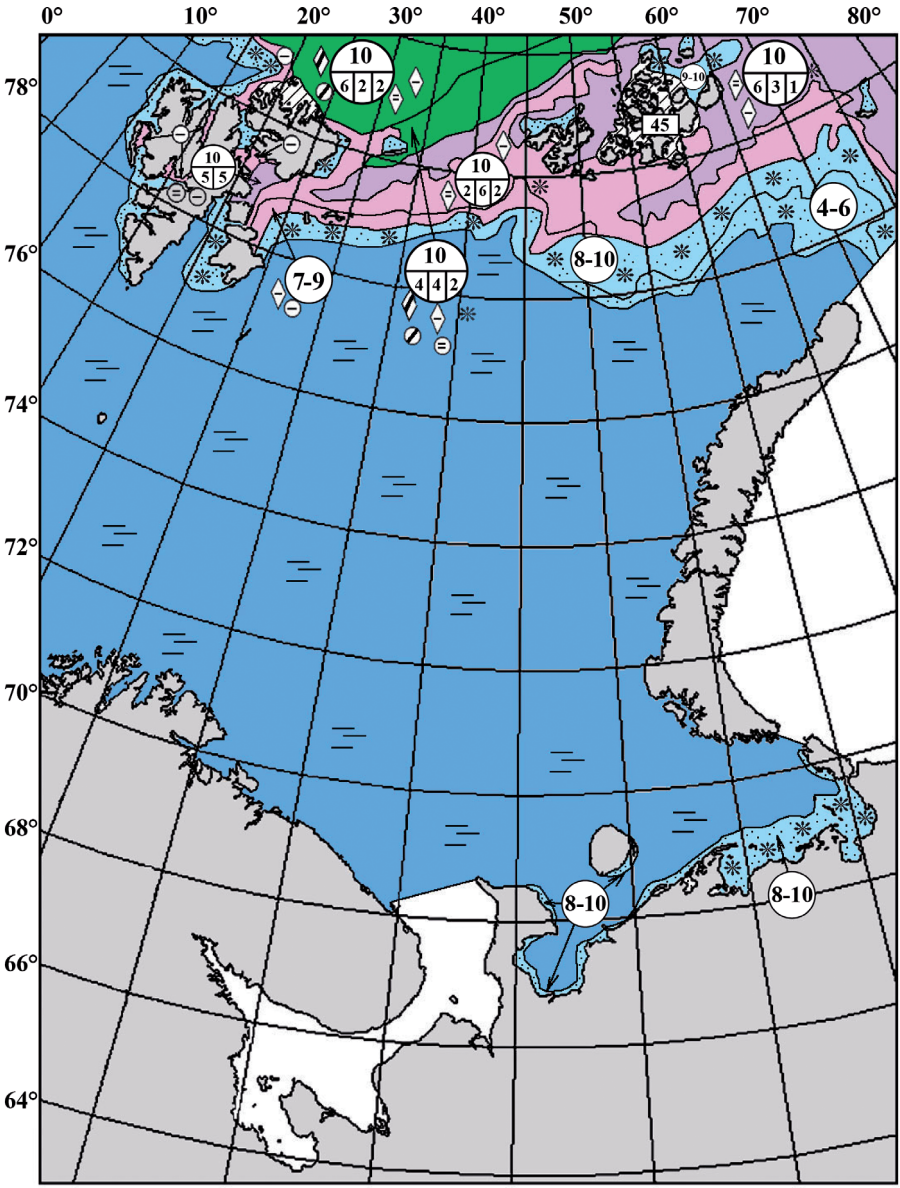


Рис. 2.9. Ледовая обстановка в Баренцевом море в ноябре 2010 года. Умеренная зима.

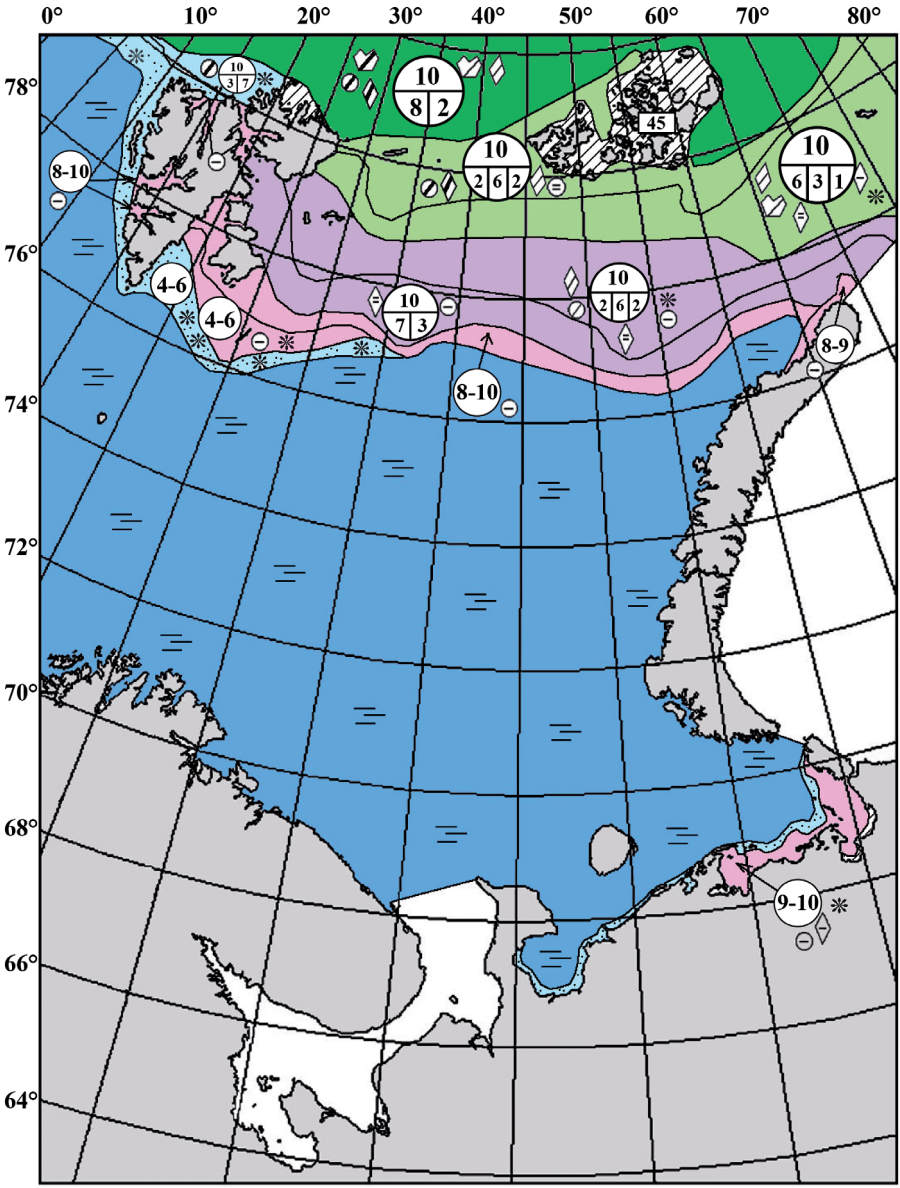


Рис. 2.10. Ледовая обстановка в Баренцевом море в ноябре 1978 года. Суровая зима.

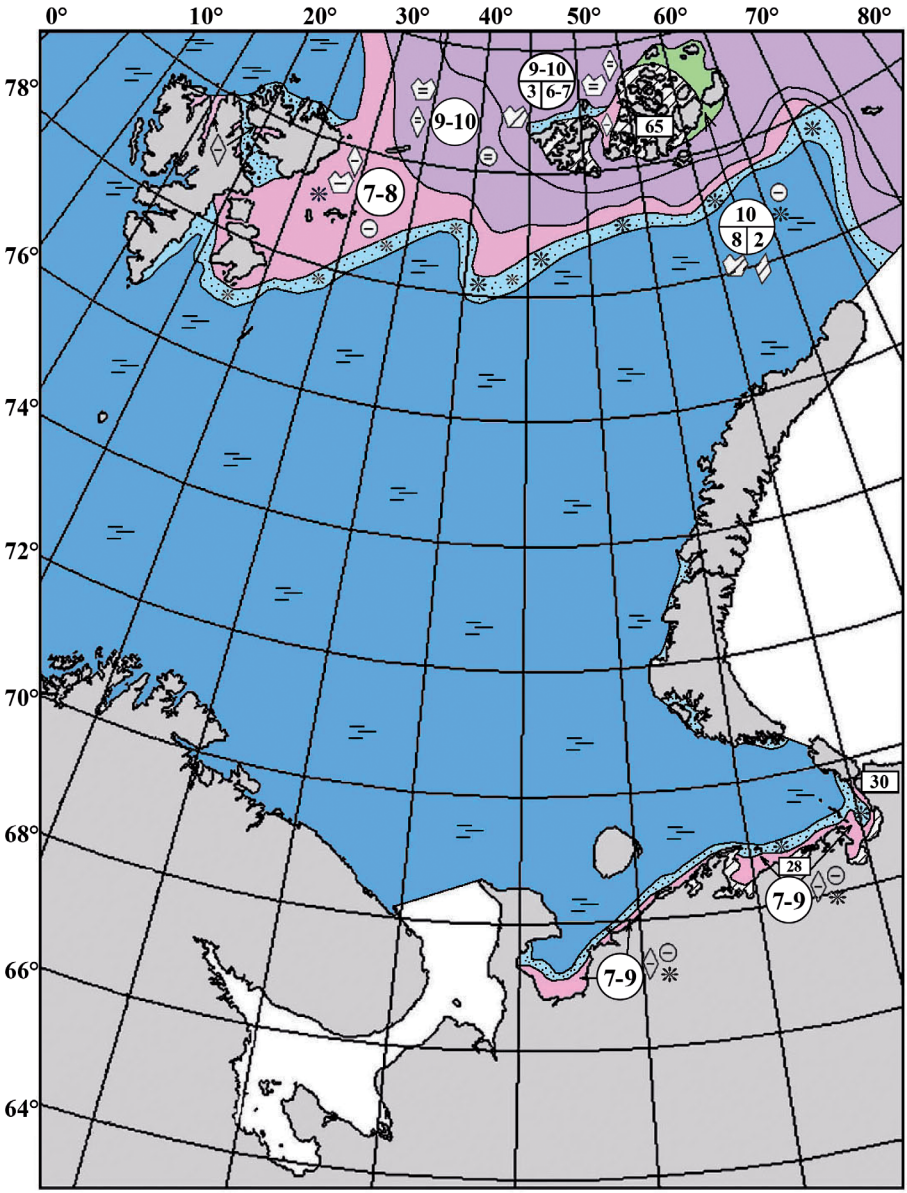


Рис. 2.11. Ледовая обстановка в Баренцевом море в декабре 2007 года. Мягкая зима.

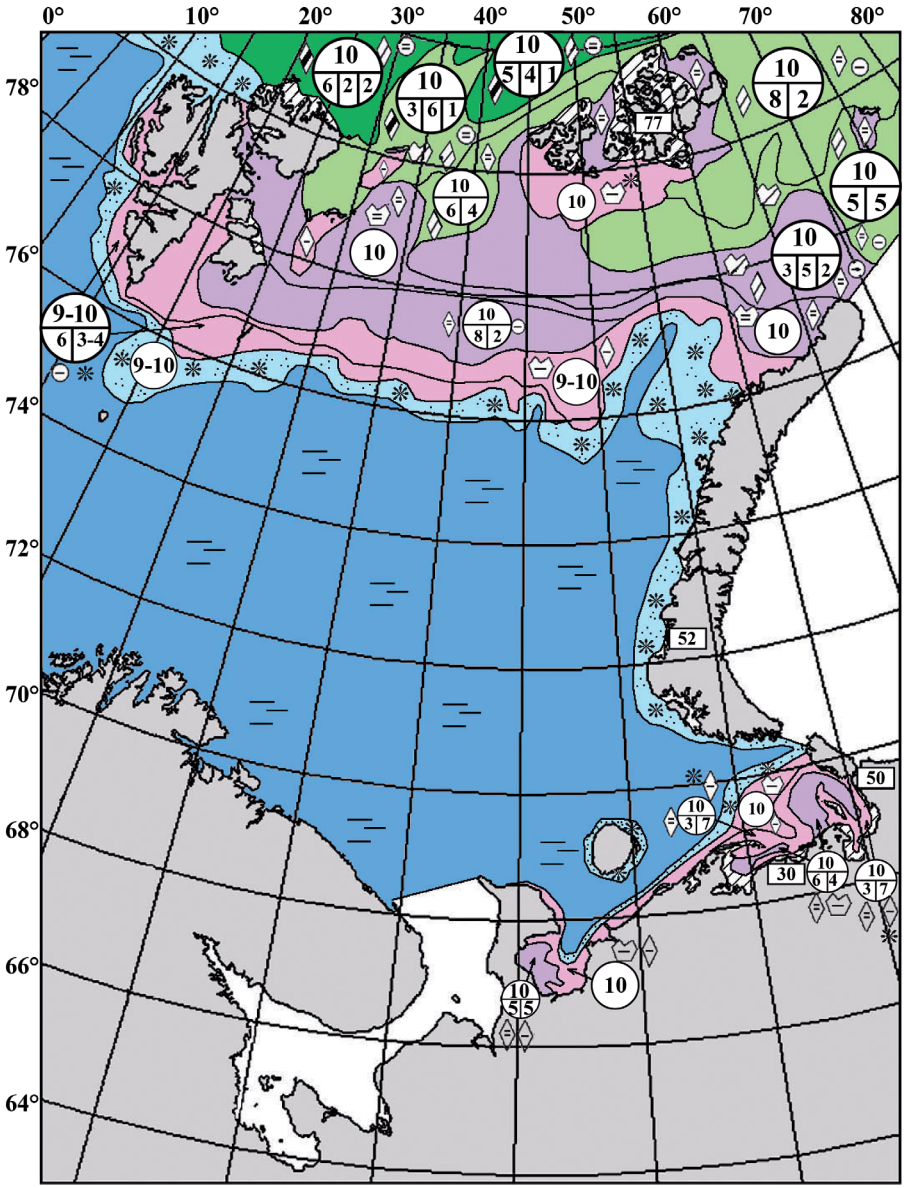


Рис. 2.12. Ледовая обстановка в Баренцевом море в декабре 2010 года. Умеренная зима.

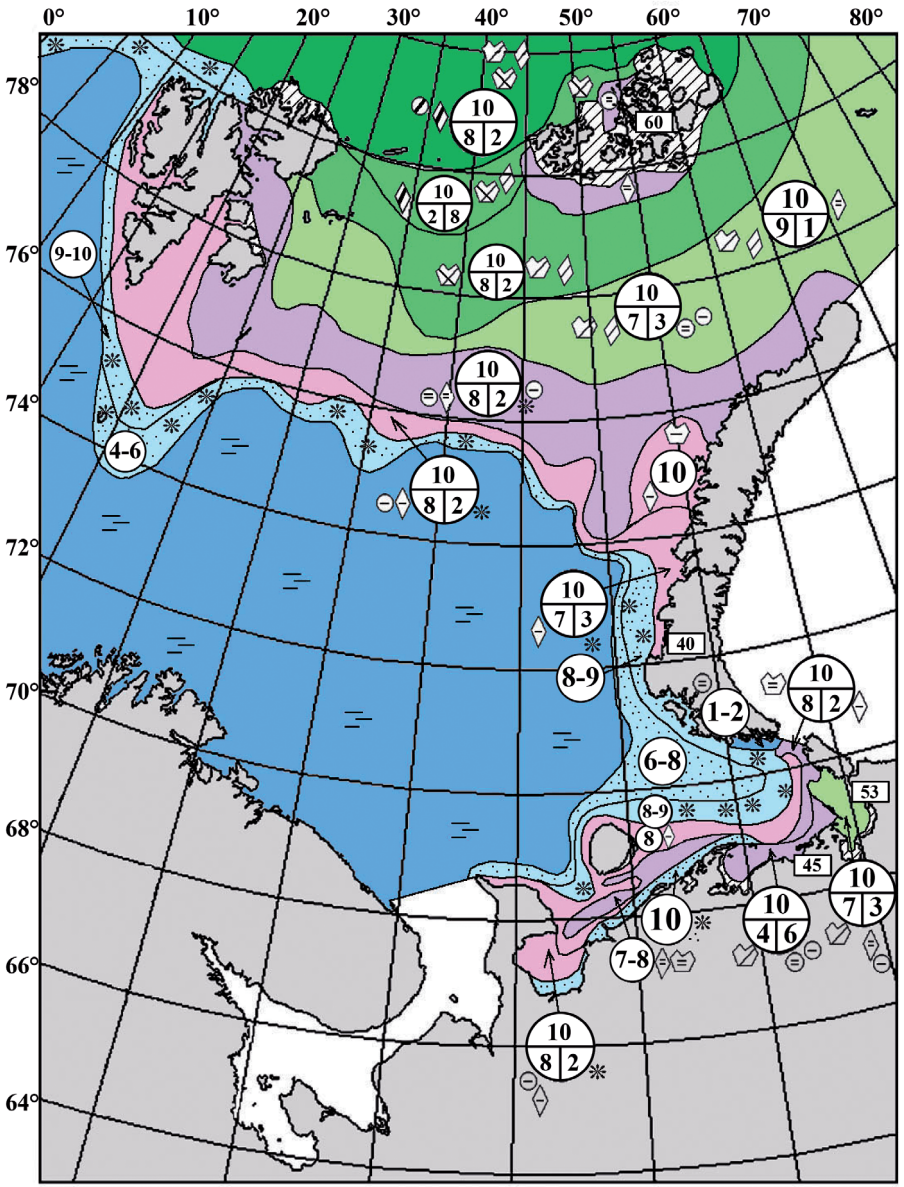


Рис. 2.13. Ледовая обстановка в Баренцевом море в декабре 1978 года. Суровая зима.

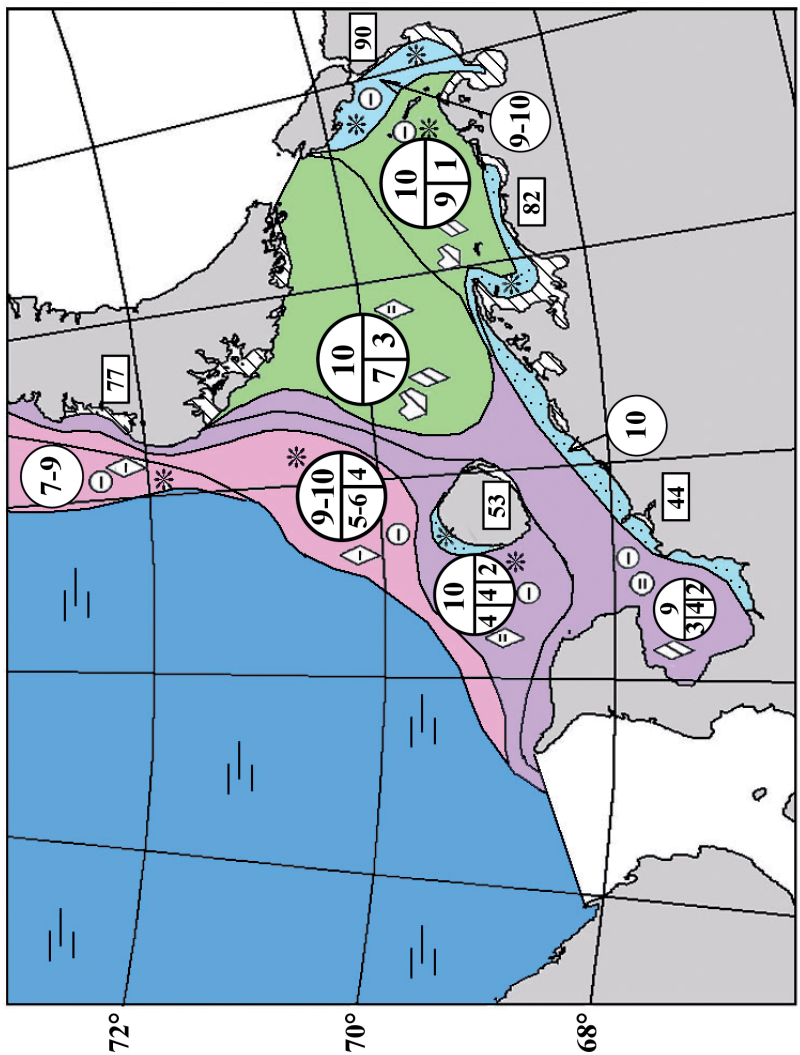


Рис. 2.14. Ледовая обстановка в декабре 1968 г. на юго-востоке Баренцева моря. Самая суровая зима.

Таблица 2.4

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на участке трассы траверз м. Канин Нос – север о. Колгуев – пролив Карские Ворота в декабре

Участок трассы	м. Канин Нос – о. Колгуев	о. Колгуев – траверз м. Русский Заворот	Траверз м. Русский Заворот – о. Вайгач
Мягкая зима			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	чисто
Умеренная зима			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	9–10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	нилас, начальные виды
Суровая зима			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	6–9	8–9	9–10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	нилас	серый, нилас	серо-белый, серый
Самая суровая зима			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый, серый	тонкий однолетний (до 50 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 50 см)

На рис. 2.15–2.29 представлена ледовая обстановка, наблюдавшаяся в январе–мае 2008 г., 2011 г., а также 1979 г. и 1966 г. в Баренцевом море.

В табл. 2.5–2.9 приведена информация о преобладающих характеристиках ледовой обстановки на участке трассы траверз м. Канин Нос – север о. Колгуев – пролив Карские Ворота в январе–мае. Раскраска на рис. 2.5–2.29 – по преобладающей возрастной характеристике дрейфующего льда [76].

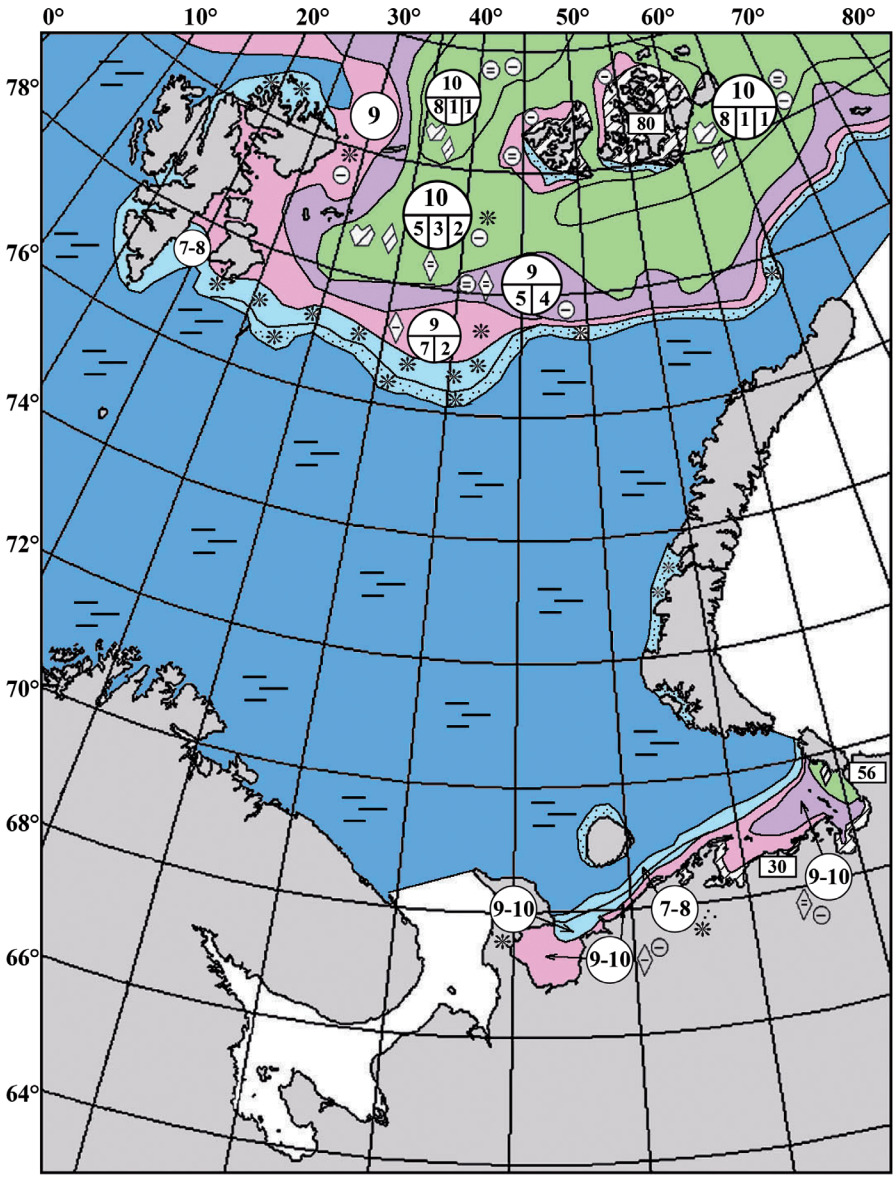


Рис. 2.15. Ледовая обстановка в Баренцевом море в январе 2008 года. Мягкая зима.

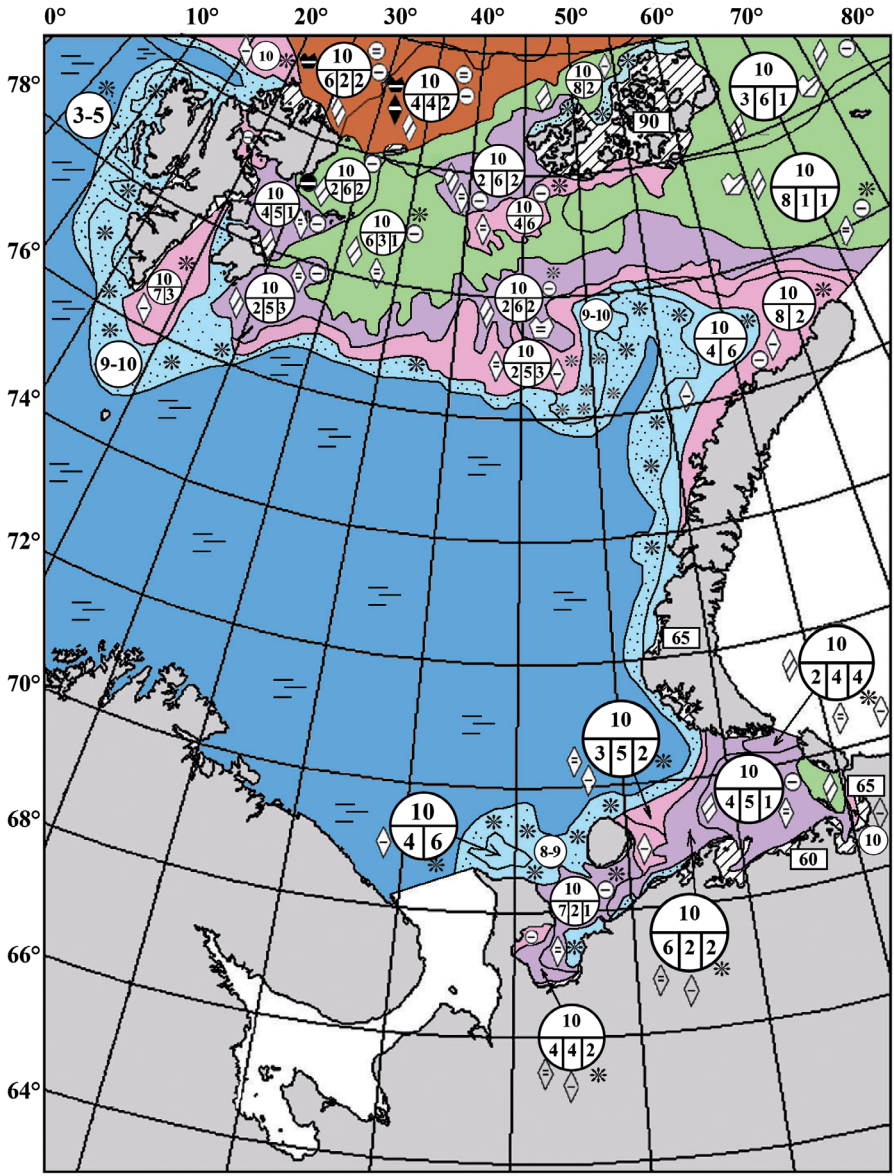


Рис. 2.16. Ледовая обстановка в Баренцевом море в январе 2011 г. Умеренная зима.

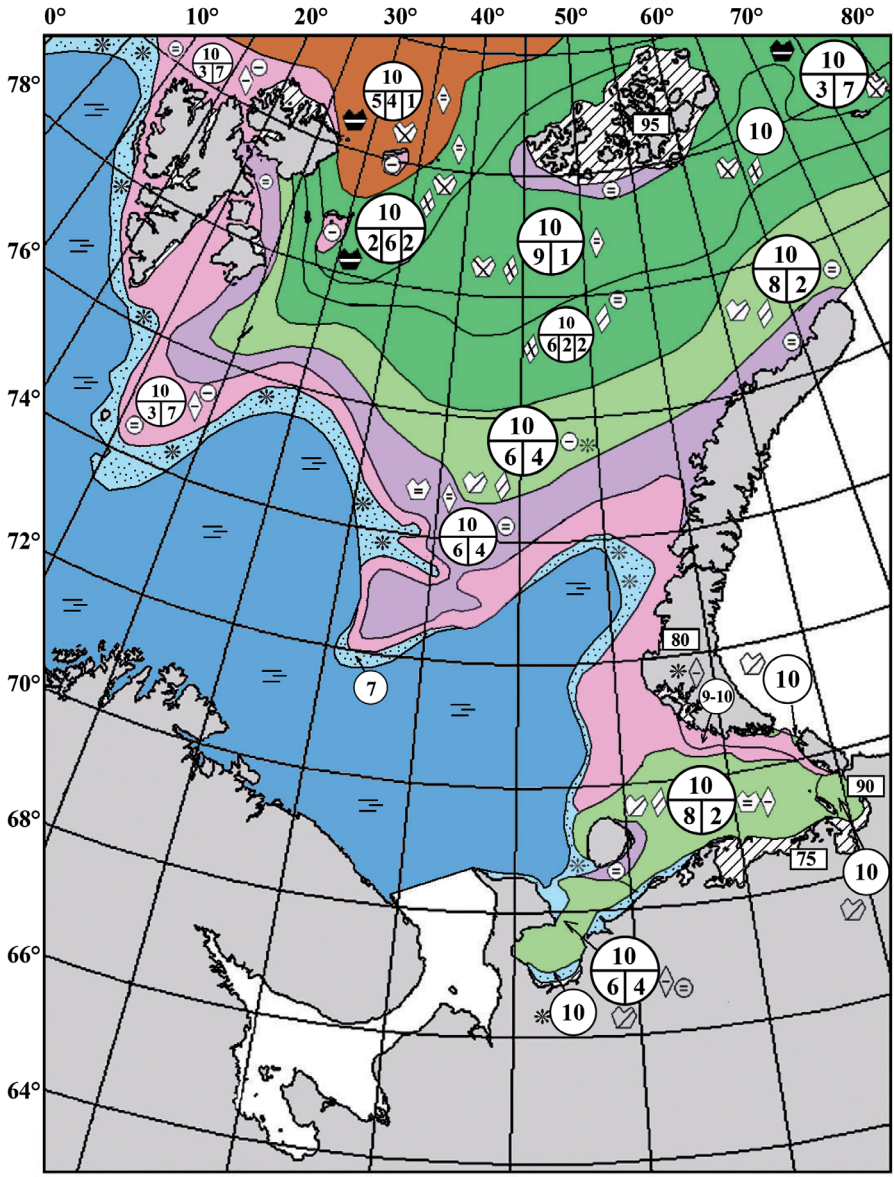


Рис. 2.17. Ледовая обстановка в Баренцевом море в январе 1979 г. Суровая зима.

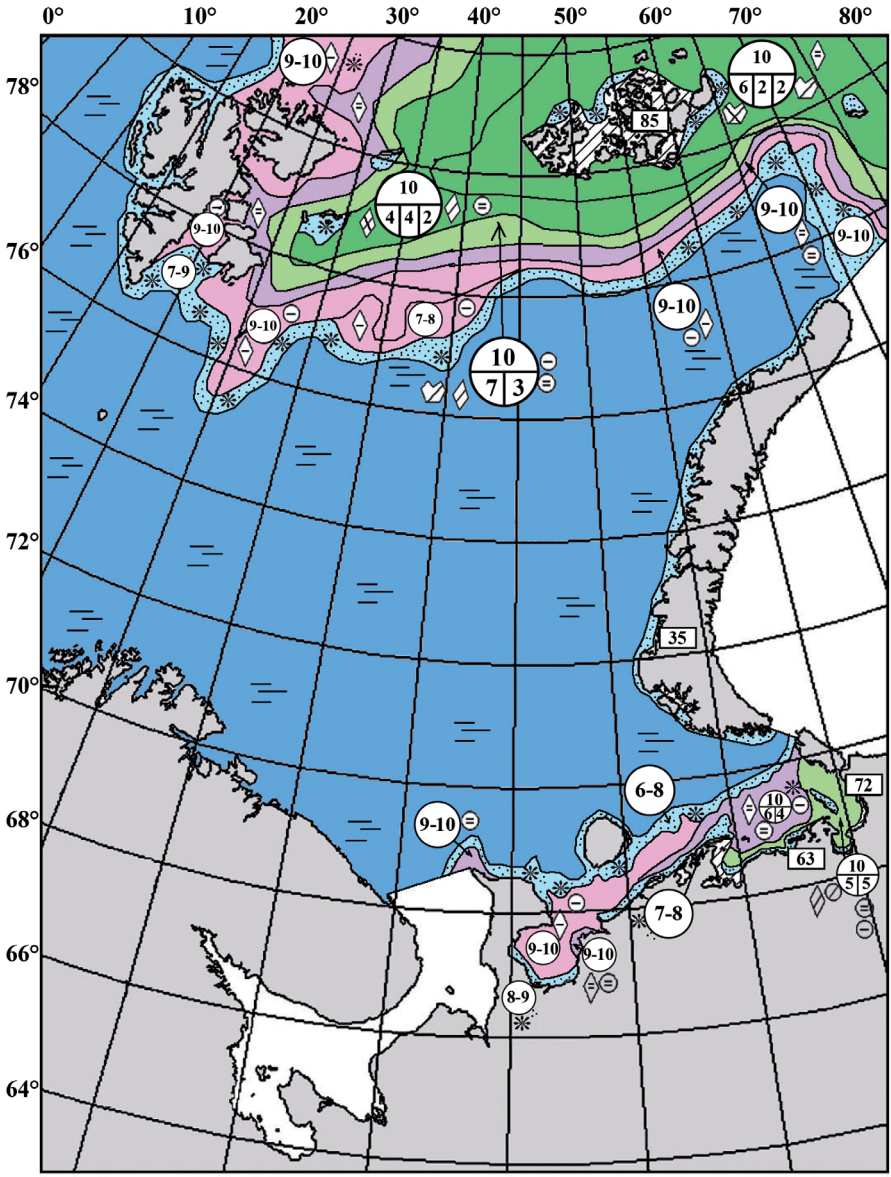


Рис. 2.18. Ледовая обстановка в Баренцевом море в феврале 2008 года. Мягкая зима.

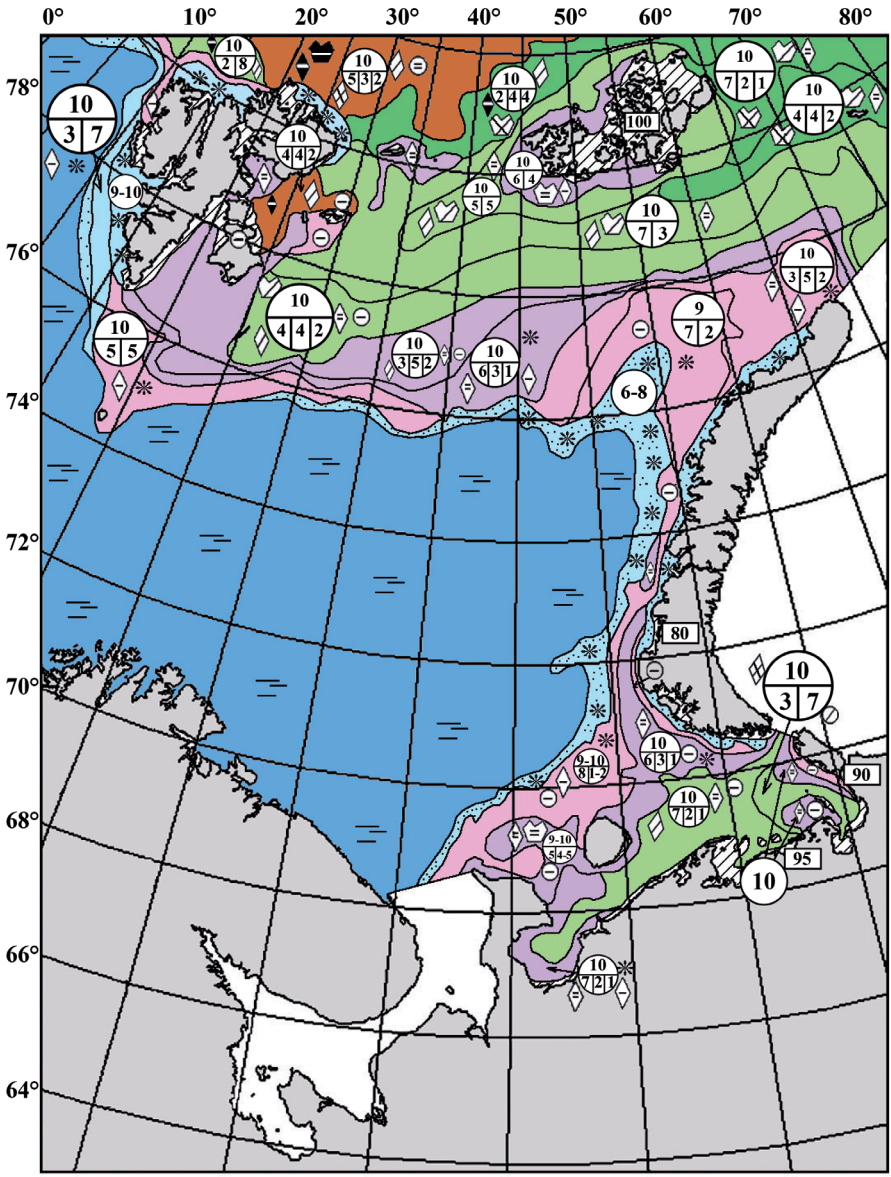


Рис. 2.19. Ледовая обстановка в Баренцевом море в феврале 2011 года. Умеренная зима.

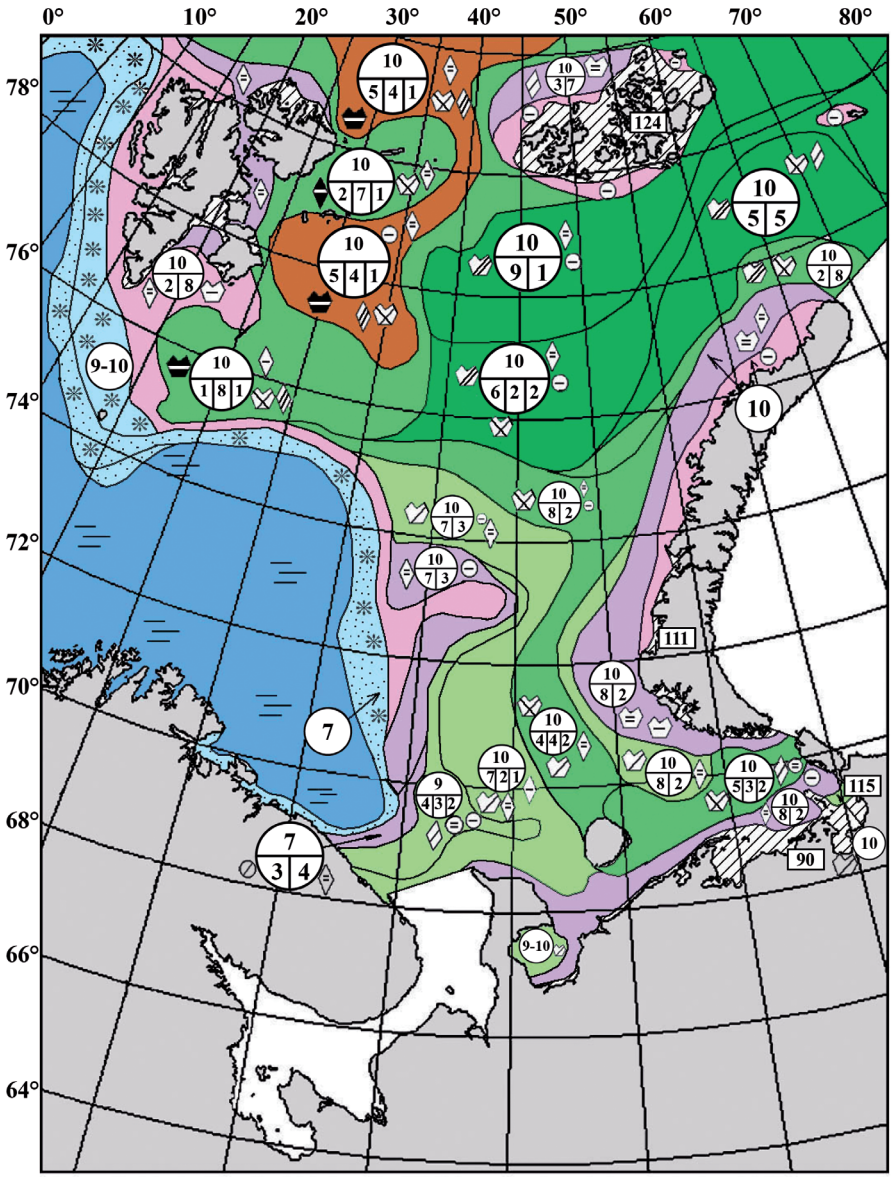


Рис. 2.20. Ледовая обстановка в Баренцевом море в феврале 1979 года. Суровая зима.

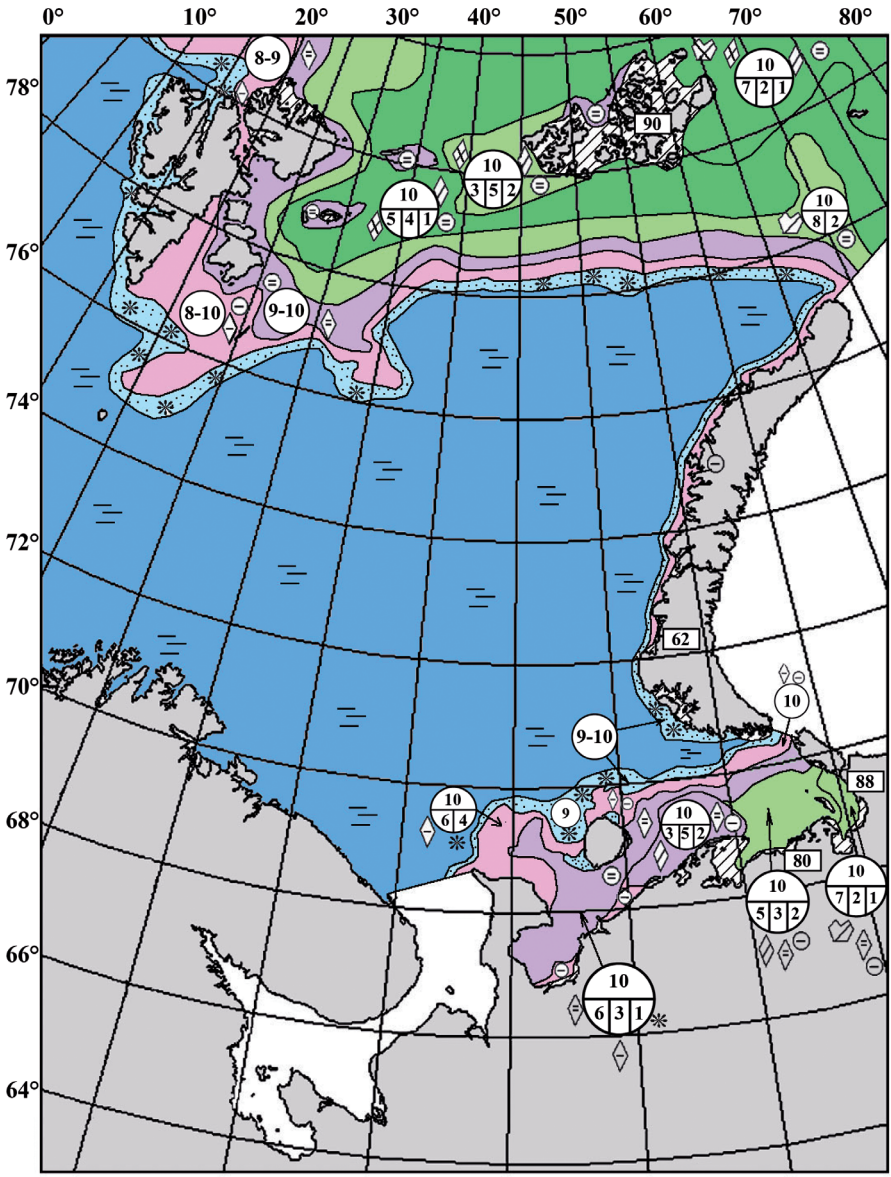


Рис. 2.21. Ледовая обстановка в Баренцевом море в марте 2008 года. Мягкая зима.

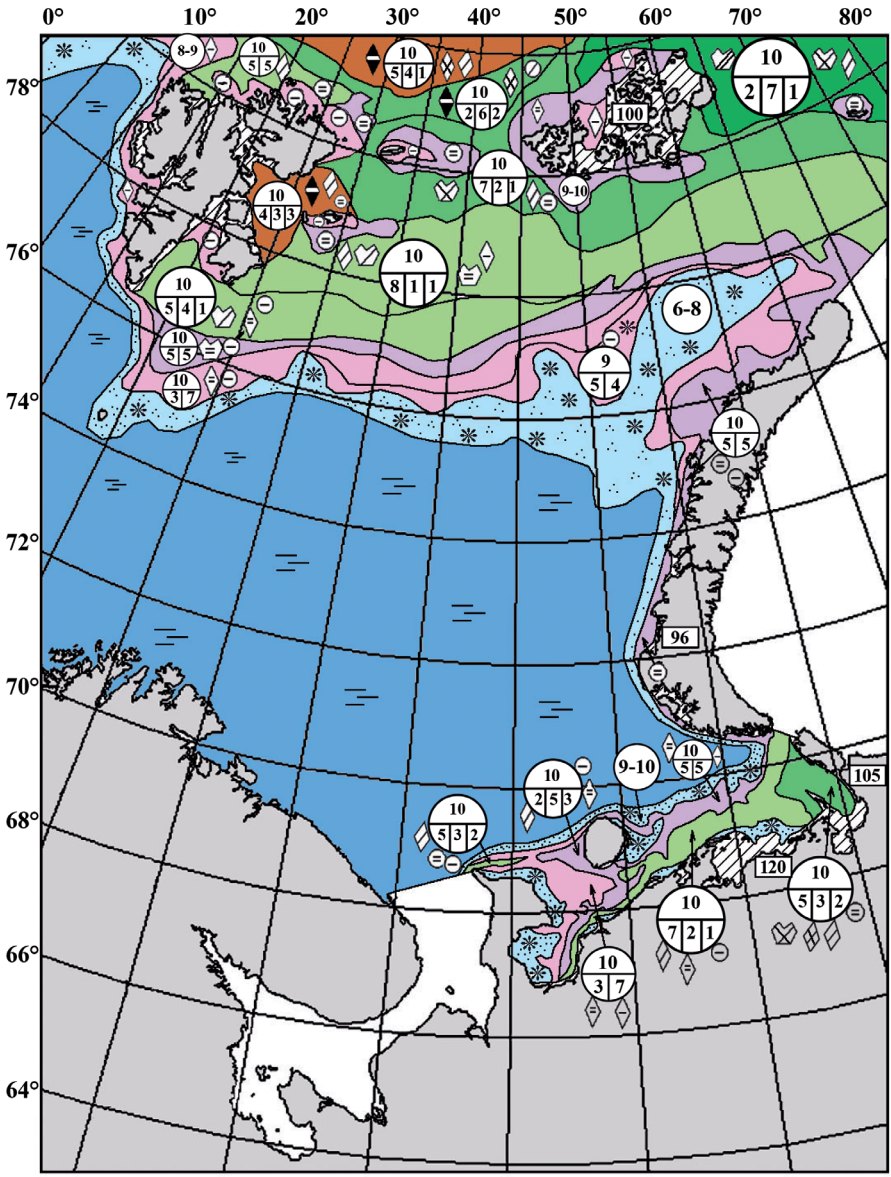


Рис. 2.22. Ледовая обстановка в Баренцевом море в марте 2011 года. Умеренная зима.

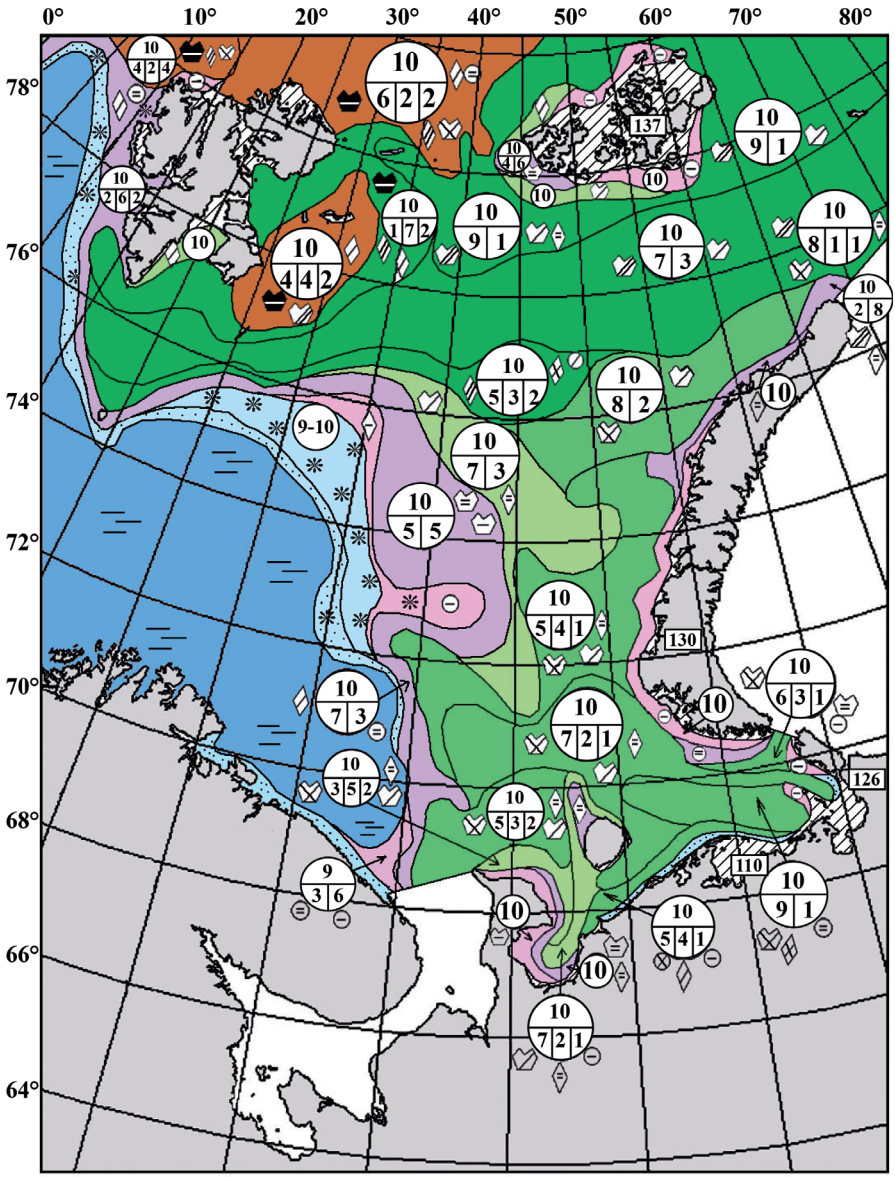


Рис. 2.23. Ледовая обстановка в Баренцевом море в марте 1979 г., 1966 года. Суровая зима.

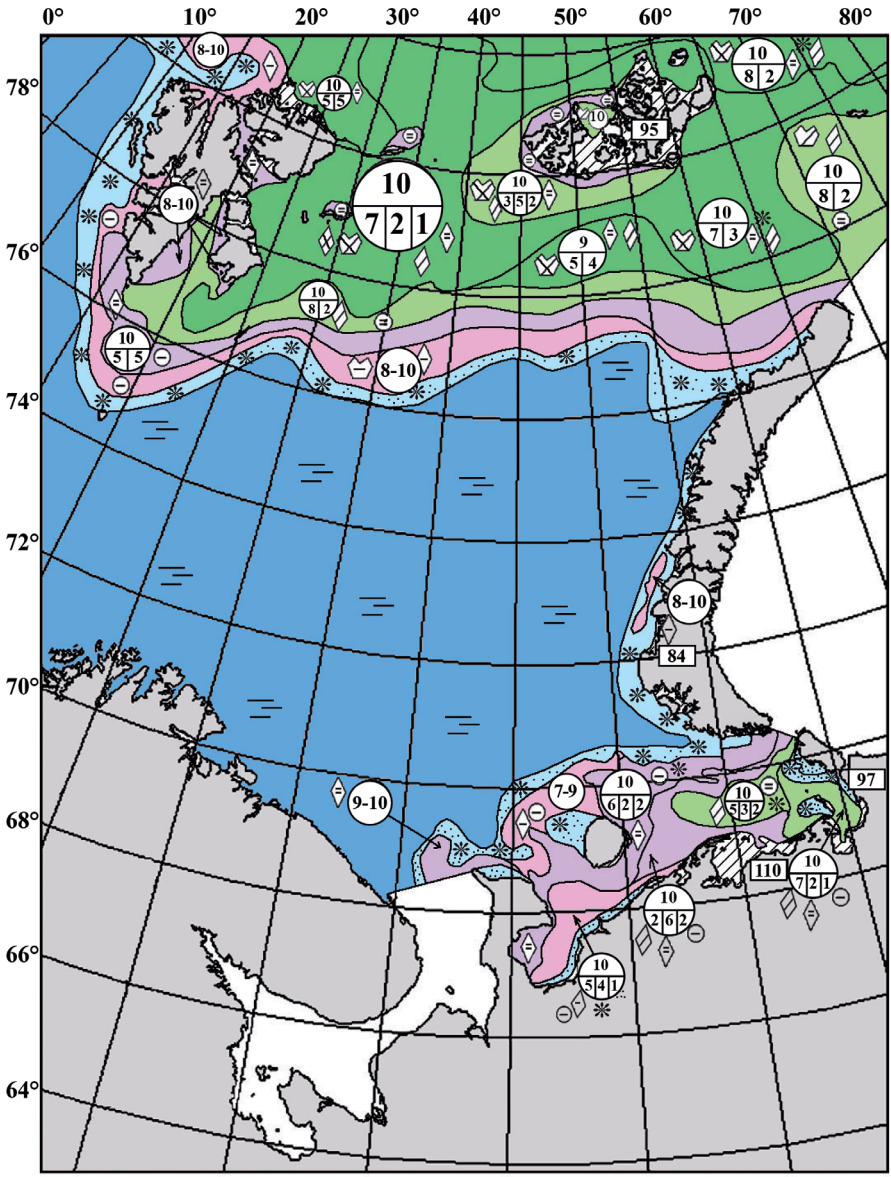


Рис. 2.24. Ледовая обстановка в Баренцевом море в апреле 2008 года. Мягкая зима.

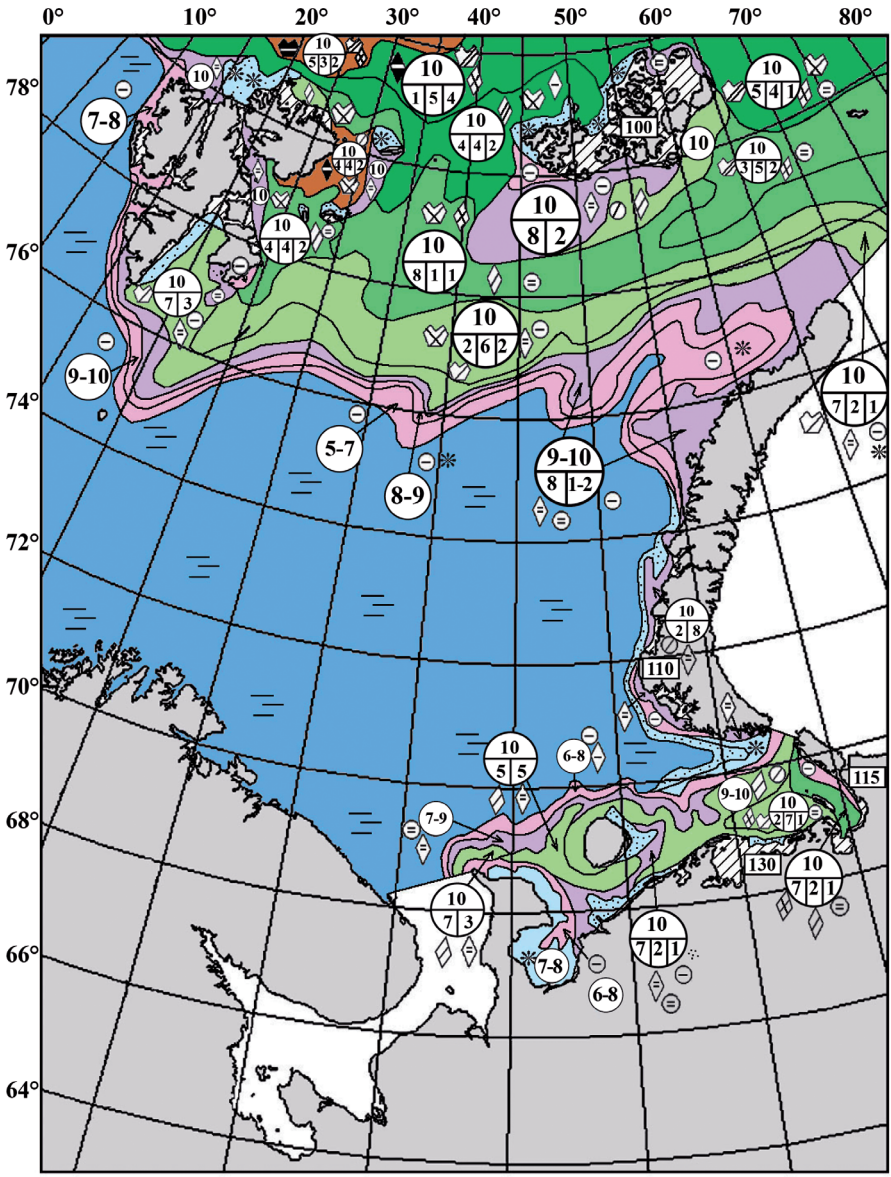


Рис. 2.25. Ледовая обстановка в Баренцевом море в апреле 2011 года. Умеренная зима.

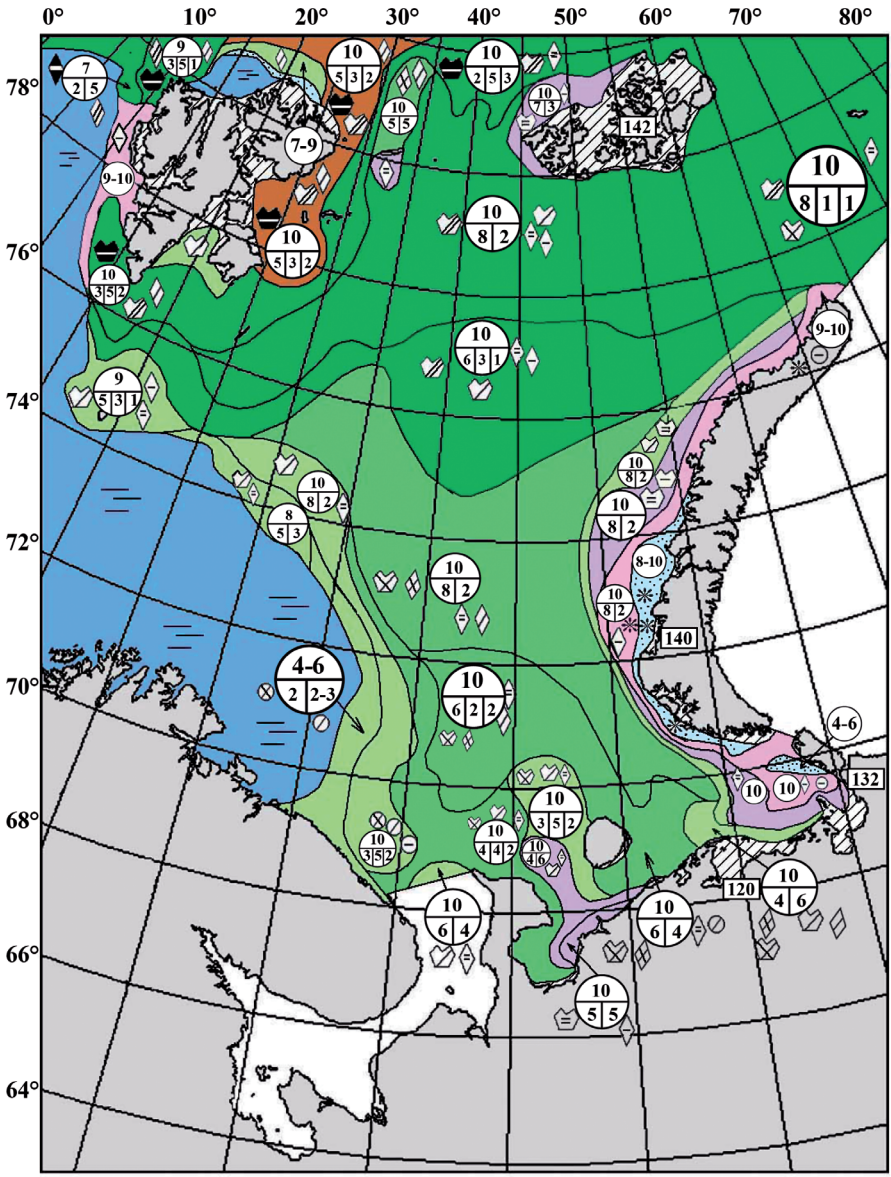


Рис. 2.26. Ледовая обстановка в Баренцевом море в апреле 1979 г., 1966 года. Суровая зима.

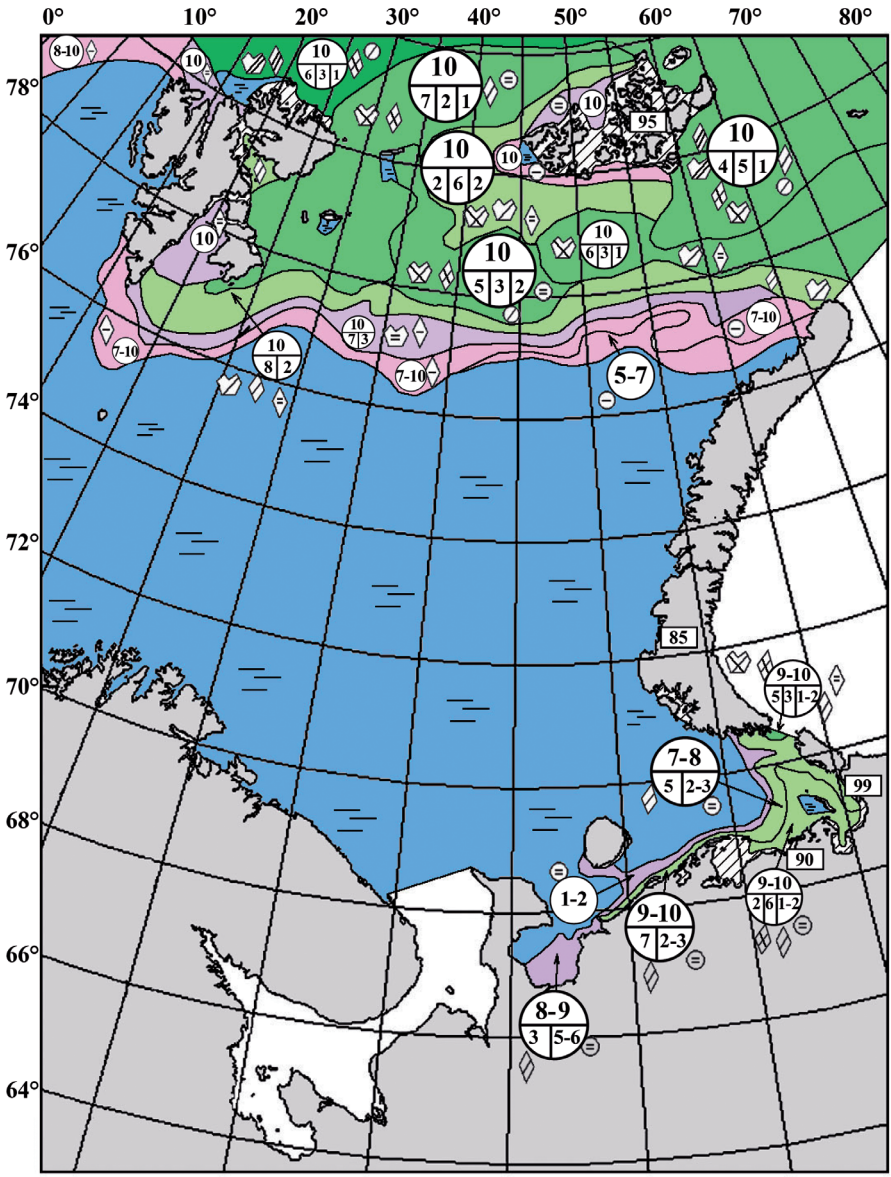


Рис. 2.27. Ледовая обстановка в Баренцевом море в мае 2008 года. После мягкой зимы.

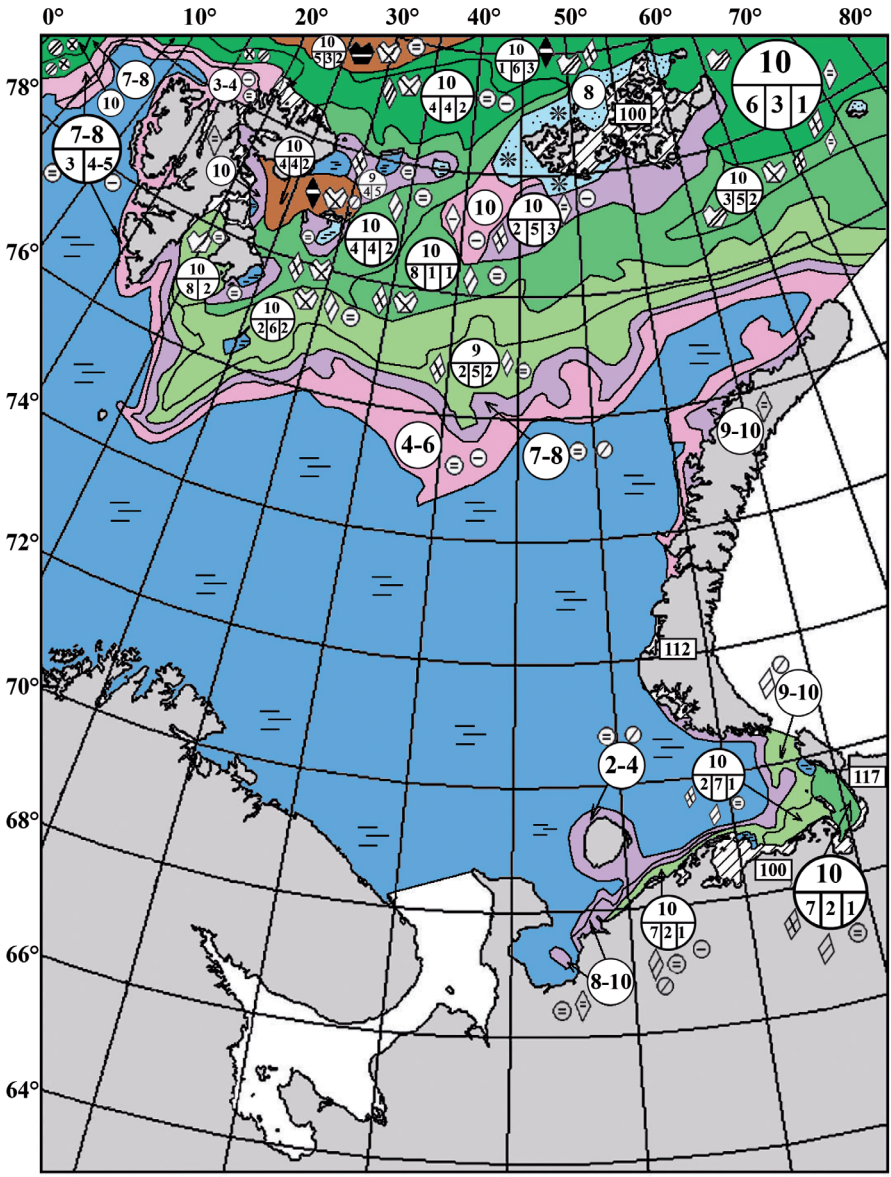


Рис. 2.28. Ледовая обстановка в Баренцевом море в мае 2011 года. После умеренной зимы.

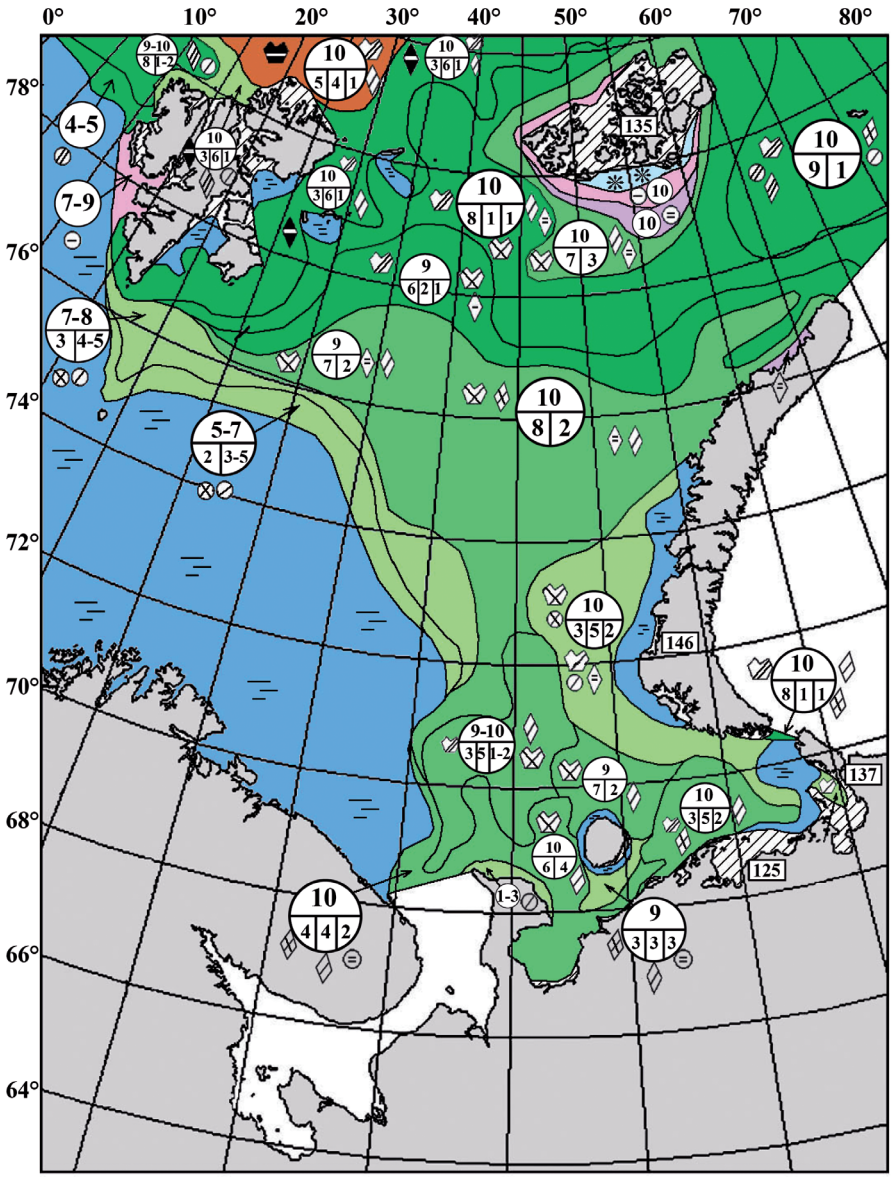


Рис. 2.29. Ледовая обстановка в Баренцевом море в мае 1979 г., 1966 года. После суровой зимы.

Таблица 2.5

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на участке трассы траверз м. Канин Нос – север о. Колгуев – пролив Карские Ворота в январе

Участок трассы	м. Канин Нос – о. Колгуев	о. Колгуев – траверз м. Русский Заворот	Траверз м. Русский Заворот – о. Вайгач
Мягкая зима			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	чисто
Умеренная зима			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	8–10	9–10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый, нилас	серо-белый, серый	тонкий однолетний (до 50 см), серо-белый
Суровая и самая суровая зимы			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	8–10	10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)

Таблица 2.6

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на участке трассы траверз м. Канин Нос – север о. Колгуев – пролив Карские Ворота в феврале

Участок трассы	м. Канин Нос – о. Колгуев	о. Колгуев – траверз м. Русский Заворот	Траверз м. Русский Заворот – о. Вайгач
Мягкая зима			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	6–8	7–9
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	нилас	серый, нилас

Участок трассы	м. Канин Нос – о. Колгуев	о. Колгуев – траверз м. Русский Заворот	Траверз м. Русский Заворот – о. Вайгач
Умеренная зима			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый, серый	тонкий однолетний (до 60 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 70 см)
Суровая и самая суровая зимы			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 70 см)	однолетний средней толщины (до 90 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 90 см), тонкий однолетний

Таблица 2.7

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на участке трассы м. Канин Нос – север о. Колгуев – пролив Карские Ворота в марте

Участок трассы	м. Канин Нос – о. Колгуев	о. Колгуев – траверз м. Русский Заворот	Траверз м. Русский Заворот – о. Вайгач
Мягкая зима			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	8–9	8–10	9–10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый, нилас	серо-белый, серый	серо-белый
Умеренная зима			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый, серый	тонкий однолетний (до 70 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 70 см), серо-белый
Суровая и самая суровая зимы			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	однолетний средней толщины (до 100 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 120 см)	однолетний средней толщины (до 120 см), тонкий однолетний

Таблица 2.8

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на участке трассы м. Канин Нос – север о. Колгуев – пролив Карские Ворота в апреле

Участок трассы	м. Канин Нос – о. Колгуев	о. Колгуев – траверз м. Русский Заворот	Траверз м. Русский Заворот – о. Вайгач
Мягкая зима			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	6–8	10	8–10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый	тонкий однолетний (до 50 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 60 см), серо-белый
Умеренная зима			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	7–9	10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый, серый	тонкий однолетний (до 70 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 70 см), серо-белый
Суровая и самая суровая зимы			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	однолетний средней толщины (до 110 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 120 см)	однолетний средней толщины (до 120 см), тонкий однолетний

Таблица 2.9

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на участке трассы м. Канин Нос – север о. Колгуев – пролив Карские Ворота в мае

Участок трассы	м. Канин Нос – о. Колгуев	о. Колгуев – траверз м. Русский Заворот	Траверз м. Русский Заворот – о. Вайгач
Мягкая зима			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	7–9
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	тонкий однолетний (до 60 см), серо-белый

Участок трассы	м. Канин Нос – о. Колгуев	о. Колгуев – траверз м. Русский Заворот	Траверз м. Русский Заворот – о. Вайгач
Умеренная зима			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	7–10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	тонкий однолетний (до 70 см)
Суровая и самая суровая зимы			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	9–10	9–10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	однолетний средней толщины (до 110 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 120 см)	однолетний средней толщины (до 120 см), тонкий однолетний

В табл. 2.10 приведена информация о преобладающих характеристиках ледовой обстановки на участке трассы м. Канин Нос – север о. Колгуев – пролив Карские Ворота в июне.

Таблица 2.10

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на участке трассы м. Канин Нос – север о. Колгуев – пролив Карские Ворота в июне

Участок трассы	м. Канин Нос – о. Колгуев	о. Колгуев – траверз м. Русский Заворот	Траверз м. Русский Заворот – о. Вайгач
Мягкая и умеренная зимы			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	чисто
Суровая зима			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	9–10	8–9
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	однолетний средней толщины (до 110 см)	однолетний средней толщины (до 110 см), тонкий однолетний

Участок трассы	м. Канин Нос – о. Колгуев	о. Колгуев – траверз м. Русский Заворот	Траверз м. Русский Заворот – о. Вайгач
Самая суровая зима			
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	8–9	9–10	8–9
Возрастная характеристика дрейфующего льда	однолетний средней толщины (до 110 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 110 см)	однолетний средней толщины (до 110 см), тонкий однолетний

На рис. 2.30–2.32 представлена ледовая обстановка, наблюдавшаяся в июне 2008 г., 2011 г., а также 1979 г. и 1966 г. в Баренцевом море. На рис. 2.33 – ледовая обстановка в середине июня после самой суровой зимы 1968/1969 гг. на юго-востоке Баренцева моря. На рис. 2.34–2.36 представлена ледовая обстановка, наблюдавшаяся в июле 2008 г., 2011 г. и 1979 г. в Баренцевом море. На рис. 2.37 – ледовая обстановка в середине июля после самой суровой зимы 1968/1969 гг. на юго-востоке Баренцева моря. Раскраска на рис. 2.30–2.45 – по летней шкале – по преобладающей сплоченности дрейфующего льда [76].

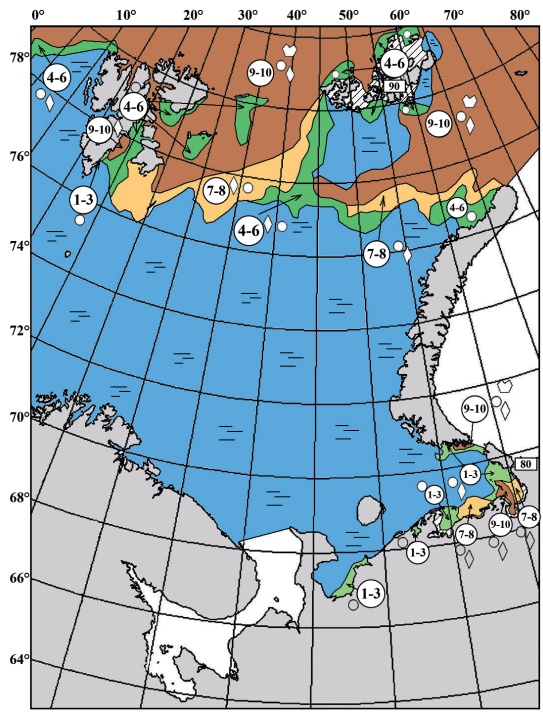


Рис. 2.30. Ледовая обстановка в Баренцевом море в июне 2008 года. После мягкой зимы.

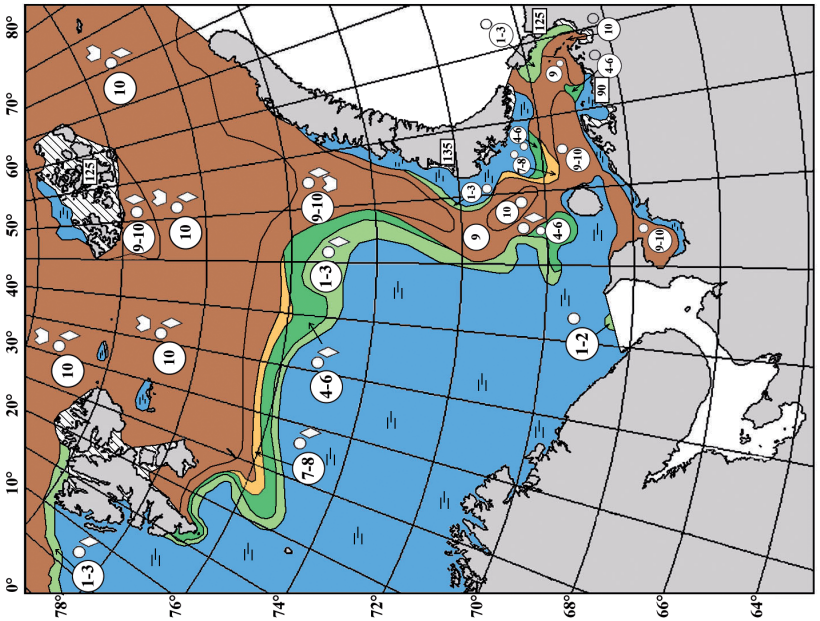


Рис. 2.32. Ледовая обстановка в Баренцевом море в июне 1979 г., 1966 года. После суровой зимы.

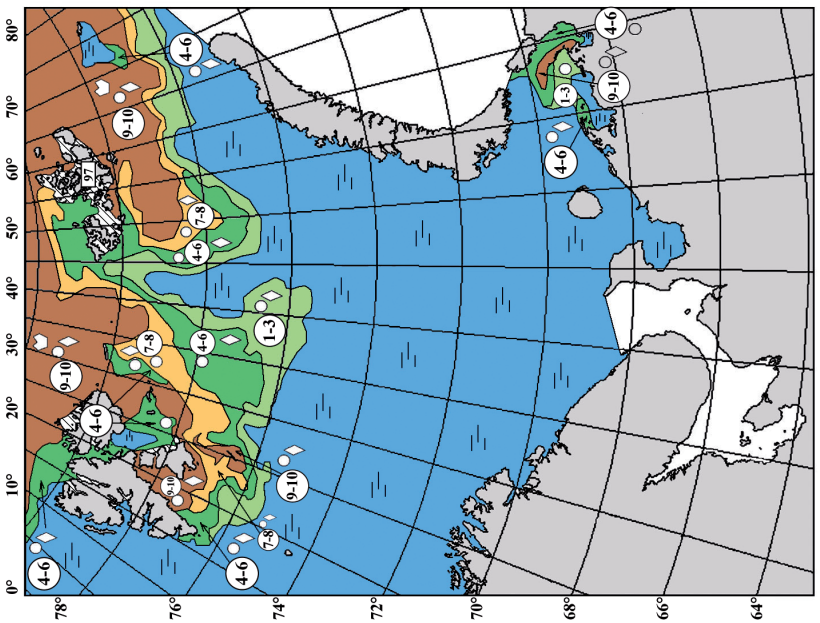


Рис. 2.31. Ледовая обстановка в Баренцевом море в июне 2011 года. После умеренной зимы.

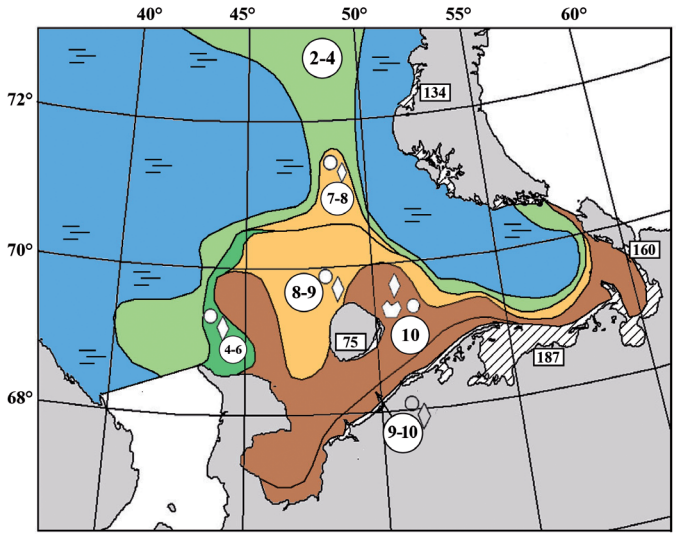


Рис. 2.33. Ледовая обстановка в Баренцевом море в июне 1969 года. После самой суровой зимы.

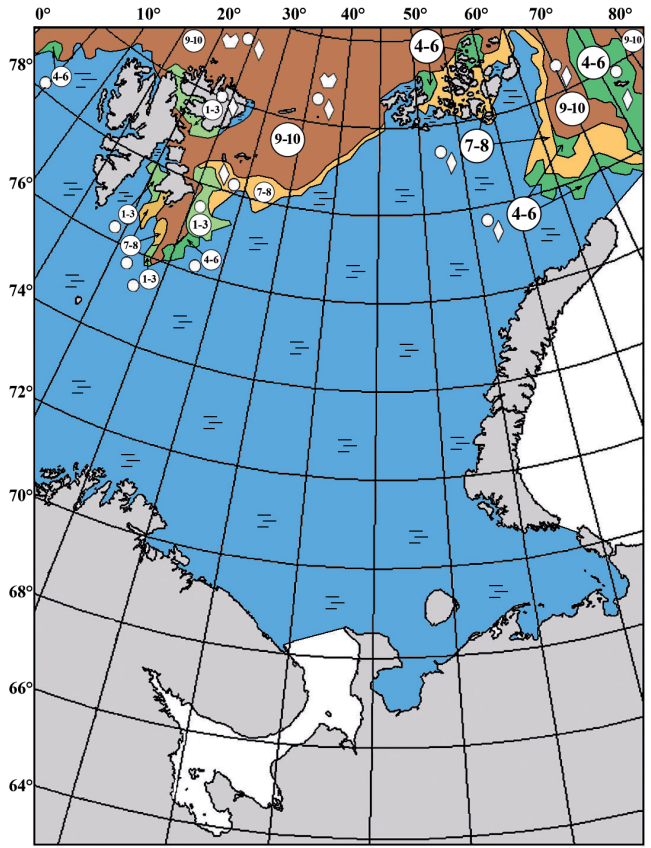


Рис. 2.34. Ледовая обстановка в Баренцевом море в июле 2008 года. После мягкой зимы.

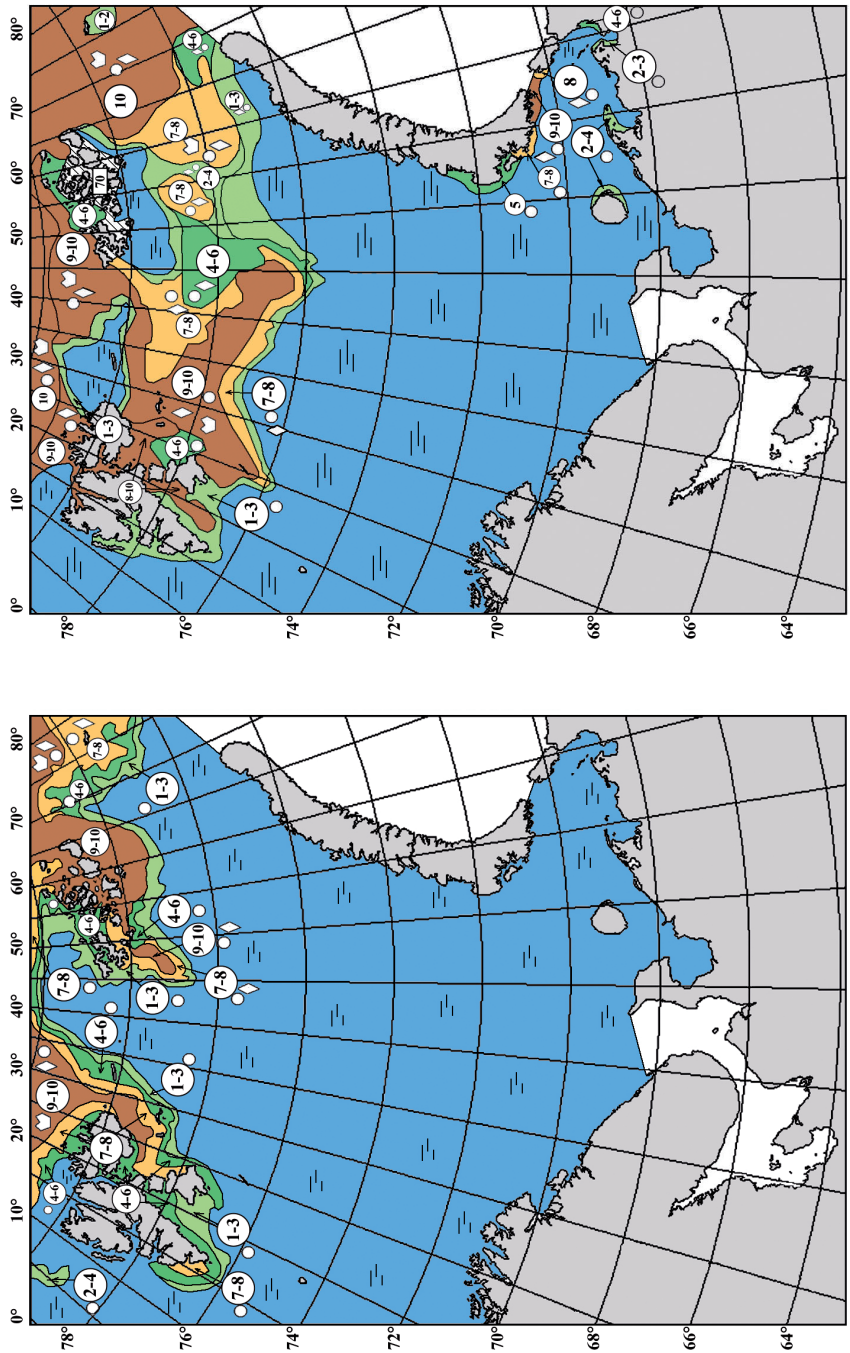


Рис. 2.35. Ледовая обстановка в Баренцевом море в июле 2011 года. После умеренной зимы.

Рис. 2.36. Ледовая обстановка в Баренцевом море в июле 1979 г., 1966 года. После суровой зимы.

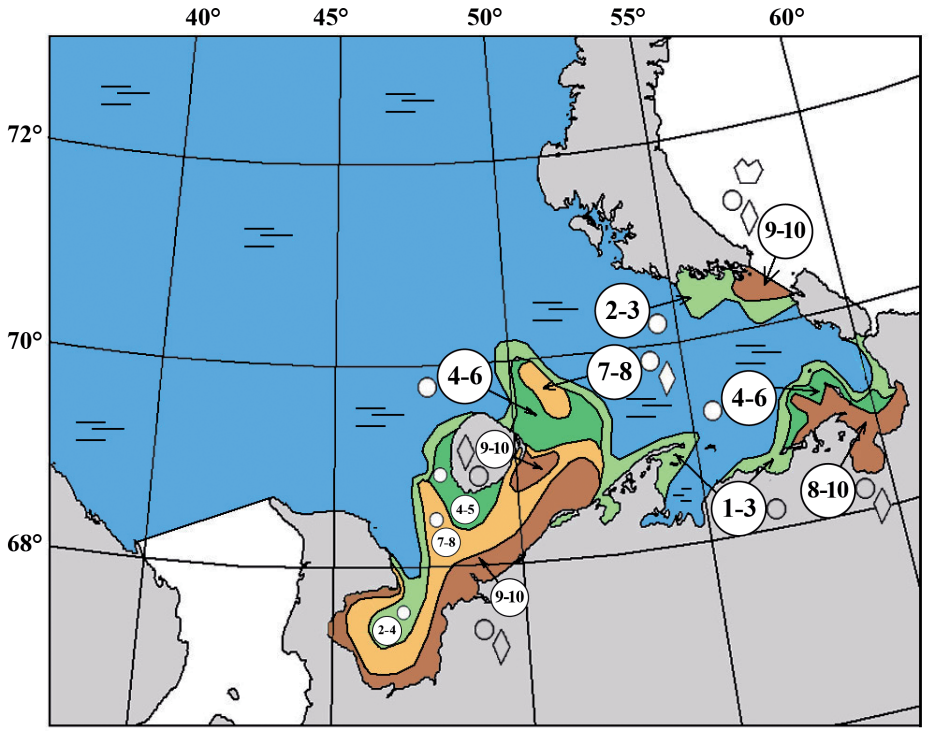


Рис. 2.37. Ледовая обстановка в Баренцевом море в июле 1969 года. После самой суровой зимы.

Во второй половине июня трасса Карские Ворота – Белое море в мягкие и умеренные зимы свободна ото льда. В суровые зимы на западных подходах к проливу Карские Ворота сохраняются опасные для судоходства зоны льда сплоченностью от 4–6 до 9–10 баллов.

В середине июля трасса при любом типе зимы в целом свободна ото льда. В суровые зимы отдельные льдины и локальные пятна льда могут встречаться между островами Колгуев и Вайгач. При этом в самом проливе Карские Ворота, как в июле, так и в августе, может наблюдаться очень сплоченный лед.

На рис. 2.38–2.40 представлена ледовая обстановка, наблюдавшаяся в августе 2008 г., 2011 г., а также 1979 г. и 1966 г. в Баренцевом море. На рис. 2.41 – ледовая обстановка в середине августа после самой суровой зимы 1968/1969 гг. на юго-востоке Баренцева моря.

На рис. 2.42–2.45 представлена ледовая обстановка, наблюдавшаяся в сентябре после мягкой и умеренной зим 2008 г., 2011 г., а также после суровых зим 1979 г. и 1966 г. в Баренцевом море.

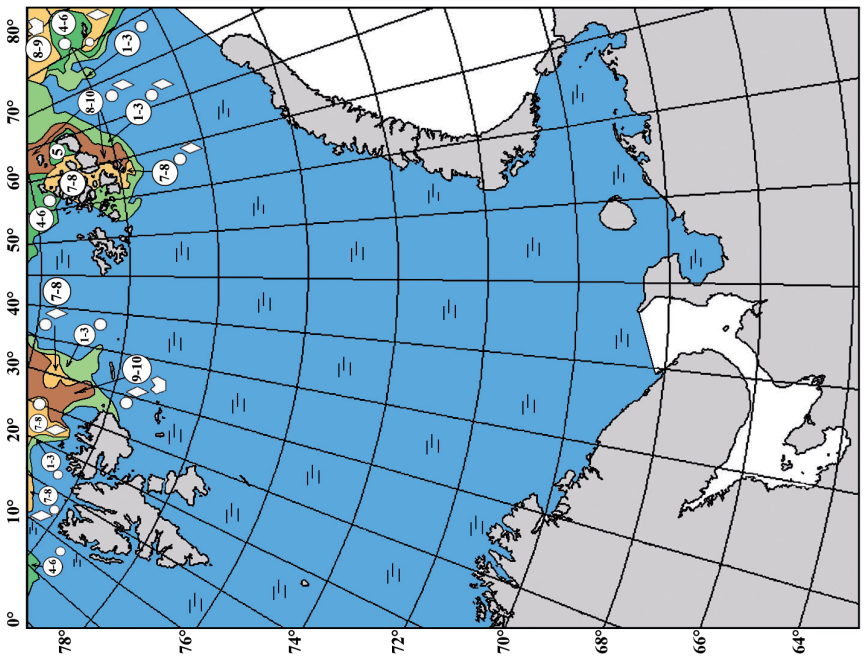


Рис. 2.38. Ледовая обстановка в Баренцевом море в августе 2008 года. После мягкой зимы.

Рис. 2. 39. Ледовая обстановка в Баренцевом море в августе 2011 года. После умеренной зимы.

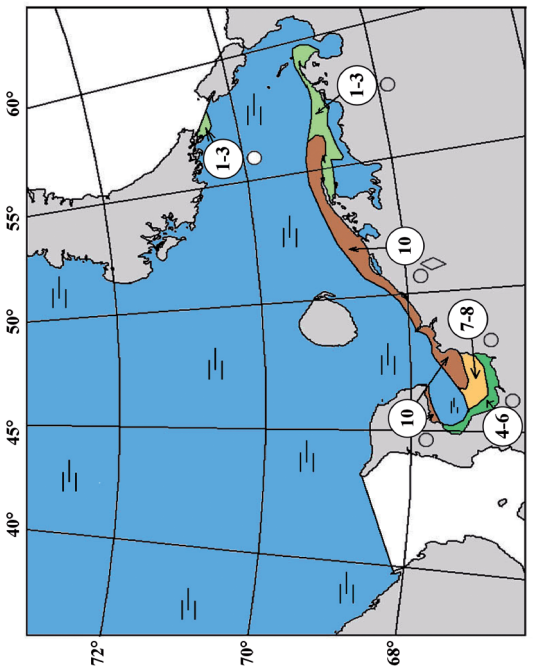


Рис. 2. 41. Ледовая обстановка в Баренцевом море в августе 1969 года. После самой суровой зимы.

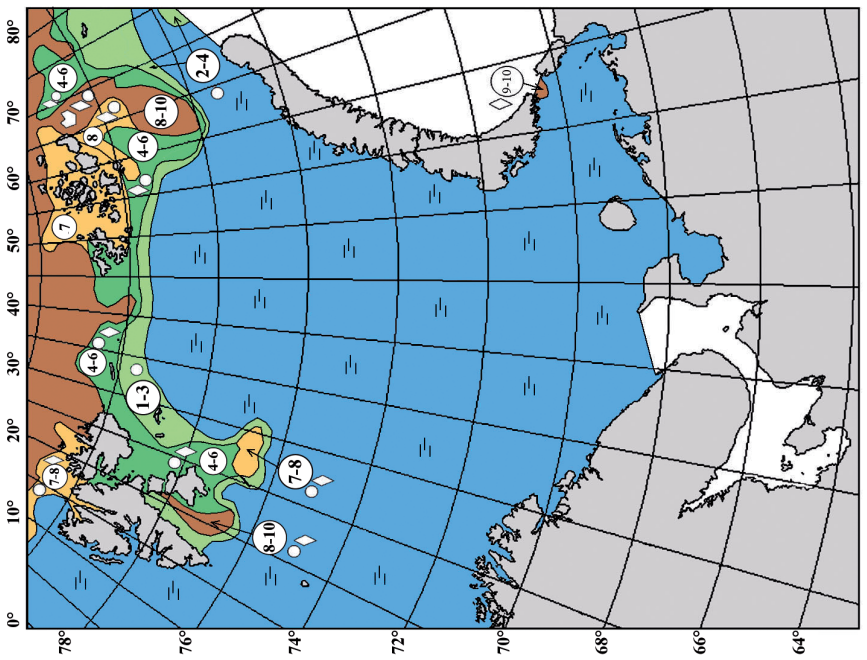


Рис. 2. 40. Ледовая обстановка в Баренцевом море в августе 1979 г., 1966 года. После суровой зимы.

В середине августа 1979 г. и 1966 г. значения ледовитости Баренцева моря были близки и составляли 18–19 %. При этом сумма градусодней тепла (по данным Баренцбурга) за период июль–сентябрь составила в 1966 г. 272 °С, а в 1979 г. – 405 °С, т.е. лето в 1979 г. было на севере Баренцева моря значительно теплее, чем лето в 1966 году. Эта разница существенно сказалась на разнице ледовой обстановки в сентябре, о чем свидетельствует сравнение рис. 2.44 и 2.45. Так, к середине сентября 1979 г. ледовитость моря уменьшилась до 4 %, а к середине сентября 1966 г. увеличилась до 22 %. По данным станции на о. Хейса, первое появление льда отмечено уже 9 сентября 1966 г., тогда как в 1979 г. ледообразование здесь началось только 1 октября.

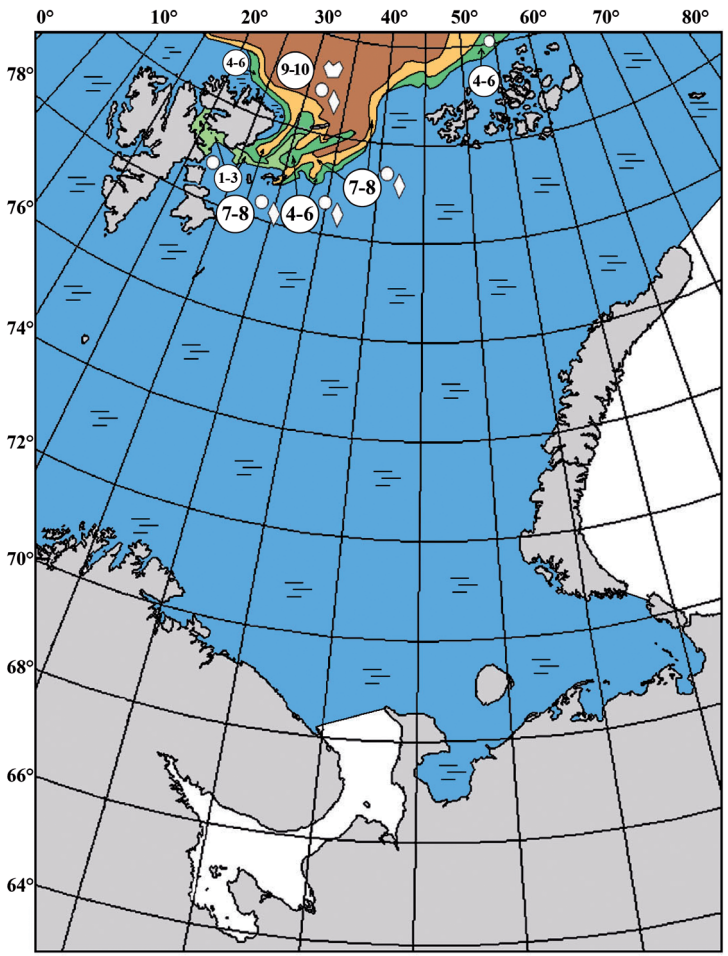


Рис. 2. 42. Ледовая обстановка в Баренцевом море в сентябре 2008 года. После мягкой зимы.

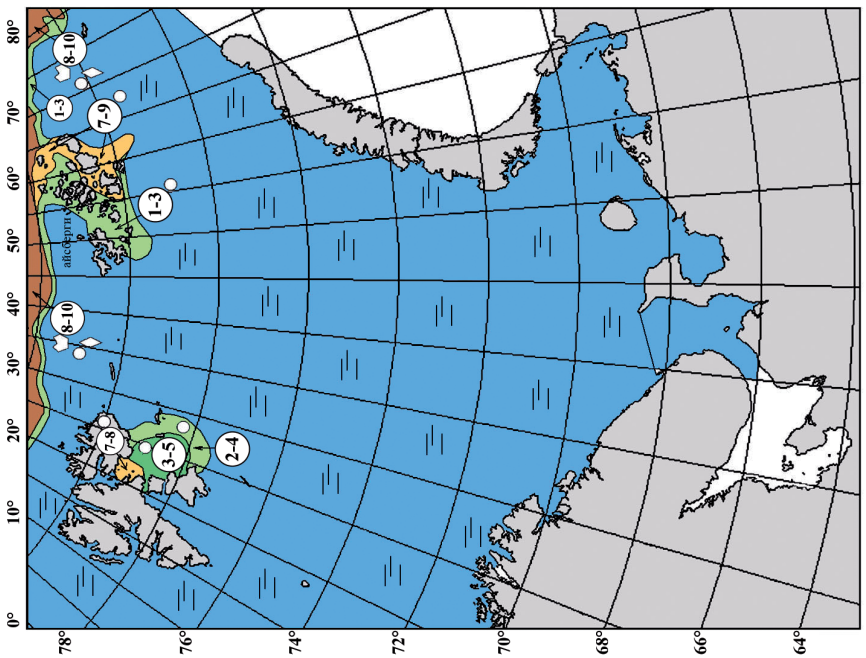


Рис. 2. 44. Ледовая обстановка в Баренцевом море в сентябре 1979 года. После суровой зимы.

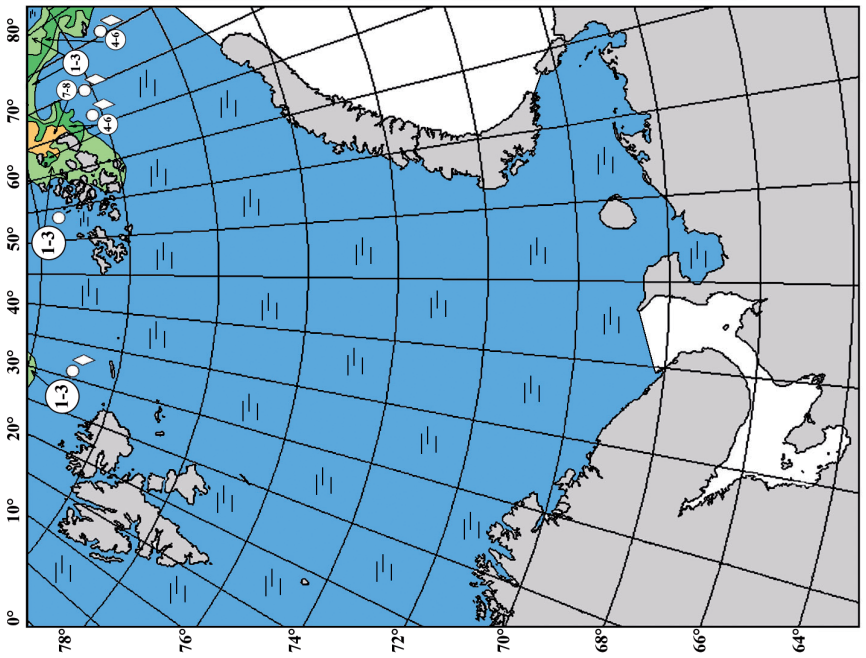


Рис. 2.43. Ледовая обстановка в Баренцевом море в сентябре 2011 года. После умеренной зимы.

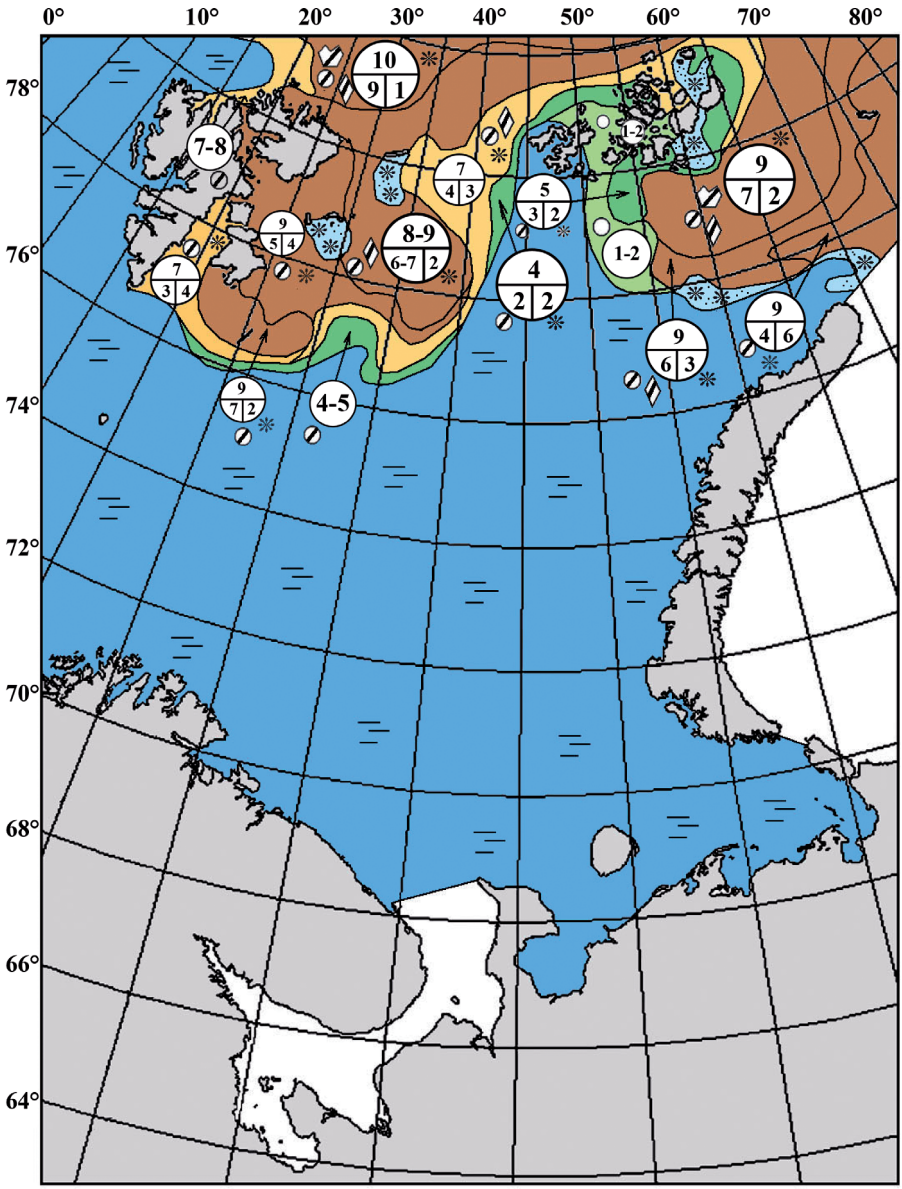


Рис. 2.45. Ледовая обстановка в Баренцевом море в сентябре 1966 года. После суровой зимы.

2.4. Ледообразование в Баренцевом море

В табл. 2.11 приведены даты наступления ледовых фаз по данным ГМС Баренцева моря. Анализ осуществлен за полный ряд наблюдений (53–89 лет) и за последние 30 лет.

Таблица 2.11

Даты наступления основных ледовых фаз в Баренцевом море

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Полное замерзание	Исчезновение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
БУГРИНО (с сезона 1923/1924 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 89 лет)						
Средняя	25.10	5.11	23.12	15.06	22.06	237
Ранняя	6.10 (1952)	08.10 (1960)	02.11 (1926)	14.05 (2012)	26.05 (2012)	184 (1953/54)
Поздняя	27.11 (2005)	25.12 (1936)	27.02 (1937)	18.07 (1969)	10.08 (1969)	290 (1968/69)
СКО	12	16	25	12	16	21
БУГРИНО (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	26.10	6.11	29.12	10.06	16.06	229
Ранняя	7.10 (1982)	9.10 (1992)	9.11 (1993)	14.05 (2012)	28.05 (1995)	187 (2005/06)
Поздняя	27.11 (2005)	8.12 (1996)	20.02 (2008)	4.07 (1985)	23.07 (1985)	283 (1984/85)
СКО	13	16	23	10	13	21
СЕВЕРНЫЙ КОЛГУЕВ (с сезона 1941/1942 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 71 год)						
Средняя	21.11	7.12	н.с.	н.с.	3.06	194
Ранняя	16.10 (1984)	4.11 (1956)	н.с.	н.с.	27.04 (1990)	129 (2011/12)
Поздняя	2.01 (2011)	27.01 (1954)	н.с.	н.с.	31.07 (1969)	272 (1968/69)
СКО	14	20	н.с.	н.с.	22	27
СЕВЕРНЫЙ КОЛГУЕВ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	25.11	7.12	н.с.	н.с.	26.05	183
Ранняя	16.10 (1984)	9.11 (1998)	н.с.	н.с.	27.04 (1990)	129 (2011/12)
Поздняя	2.01 (2011)	11.01 (2011)	н.с.	н.с.	8.07 (1985)	265 (1984/85)
СКО	16	17	н.с.	н.с.	20	27

Продолжение табл. 2.11

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Полное замерзание	Исчезновение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
ИНДИГА (устье) (с сезона 1923/1924 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 89 лет)						
Средняя	25.10	5.11	6.12	4.06	9.06	224
Ранняя	3.10 (1928)	10.10 (1973, 1992)	24.10 (1928)	6.05 (1990)	14.05 (1995)	187 (1948/49)
Поздняя	22.11 (1958)	29.11 (1962, 1981, 2011)	28.01 (1983)	11.07 (1969)	25.08 (1969)	304 (1968/69)
СКО	11	14	23	12	15	20
ИНДИГА (устье) (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	27.10	7.11	13.12	29.05	3.06	216
Ранняя	10.10 (1986)	10.10 (1992)	1.11 (1994)	6.05 (1990)	14.05 (1995)	193 (1994/95, 2010/11)
Поздняя	21.11 (2008)	29.11 (1981, 2011)	28.01 (1983)	25.06 (1999)	27.06 (1999)	254 (1998/99)
СКО	10	14	22	12	11	17
КОНСТАНТИНОВСКИЙ (с сезона 1959/1960 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 53 года)						
Средняя	20.10	25.10	30.12	17.06	24.06	243
Ранняя	3.10 (1977)	3.10 (1977)	31.10 (1966)	8.04 (1995)	21.05 (1995)	205 (1994/95)
Поздняя	9.11 (1961)	3.12 (1967)	24.02 (1967)	15.07 (1969)	23.07 (1969)	272 (1968/69)
СКО	9	13	30	15	11	15
КОНСТАНТИНОВСКИЙ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	22.10	27.10	30.12	12.06	20.06	237
Ранняя	8.10 (1992)	8.10 (1992)	5.11 (1982)	8.04 (1995)	21.05 (1995)	205 (1994/95)
Поздняя	8.11 (1987, 2008)	24.11 (2005)	13.02 (1993)	3.07 (1999)	6.07 (1999)	264 (1998/99)
СКО	9	13	28	16	10	14

Продолжение табл. 2.11

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Полное замерзание	Исчезновение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
ВАРАНДЕЙ (Шар) (с сезона 1940/1941 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 72 года)						
Средняя	24.10	29.10	н.с.	19.06	30.06	246
Ранняя	3.10 (1986)	7.10 (1992)	н.с.	30.04 (1999)	24.05 (1943)	208 (1942/43)
Поздняя	20.11 (1944)	4.12 (1953)	н.с.	18.07 (1969)	31.07 (1946)	288 (1977/78)
СКО	10	12	н.с.	15	16	21
ВАРАНДЕЙ (Шар) (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	22.10	25.10	н.с.	14.06	24.06	241
Ранняя	3.10 (1986)	7.10 (1992)	н.с.	30.04 (1999)	31.05 (1995)	210 (2010/11)
Поздняя	11.11 (2008)	25.11 (2005)	н.с.	3.07 (1985)	20.07 (1999)	280 (1998/99)
СКО	10	10	н.с.	13	13	18
БЕЛЫЙ НОС (с сезона 1949/1950 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 63 года)						
Средняя	30.10	4.11	11.12	25.06	15.07	258
Ранняя	11.10 (1970)	11.10 (1970)	26.10 (1960)	17.05 (1992)	3.06 (2012)	211 (2011/12)
Поздняя	25.11 (2010)	11.12 (1959)	28.02 (2001)	16.07 (1969)	13.09 (1986)	317 (1985/86)
СКО	10	11	22	12	21	25
БЕЛЫЙ НОС (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	3.11	5.11	11.12	21.06	08.07	248
Ранняя	13.10 (1998)	23.10 (1992)	23.11 (1999)	17.05 (1992)	3.06 (2012)	211 (2011/12)
Поздняя	25.11 (2010)	25.11 (2010)	28.02 (2001)	7.07 (1985)	13.09 (1986)	317 (1985/86)
СКО	9	7	21	12	22	26

Окончание табл. 2.11

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Полное замерзание	Исчезновение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
МАЛЫЕ КАРМАКУЛЫ (с сезона 1949/1950 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 63 года)						
Средняя	9.11	10.11	87.11	28.06	30.06	234
Ранняя	15.10 (1982)	15.10 (1982)	19.10 (1982)	16.05 (1954)	3.06 (2012)	168 (1954/55)
Поздняя	6.01 (1955)	6.01 (1955)	2.02 (2008)	21.07 (1999)	24.07 (1999)	276 (1998/99)
СКО	15	16	22	11	11	22
МАЛЫЕ КАРМАКУЛЫ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	12.11	10.11	01.12	25.06	26.06	228
Ранняя	15.10 (1982)	15.10 (1982)	19.10 (1982)	3.06 (2012)	3.07 (2012)	196 (2011/12)
Поздняя	10.12 (1996)	10.12 (1996)	2.02 (2008)	21.07 (1999)	24.07 (1999)	276 (1998/99)
СКО	13	13	24	10	10	19
о. ХЕЙСА (с сезона 1959/1960 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 53 года). Повторяемость очищения ото льда – 29 %.						
Средняя	27.09	4.10	20.10	24.07	21.08	355
Ранняя	16.08 (1992)	5.09 (1981)	29.09 (1970)	18.06 (1980)	2.08 (1960)	306 (1995/96)
Поздняя	3.11 (2009)	3.11 (2009)	3.12 (1966)	31.08 (1959)	9.09 (2008)	365/366 (71 % случаев)
СКО	13	13	14	17	13	19
о. ХЕЙСА (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость очищения ото льда – 32 %.						
Средняя	3.10	10.10	24.10	20.07	21.08	353
Ранняя	16.08 (1992)	15.09 (1988)	4.10 (1992)	20.06 (2006)	4.08 (1992)	306 (1995/96)
Поздняя	3.11 (2009)	3.11 (2009)	18.11 (2009)	16.08 (2008)	9.09 (2008)	365/366 (68 % случаев)
СКО	16	14	12	15	14	21

Примечание. «Н.с.» – нет сведений, СКО – среднее квадратическое отклонение.

В табл. 2.12 приведены даты первого появления льда, окончательного очищения моря ото льда и продолжительности ледового периода для первых 12 лет XXI века.

Таблица 2.12

Средние даты наступления ледовых фаз в Баренцевом море по 12-летнему ряду наблюдений в XXI веке

ГМС	Первое появление льда	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
Бугрино	5.11	11.06	215
Северный Колгуев	30.11	21.05	172
Индига	2.11	30.05	207
Константиновский	28.10	19.06	231
Варандей (Шар)	28.10	20.06	232
Белый Нос	7.11	3.07	239
Малые Кармакулы	17.11	21.06	217

На рис. 2.46–2.48 показаны изохроны ранних, средних и поздних сроков начала устойчивого ледообразования на юго-востоке Баренцева моря.

Ледообразование на акватории моря начинается обычно в конце сентября – начале октября с северных районов. Лед появляется раньше всего в районе Земли Франца-Иосифа и архипелага Шпицберген. В районе о. Хейса (Земля Франца-Иосифа) первое ледообразование происходит в среднем 27 сентября, а устойчивое ледообразование начинается 4 октября.

На других участках моря, отличающихся более высоким прогревом воды в поверхностном слое, молодой лед образуется позже. Вследствие понижения температуры воды и усиливающегося выноса льдов из Арктического бассейна и Карского моря в северные и северо-восточное районы Баренцева моря в *октябре* количество льдов начинает быстро увеличиваться.

Безледокольное плавание вокруг северной оконечности Новой Земли обычно прекращается в конце октября – начале ноября. В это же время (в третьей декаде октября) начинается обычно (в соответствии с табл. 2.11) ледообразование в прибрежных и мелководных районах юго-восточной части Баренцева моря. Относительно раннее образование льда в юго-восточном районе Баренцева моря объясняется его мелководьем, приносом в этот район холодных вод из Карского моря и стоком охлажденных пресных вод с материка.

В ноябре ледообразование в северной и юго-восточной частях моря активизируется. Кромка льдов продвигается на юг и на запад. Юго-западная часть Баренцева моря остается практически свободной ото льда. Здесь льды образуются только в вершинах заливов, в устьях рек в виде берегового припая, который часто взламывается и выносится в море.

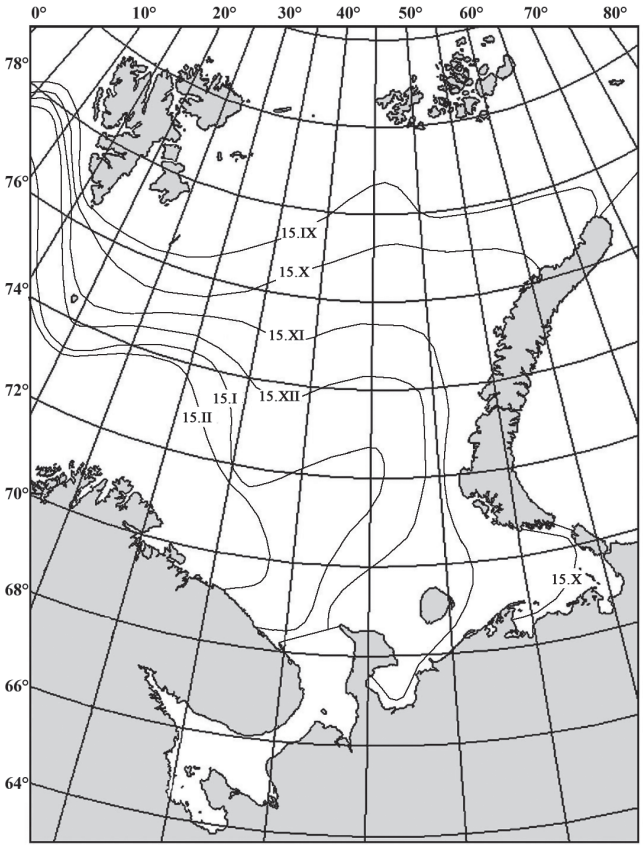


Рис. 2.46. Карта изохрон ранних сроков устойчивого ледообразования в Баренцевом море.

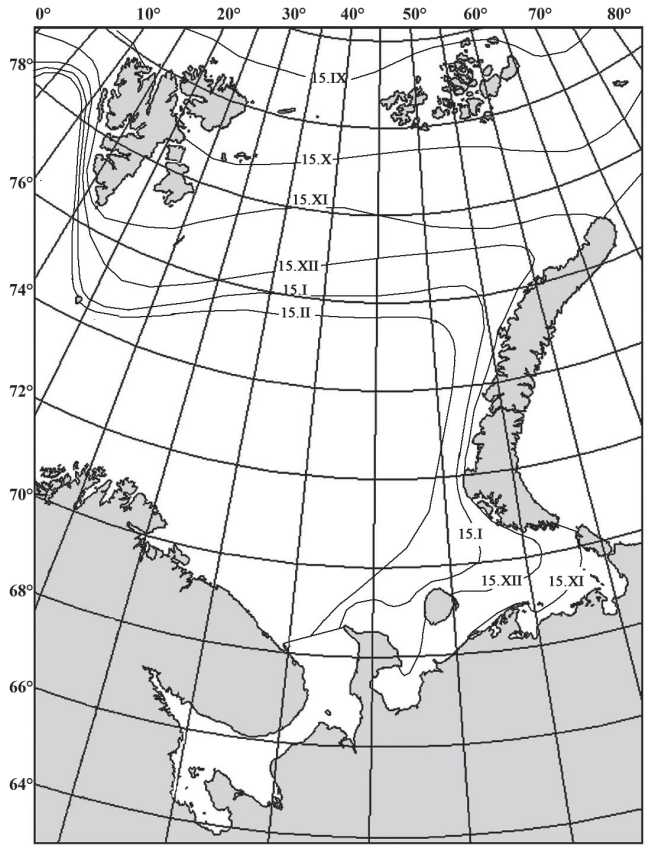


Рис. 2.47. Карта изохрон средних сроков устойчивого ледообразования в Баренцевом море.

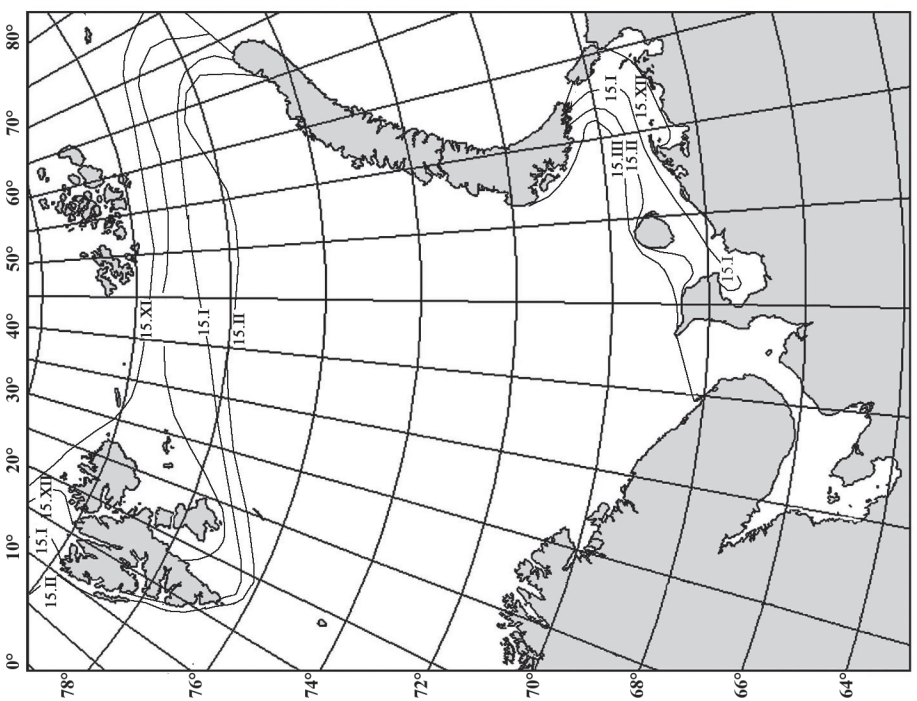


Рис. 2.48. Карта изохрон поздних сроков устойчивого ледообразования в Баренцевом море.

Устойчивый припай ежегодно устанавливается в вершинах бухт и фьордов на Шпицбергене, в проливах Земли Франца-Иосифа, в бухтах на Новой Земле, у побережья островов Белый, Виктория, Колгуев, а также в заливах южного побережья (Чешская, Печорская, Хайпудырская губы и др.). Вдоль открытого побережья Новой Земли и материка от пролива Югорский Шар до м. Канин Нос ширина припая, как правило, не превышает нескольких сотен метров [33].

Наблюдения на морских гидрометеорологических станциях Баренцева моря в последнее 30-летие показывают, что сроки первого и устойчивого появления льда в Баренцевом море сдвинулись на 1–4 дня в сторону более поздних дат. Средние даты очищения моря ото льда сдвинулись в сторону более ранних сроков на 4–7 дней. Продолжительность ледового периода сократилась в среднем на 6–11 дней.

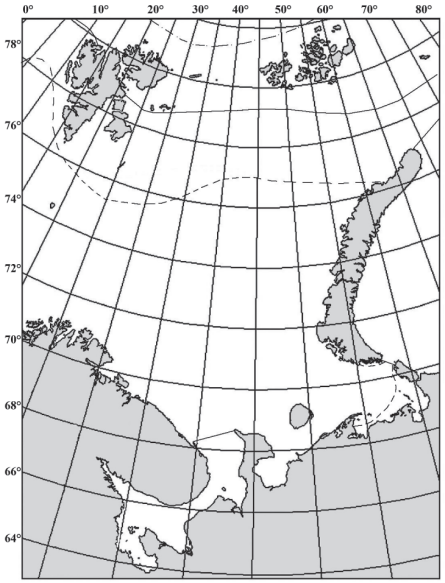
По данным сравнения табл. 2.11 и 1.12, климатические изменения в период, охватывающий первые 12 лет XXI века, еще более существенны: даты ледообразования, по сравнению с многолетними средними значениями, сдвинулись в сторону более поздних сроков на 4–11 дней, а даты очищения моря ото льда – в сторону более ранних сроков в среднем на 5–13 дней. Продолжительность ледового периода сократилась в среднем на 2–3 недели.

2.5. Нарастание и распространение льда в Баренцевом море

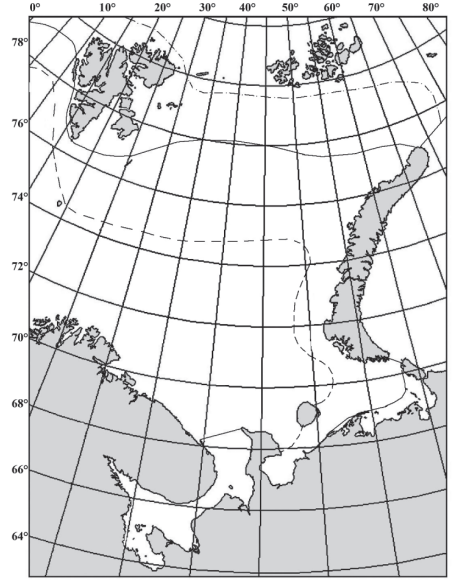
Необходимую для практики гидрометеорологического обслуживания информацию о ледовых условиях в море дает положение границ распространения льда, показанных на рис. 2.49 (а–п). Анализ этих рисунков показывает, что в течение ледового периода зона дрейфующих льдов в море распространяется с севера на юг и с востока на запад. Этот процесс продолжается с октября до апреля включительно, затем вплоть до сентября кромка льда отступает на север и на восток. Сплоченность льда у кромки уменьшается главным образом за счет вытаивания более тонких льдов. В среднем максимум ледовитости, определяемой как отношение площади, занятой льдом любой сплоченности, к общей площади моря в процентах, как для юго-восточной части моря, так и для Баренцева моря в целом, приходится на апрель-май, а минимум – на сентябрь. Таким образом, формирование ледового покрова Баренцева моря продолжается 7 месяцев (октябрь–апрель), период разрушения составляет 5 месяцев (май–сентябрь).

Рис. 2.49 (ж) показывает, что межгодовая изменчивость значений площади, занятой льдом в момент максимального развития ледяного покрова в Баренцевом море, очень велика – от 34 до 92 %.

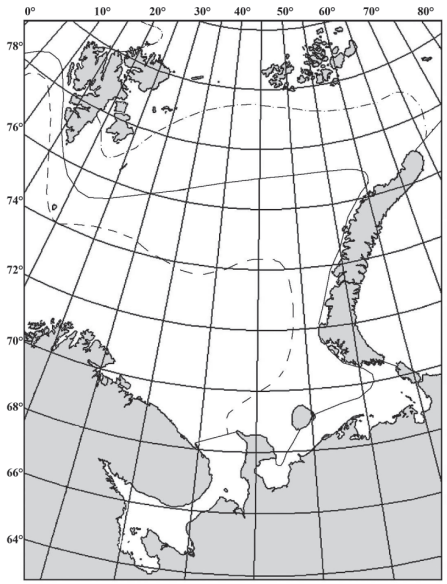
На рис. 2.50 (а–п) приведены карты повторяемости наличия льда в середине каждого месяца года (с октября по сентябрь), полученные по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века. На рис. 2.51 (а–п) приведены карты повторяемости наличия льда в середине каждого месяца года (с октября по сентябрь), полученные по данным ИСЗ за первые 12 лет XXI века.



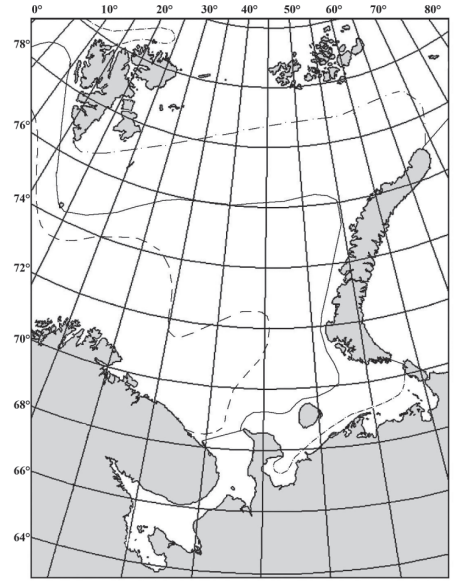
2.49а (октябрь)



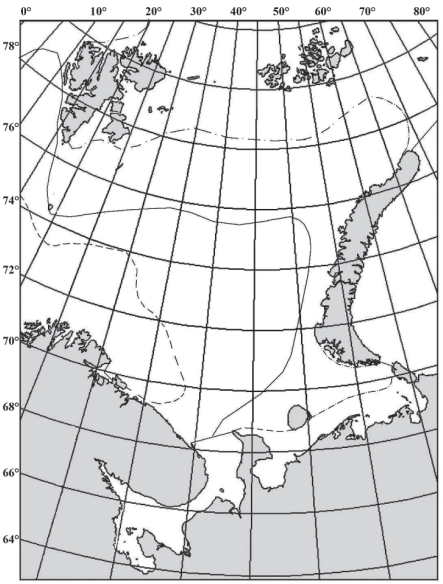
2.49б (ноябрь)



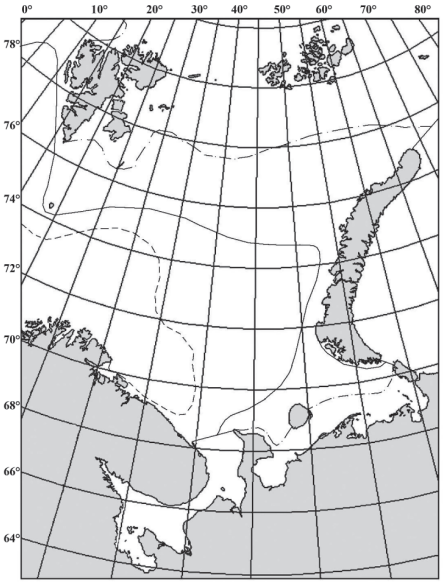
2.49в (декабрь)



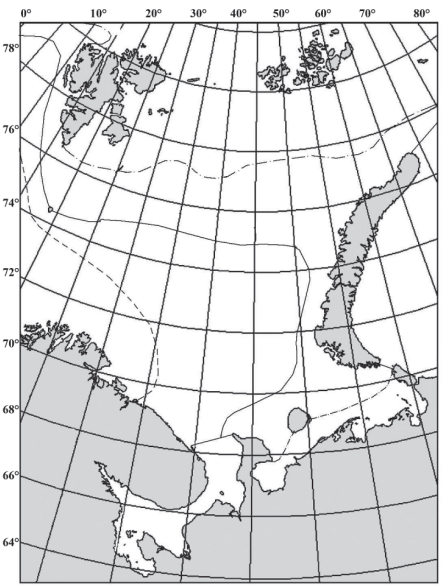
2.49г (январь)



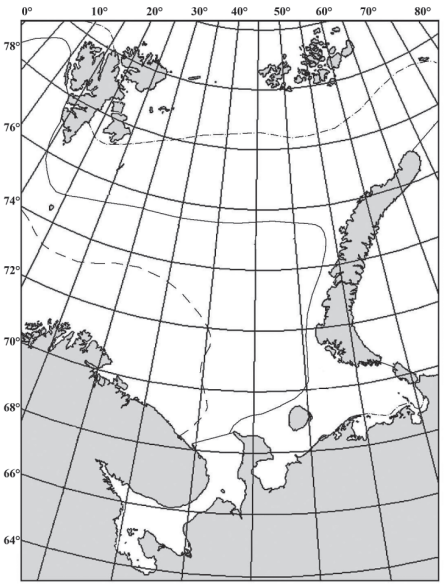
2.49д (февраль)



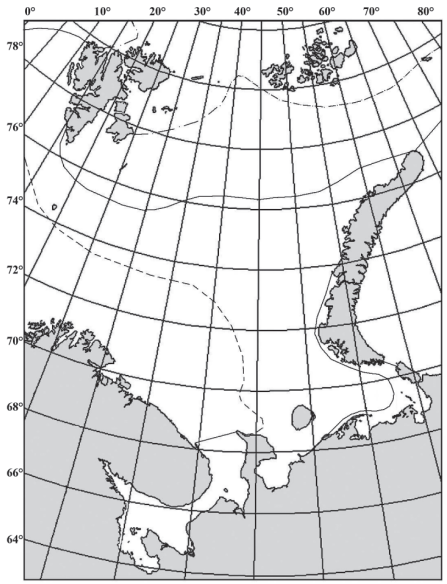
2.49е (март)



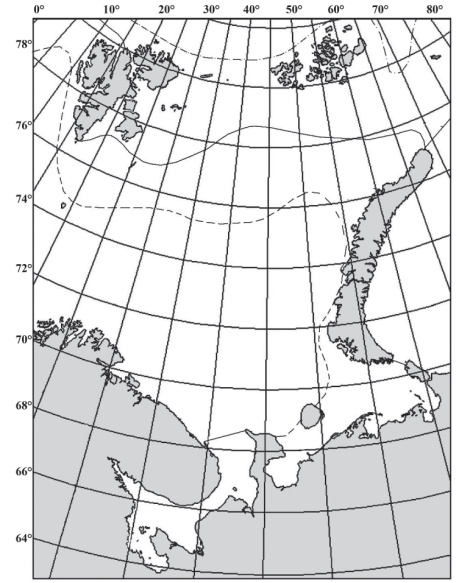
2.49ж (апрель)



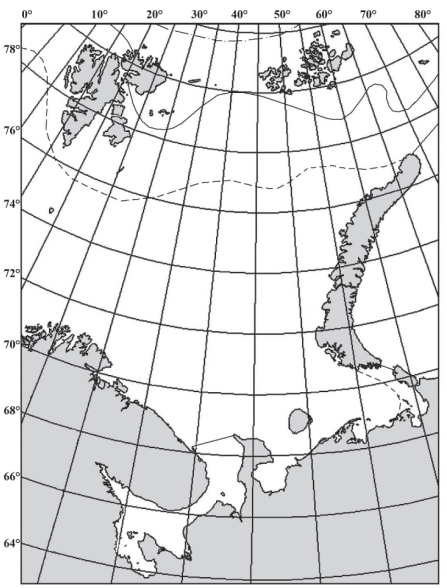
2.49к (май)



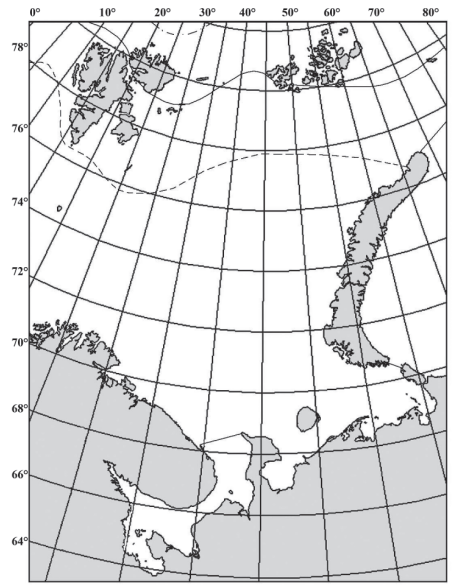
2.49л (июнь)



2.49м (июль)

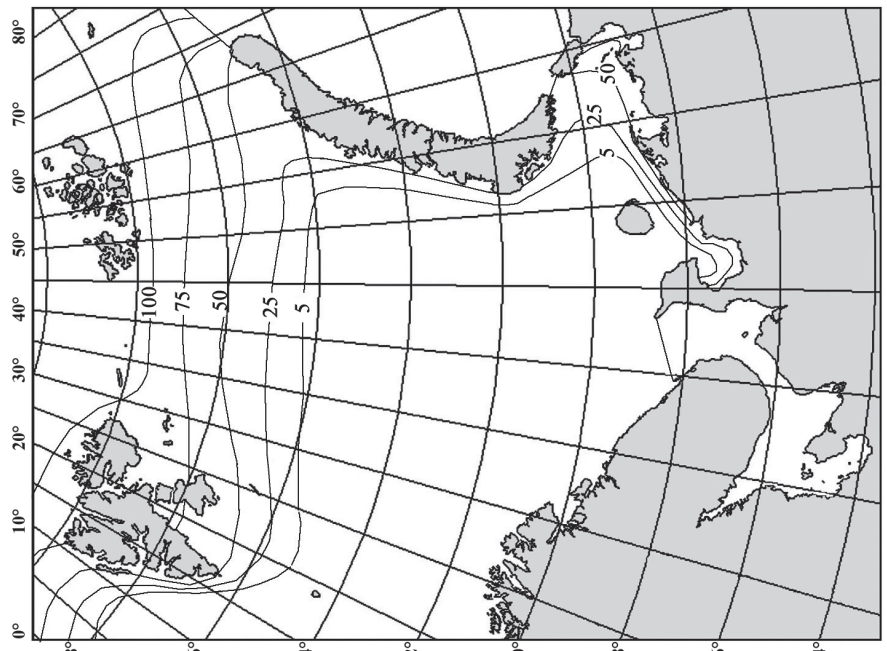


2.49н (август)



2.49п (сентябрь)

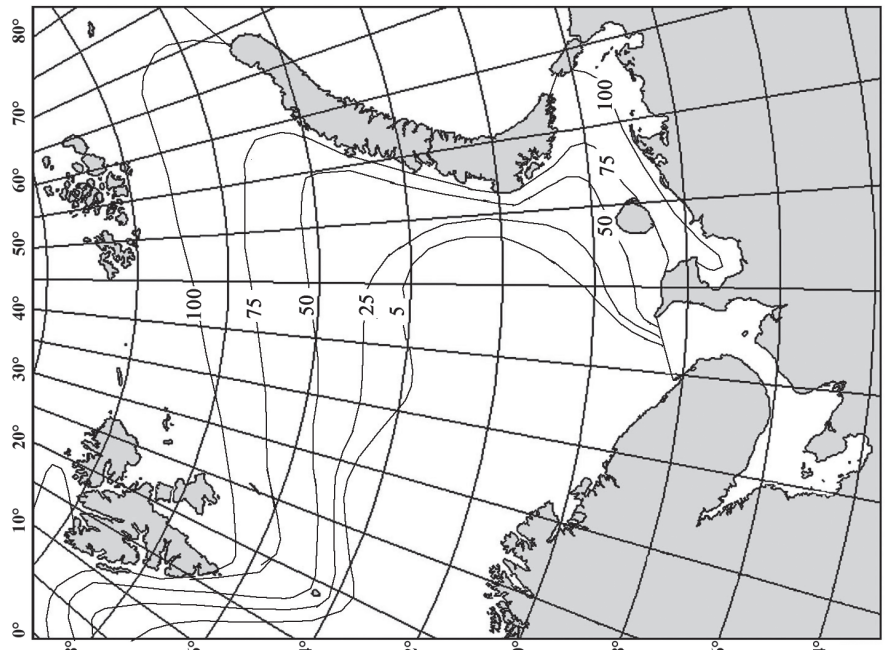
Рис. 2.49. Положение границ льда в Баренцевом море на середину месяца:
——— – среднее; – – – – – максимальное; – · – · – минимальное.



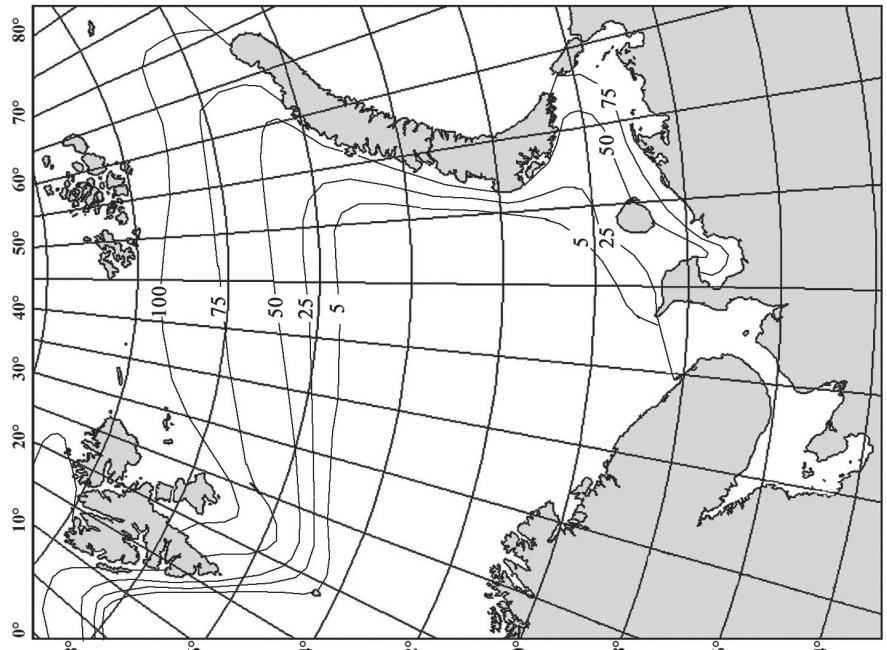
2.50б (ноябрь)



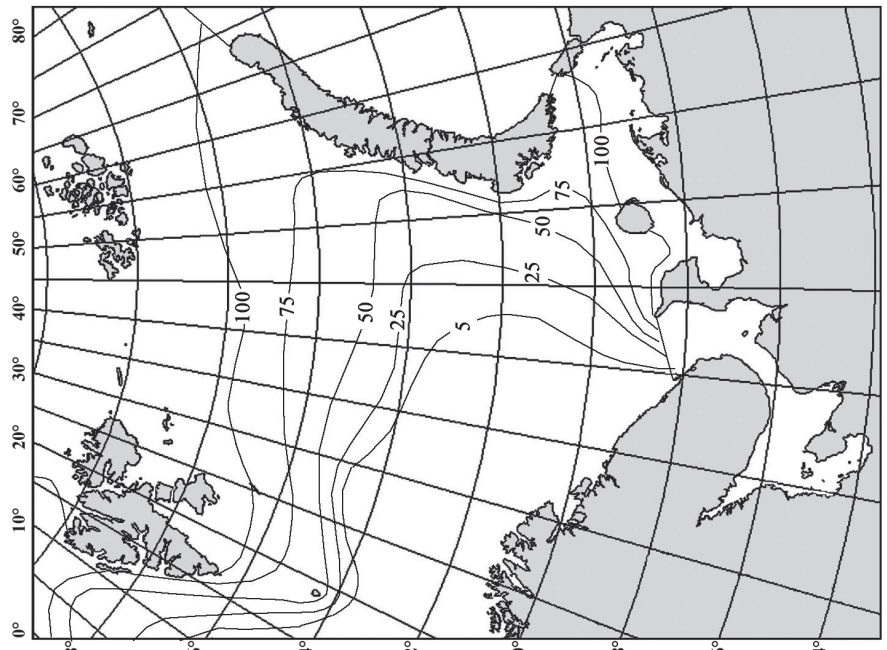
2.50а (октябрь)



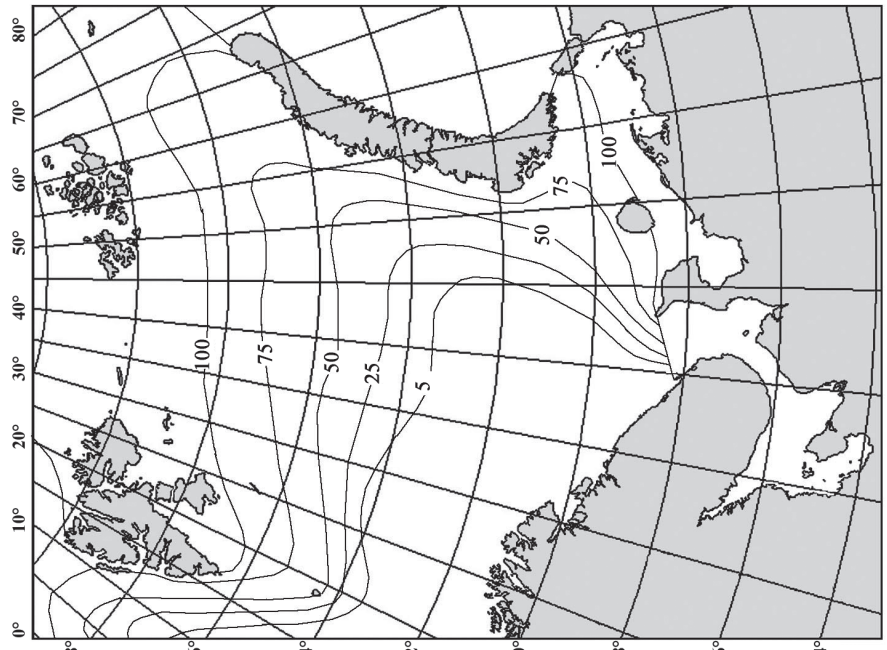
2.50г (январь)



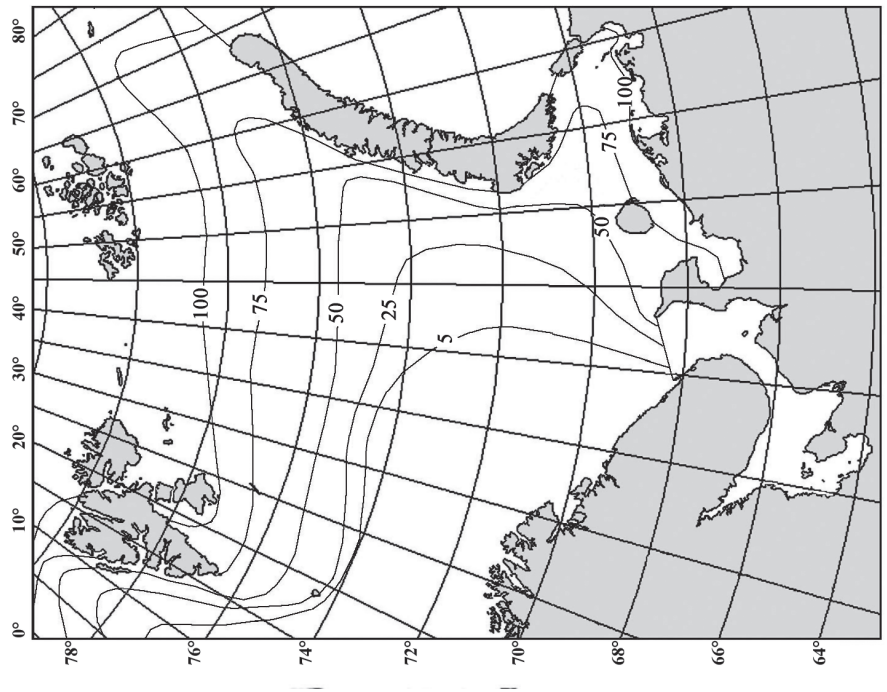
2.50в (декабрь)



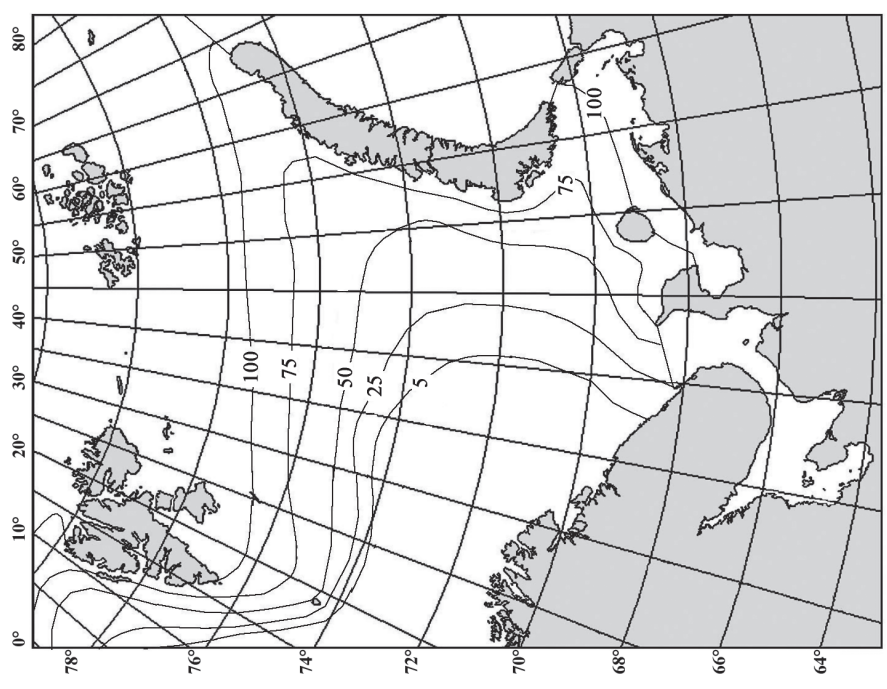
2.50е (март)



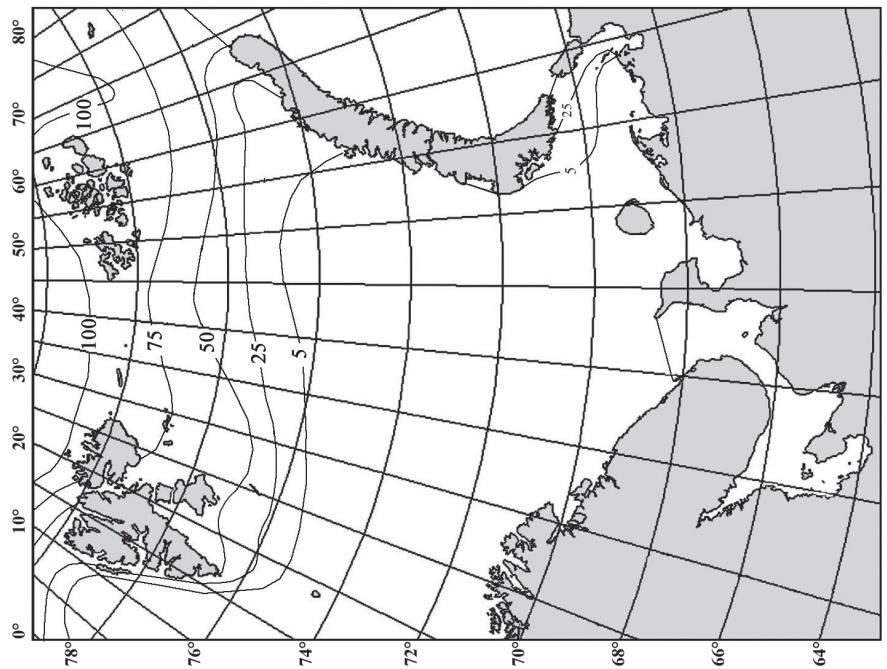
2.50д (февраль)



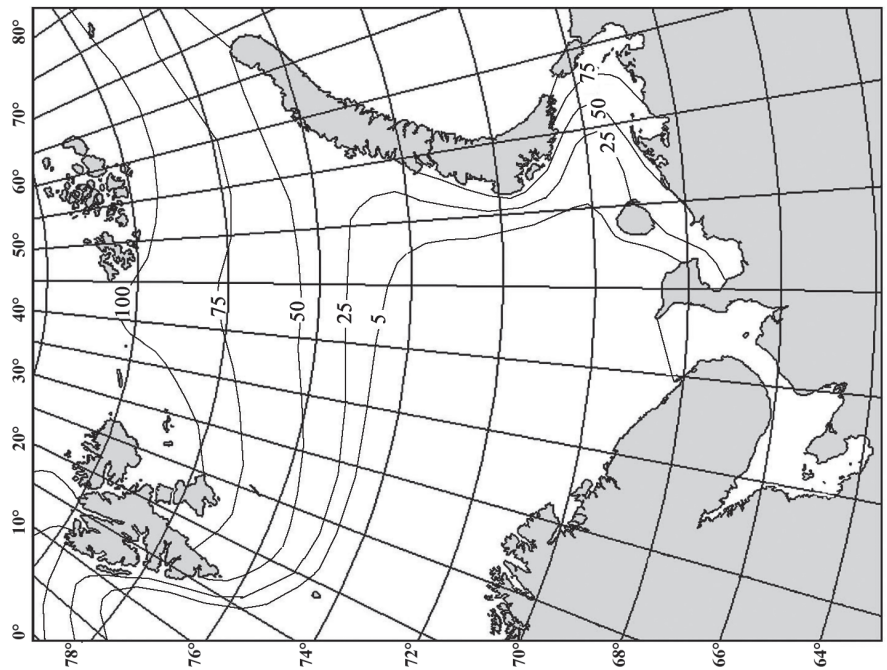
2.50ж (апрель)



2.50к (май)



2.50м (июль)



2.50л (июнь)

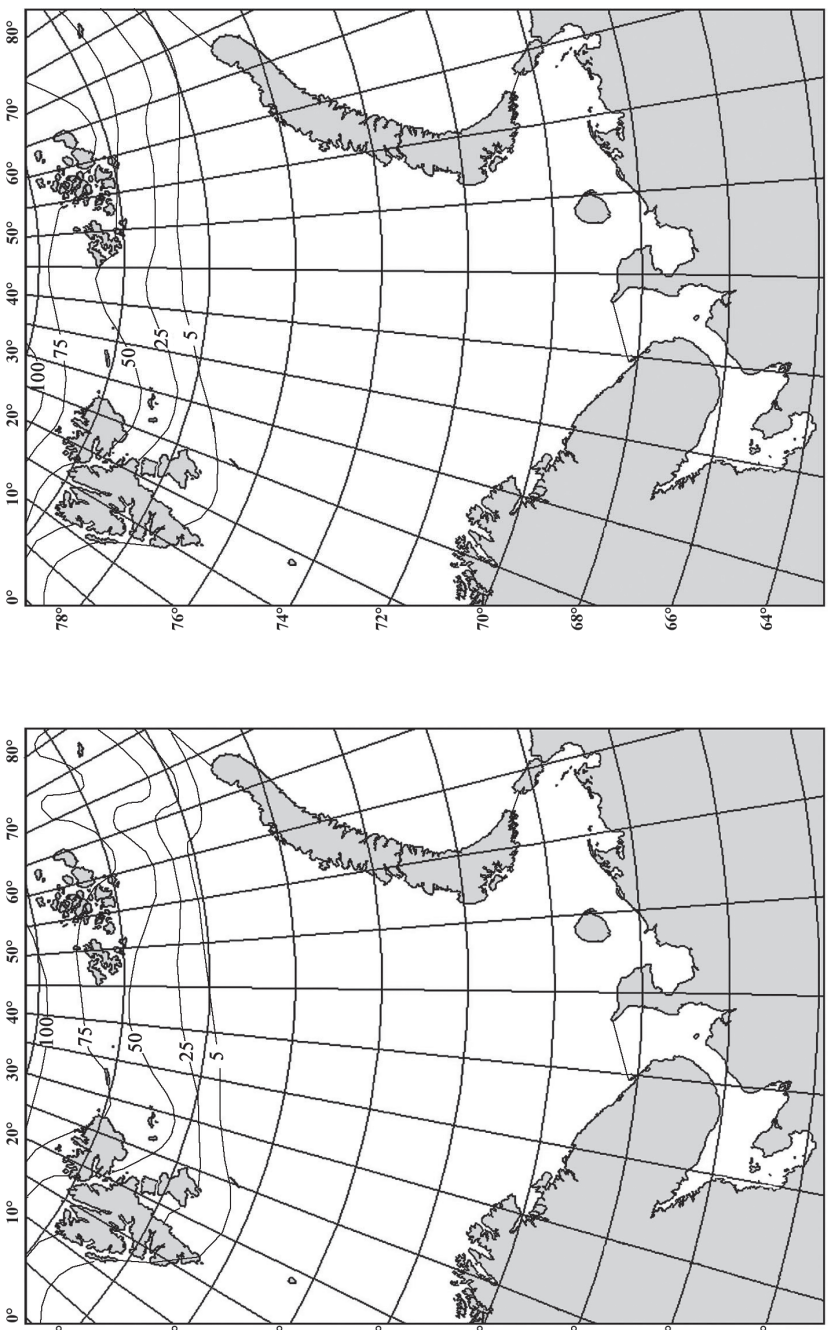
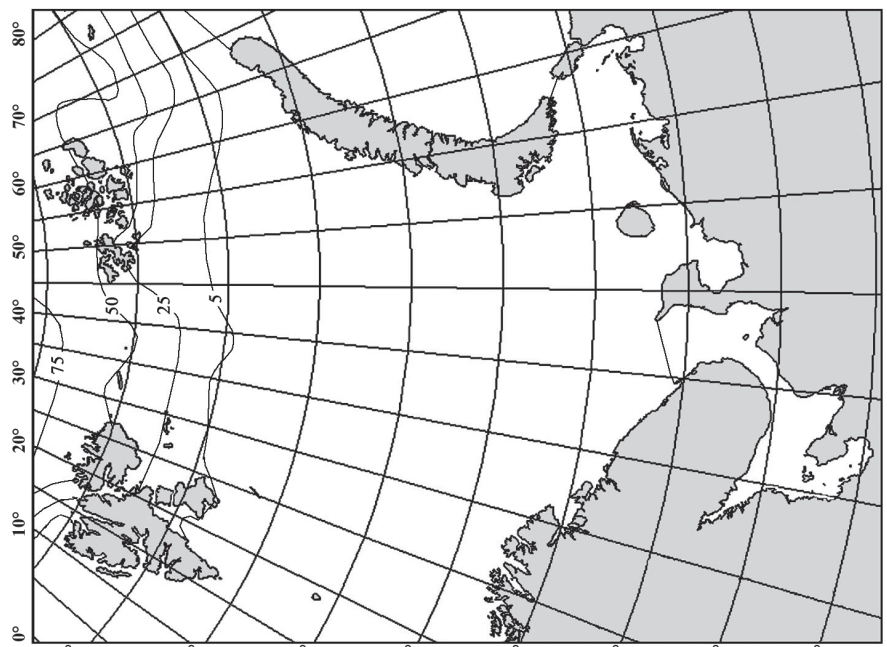


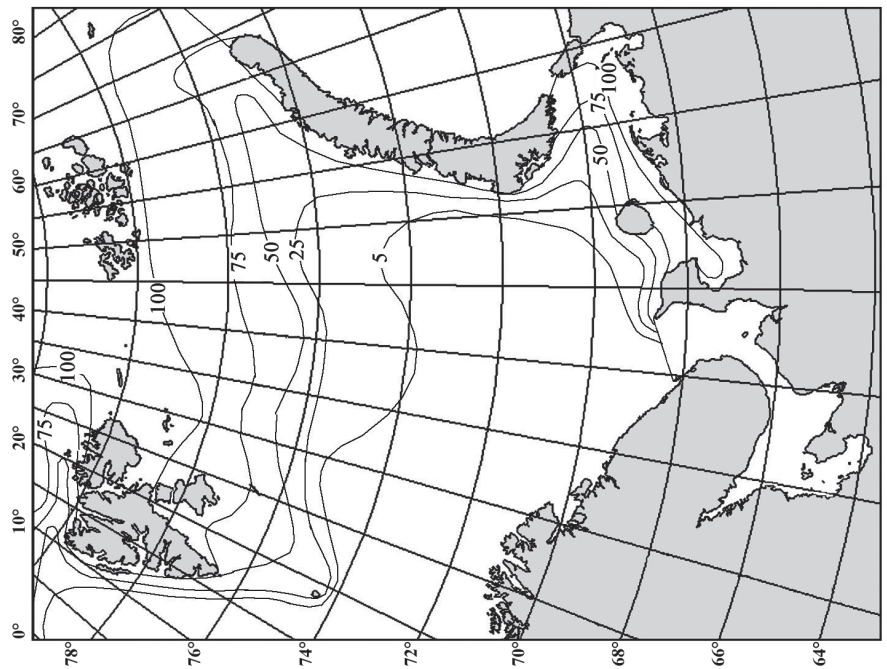
Рис. 2.50. Повторяемость наличия льда в Баренцевом море на середину месяца, рассчитанная по данным ледовых авиаразведок за 50—80-е гг. XX века.



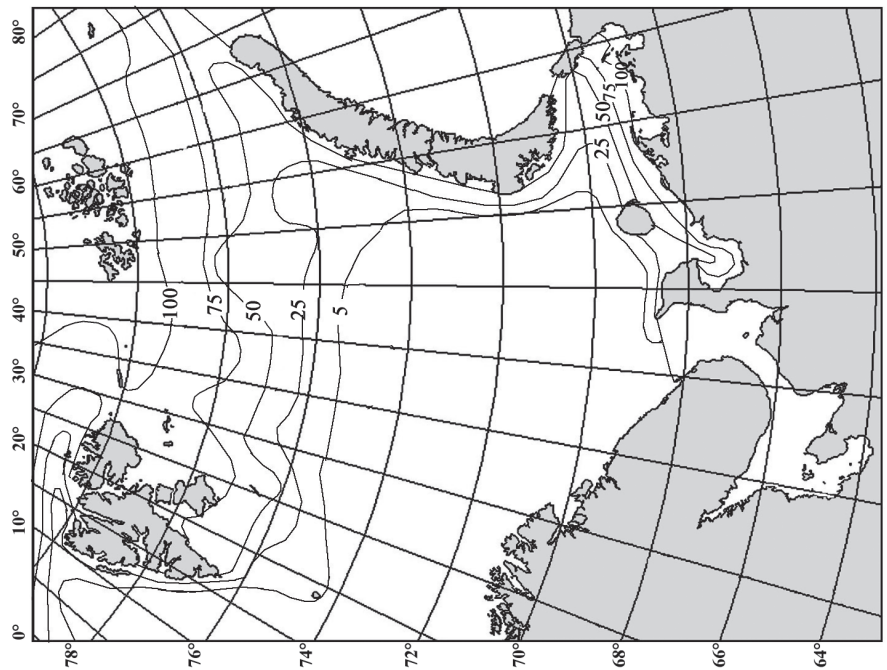
2.51б (ноябрь)



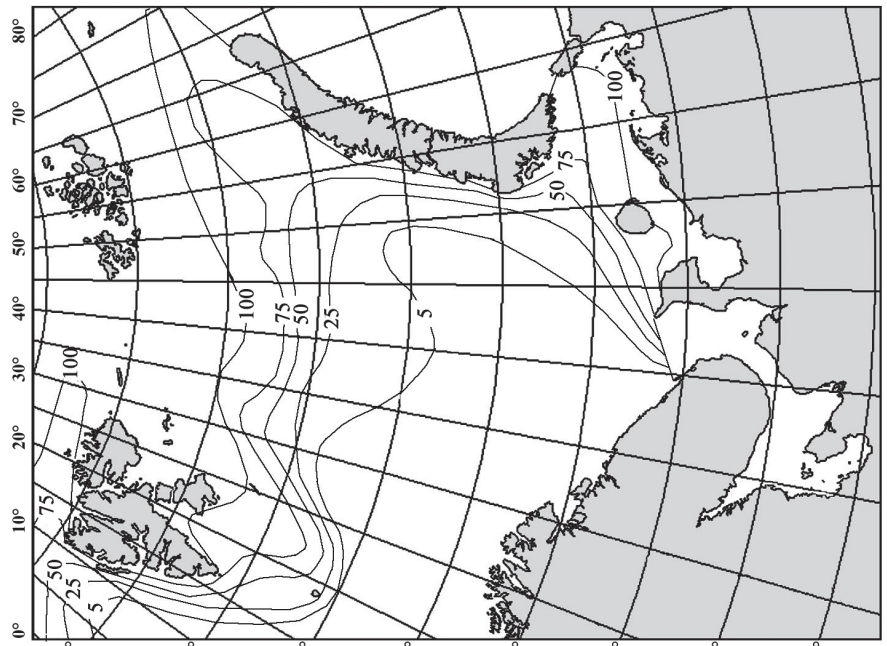
2.51а (октябрь)



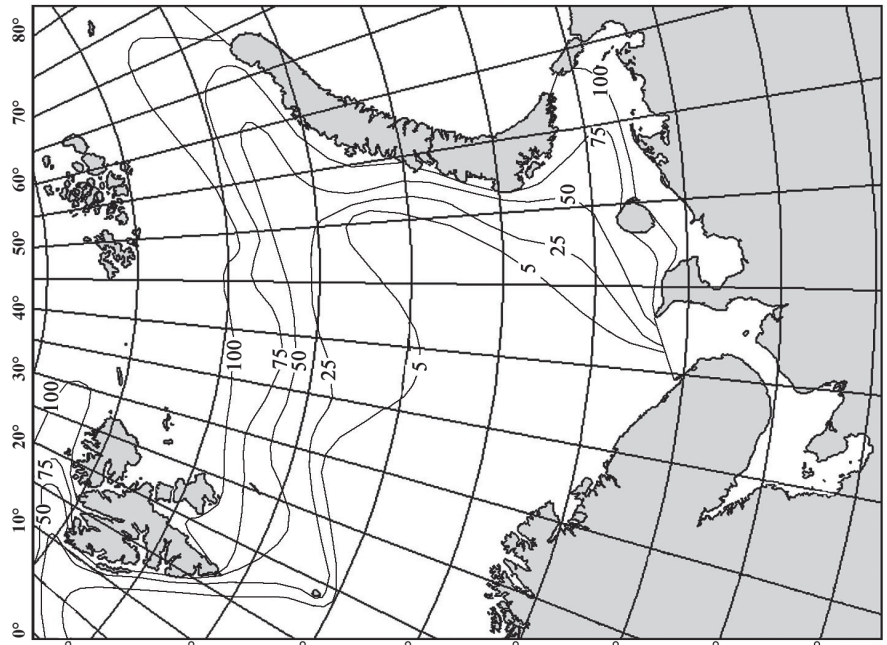
2.51г (январь)



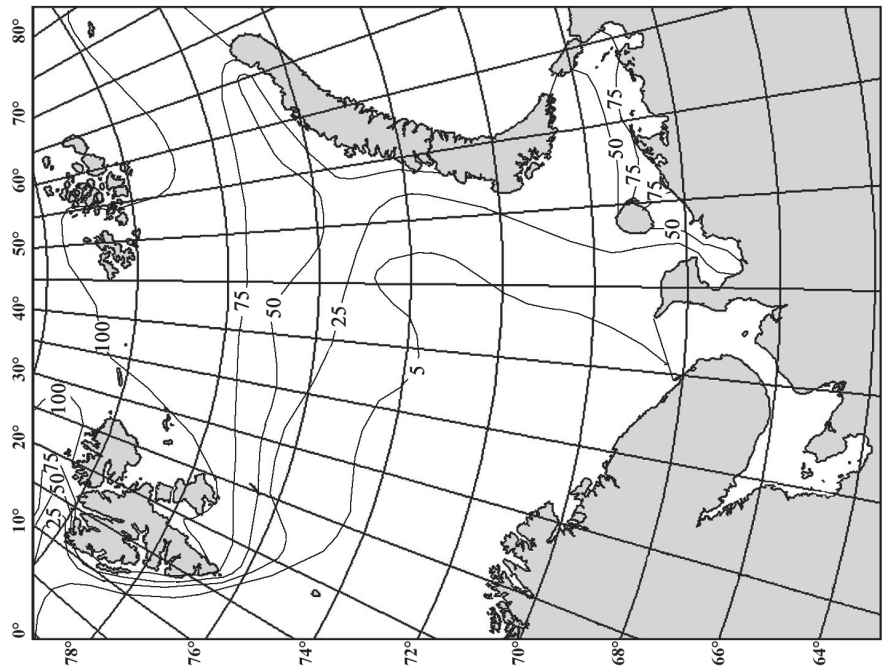
2.51в (декабрь)



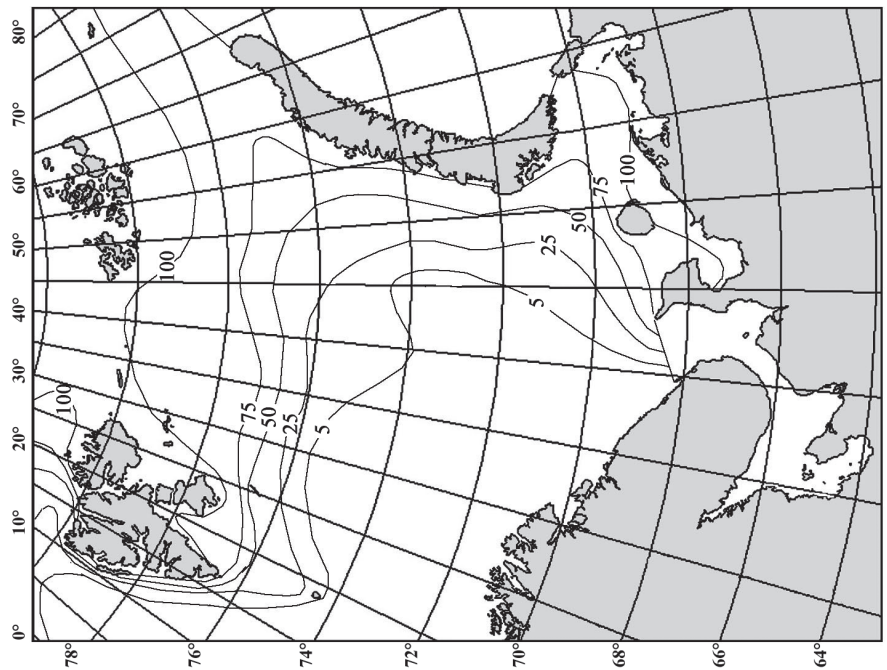
2.51е (март)



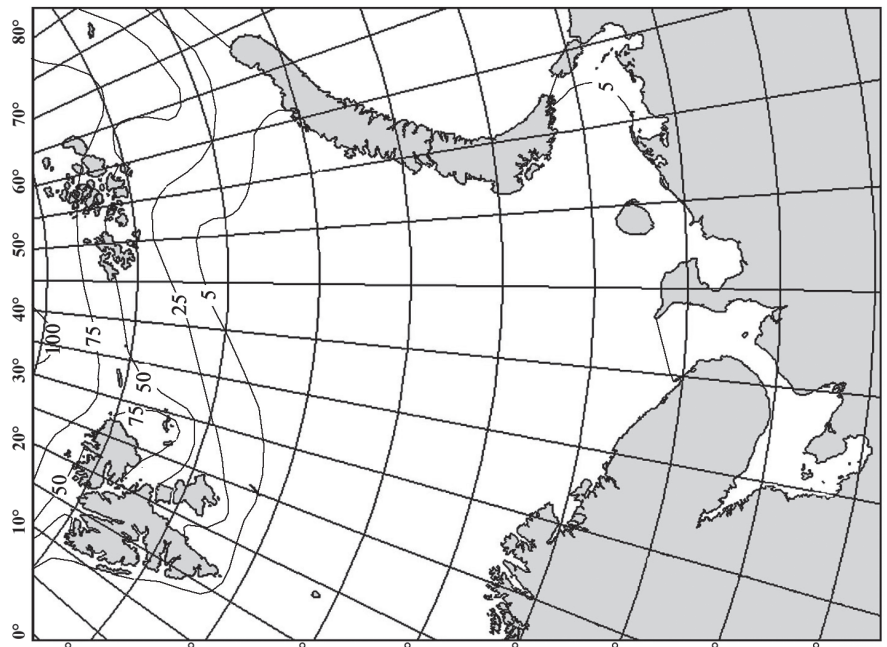
2.51д (февраль)



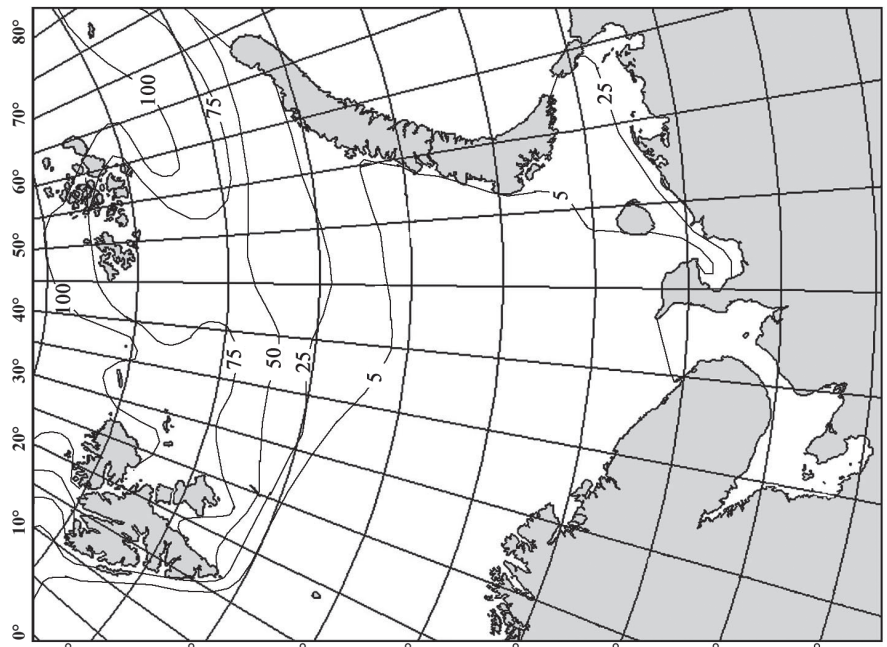
2.51к (май)



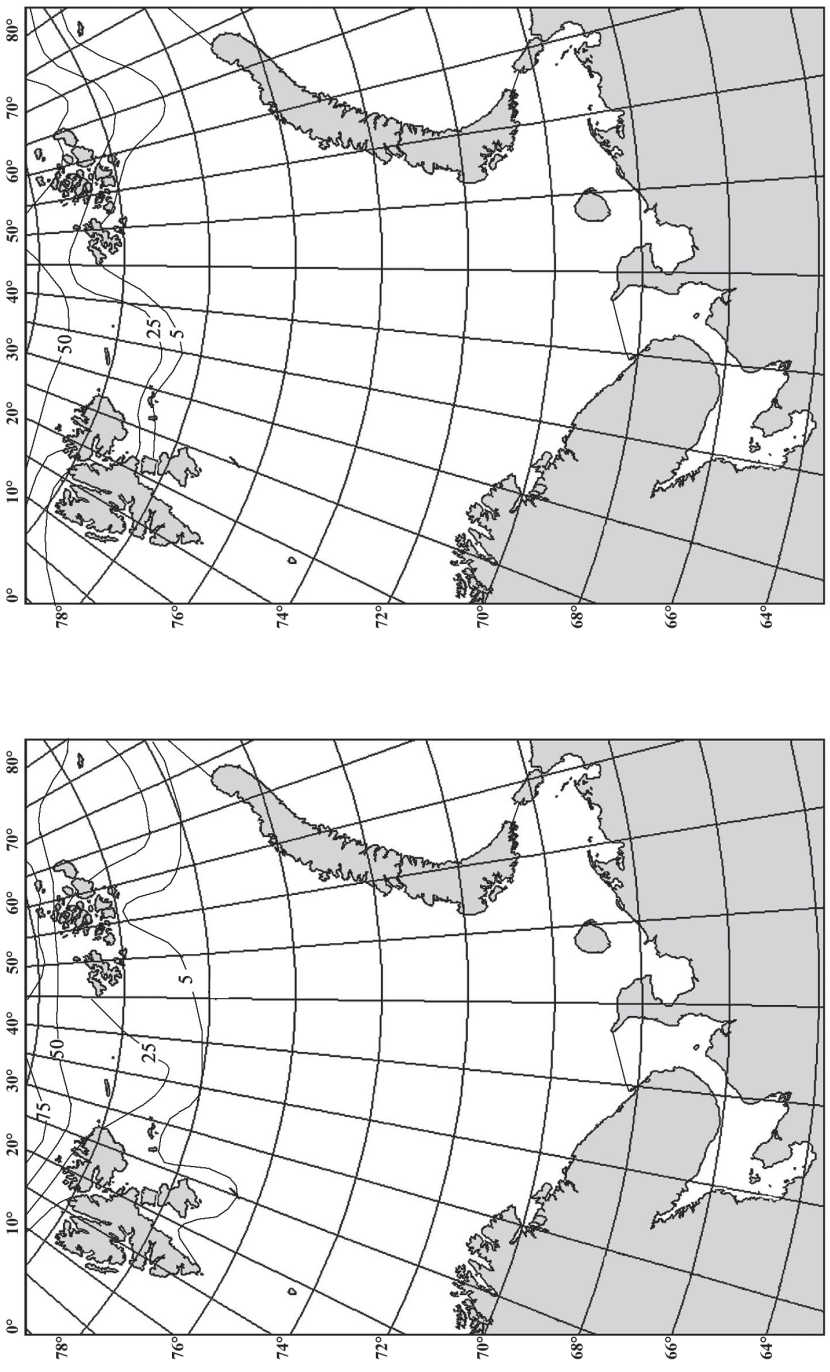
2.51ж (апрель)



2.51м (июль)



2.51л (июнь)



2.51н (август) 2.51п (сентябрь)

Рис. 2.51. Повторяемость наличия льда в Баренцевом море на середину месяца, рассчитанная по данным ИСЗ за первые 12 лет XXI века.

Анализ карт на рис. 2.50 (а–п) показывает, что в центральной части моря (в районе меридиана 45° в.д.) с повторяемостью 25 % может присутствовать дрейфующий лед: в ноябре-декабре в районе параллелей 76–77° с.ш., в январе-феврале – на 74,5–75° с.ш., в марте-апреле – на 74° с.ш. В феврале–мае с повторяемостью 50 % полностью покрываются льдом районы 1 и 2, с повторяемостью менее 5 % в отдельные суровые зимы полностью покрывается льдом юго-восточная часть Баренцева моря – район 6 (районирование в соответствии со схемой на рис. 2.1).

Сопоставление рис. 2.50 и 2.51 показывает, что за первые 12 лет XXI века в повторяемостной оценке присутствия льда (в середине каждого месяца) произошли следующие изменения, по сравнению со второй половиной XX века, а именно:

– в октябре-ноябре повторяемость наличия льда в районе архипелага Земля Франца-Иосифа уменьшилась в среднем на 20–25 % (при этом сдвиг изолиний повторяемостей 50, 75 и 100 % на север составил примерно 100–150 км);

– в декабре-январе сдвиг изолиний повторяемости 50, 75 и 100 % на север в северной части моря и на восток в юго-восточной его части составил примерно 60–90 км;

– в феврале-марте сдвиг изолиний повторяемости 25, 50, 75 % на север в северной части моря и на восток в юго-восточной его части составил примерно 60–100 км;

– в апреле-мае сдвиг изолиний повторяемости 25, 50, 75 % на север в северной части моря составил примерно 90–140 км, на юго-востоке на восток – 50–90 км; изолиния повторяемости 25 % приблизилась к наблюдавшемуся во второй половине XX века положению изолинии повторяемости 50 %, в свою очередь изолиния повторяемости 50 % сместилась в положение изолинии повторяемости 75 %;

– в июне–сентябре во всех районах моря наблюдается уменьшение повторяемости наличия льда на 20–30 %, по сравнению с повторяемостями второй половины XX века.

В табл. 2.13 приведены декадные значения толщины припайного льда для полных рядов наблюдений (48–89 лет) на ГМС Баренцева моря и для последних 30 лет. Толщина припайного льда в декабре в районе Земли Франца-Иосифа составляет в среднем 60–80 см, в губах и бухтах Новой Земли, а также в Печорском море и проливе Югорский Шар достигает 40–60 см. В районе о. Колгуев толщина припайного льда в это время 20–30 см.

На момент максимального развития ледяного покрова в апреле толщина припая в районе Земли Франца-Иосифа составляет в среднем 95–105 см (максимальная – 150–160 см), у побережья Новой Земли – 105–115 см (максимальная – 160–170 см), в проливе Югорский Шар – 115–125 см (максимальная – 185–195 см), в районе Варандея – 105–115 см (максимальная – 145–155 см), у побережья о. Колгуев – 70–80 см (максимальная – 105–110 см), в устье Индиги – 80–90 см (максимальная – 105–115 см).

В табл. 2.14 приведена средняя и максимальная толщины припайного льда в Баренцевом море для всего периода наблюдений и для первых 12 лет XXI века.

Таблица 2.13

Толщина припайного льда в Баренцевом море (см)

Месяц	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
БУГРИНО (с сезона 1923/1924 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 89 лет)																								
Средняя	0	0	0	23	28	29	38	42	47	53	58	61	66	69	72	75	76	77	79	78	73	0	0	0
Макс.	23	28	38	39	53	55	55	68	73	83	87	91	94	95	102	102	103	106	112	109	108	88	76	0
Мин.	0	0	0	8	14	12	16	17	12	26	26	28	36	40	27	32	39	42	46	39	36	0	0	0
СКО	–	–	–	9	9	11	10	12	14	14	12	13	13	13	15	14	13	15	15	17	18	–	–	–
БУГРИНО (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																								
Средняя	0	0	0	22	25	25	36	39	44	50	56	58	64	67	69	72	74	75	77	74	69	0	0	0
Макс.	23	28	38	37	36	40	50	56	71	76	76	83	88	94	102	102	103	106	112	109	108	88	76	0
Мин.	0	0	0	12	19	12	16	17	12	26	26	28	36	40	27	32	39	42	46	39	36	0	0	0
СКО	–	–	–	7	5	8	9	12	15	13	13	13	14	14	16	15	15	16	16	18	18	–	–	–
ИНДИГА (устье) (с сезона 1964/1965 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 48 лет)																								
Средняя	0	0	0	0	0	35	37	46	57	61	64	70	74	78	84	86	88	88	83	0	0	0	0	0
Макс.	0	0	23	34	44	57	63	66	89	90	95	100	105	110	119	119	114	114	108	114	104	0	0	0
Мин.	0	0	0	0	0	20	11	18	20	22	30	37	40	47	64	64	64	55	40	0	0	0	0	0
СКО	–	–	–	–	–	12	14	13	12	15	17	15	15	14	12	12	12	15	18	–	–	–	–	–
ИНДИГА (устье) (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																								
Средняя	0	0	0	0	0	0	33	50	58	61	61	67	71	76	83	85	85	81	81	0	0	0	0	0
Макс.	0	0	0	28	40	57	63	66	89	90	95	100	105	110	119	119	114	114	105	106	96	0	0	0
Мин.	0	0	0	0	0	0	11	15	17	18	30	37	42	52	64	64	64	55	40	0	0	0	0	0
СКО	–	–	–	–	–	–	17	11	13	18	18	16	15	14	13	13	13	16	15	–	–	–	–	–

Продолжение табл. 2.13

Месяц	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
КОНСТАНТИНОВСКИЙ (с сезона 1964/1965 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 48 лет)																								
Средняя	24	28	36	43	50	56	61	67	75	82	87	92	96	100	103	105	106	108	108	106	101	0	0	0
Макс.	48	52	67	65	84	92	107	117	127	141	149	158	166	171	181	182	182	187	189	190	192	188	187	181
Мин.	10	6	18	16	19	21	26	26	26	32	32	34	49	57	59	59	60	61	60	58	56	0	0	0
СКО	9	11	12	12	15	17	19	23	21	21	23	22	22	21	21	22	22	23	23	25	27	–	–	–
КОНСТАНТИНОВСКИЙ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																								
Средняя	29	30	38	45	50	57	63	66	74	81	83	87	91	95	98	101	102	103	103	99	92	0	0	0
Макс.	48	52	67	65	79	88	97	108	112	137	140	142	146	148	150	152	156	158	159	159	159	159	85	0
Мин.	13	14	20	25	26	26	26	26	26	32	32	34	49	57	59	59	60	61	60	58	56	0	0	0
СКО	11	11	12	11	13	15	18	23	21	22	24	23	21	20	20	21	21	21	21	21	22	–	–	–
ВАРАНДЕЙ (Шар) (с сезона 1964/1965 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 48 лет)																								
Средняя	22	27	37	45	51	54	60	69	75	81	87	92	96	100	104	108	110	111	114	114	106	94	0	0
Макс.	40	47	54	65	82	92	100	102	102	124	133	136	136	136	138	145	153	158	156	156	150	123	108	0
Мин.	14	12	15	14	24	28	32	36	50	53	58	60	62	69	79	85	90	93	94	85	62	32	0	0
СКО	8	9	11	14	17	18	17	17	14	16	15	16	15	14	14	14	14	14	13	16	21	25	–	–
ВАРАНДЕЙ (Шар) (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																								
Средняя	29	22	33	42	41	44	53	61	68	75	82	86	92	97	102	106	110	112	112	112	103	нс	0	0
Макс.	40	47	54	65	74	80	85	88	89	113	119	121	122	123	130	132	133	134	135	135	128	123	108	0
Мин.	17	12	15	20	24	28	32	36	50	53	58	60	62	69	79	85	90	93	94	85	62	нс	0	0
СКО	12	12	12	14	16	16	15	16	12	14	15	15	14	13	13	12	11	11	11	15	24	нс	–	–
БЕЛЫЙ НОС (с сезона 1940/1941 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 72 год)																								
Средняя	24	29	35	40	50	57	65	74	82	90	96	100	104	109	113	116	119	120	122	123	120	112	102	73
Макс.	81	84	90	96	100	105	108	116	138	150	156	164	171	178	180	185	188	190	192	193	194	194	191	167
Мин.	13	11	8	0	20	10	10	32	40	50	57	65	66	71	73	74	74	76	76	75	70	45	41	28
СКО	15	14	16	17	17	19	19	18	17	17	18	19	19	19	18	18	19	19	20	22	24	29	30	33

Окончание табл. 2.13

Месяц	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
БЕЛЫЙ НОС (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																								
Средняя	22	28	31	39	47	57	67	77	85	91	97	101	106	110	113	115	119	120	122	123	120	нс	нс	0
Макс.	35	49	59	64	74	91	98	116	138	150	156	164	171	178	180	185	188	190	192	193	194	194	191	167
Мин.	13	15	8	14	30	23	36	46	60	62	64	67	70	74	74	74	74	76	76	76	85	нс	нс	0
СКО	9	10	14	13	12	15	15	16	17	18	19	20	20	20	20	20	20	20	22	23	25	нс	нс	–
МАЛЫЕ КАРМАКУЛЫ (с сезона 1939/1940 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 73 года)																								
Средняя	18	27	34	41	50	56	61	69	75	80	87	93	98	102	107	111	114	115	115	115	114	106	90	70
Макс.	43	57	72	78	84	94	104	108	115	124	131	140	148	155	160	164	165	165	165	165	170	170	160	136
Мин.	3	7	6	6	10	7	12	10	29	22	35	46	54	62	66	74	70	70	68	50	69	40	36	10
СКО	12	12	15	16	17	18	20	19	18	20	19	18	19	18	18	18	18	18	19	21	22	25	32	31
МАЛЫЕ КАРМАКУЛЫ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																								
Средняя	18	27	30	42	48	54	60	66	74	79	84	90	96	100	104	108	110	112	112	112	111	97	80	65
Макс.	43	57	72	78	84	94	104	108	115	124	131	140	148	155	160	164	165	165	165	165	170	165	160	116
Мин.	3	7	6	16	15	7	12	10	29	22	35	46	54	62	66	78	81	82	80	78	69	40	45	40
СКО	14	15	18	16	17	20	21	21	19	21	19	19	20	18	17	17	16	15	16	19	23	25	38	25
о. ХЕЙСА (с сезона 1957/1958 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 55 года)																								
Средняя	45	52	59	65	71	75	79	83	87	90	92	95	100	100	100	100	99	97	96	95	92	91	87	85
Макс.	82	96	98	106	112	116	119	126	124	130	130	130	132	137	141	147	155	160	163	164	163	160	152	143
Мин.	11	13	28	35	43	45	47	49	49	54	56	57	58	54	48	48	40	37	35	28	25	15	20	20
СКО	17	16	15	15	15	15	15	17	18	19	20	20	21	21	22	24	26	27	29	31	32	31	29	26
о. ХЕЙСА (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																								
Средняя	44	52	59	66	72	77	81	85	88	92	95	97	99	100	100	101	102	100	99	97	95	91	88	85
Макс.	75	83	94	106	112	116	119	122	124	130	130	130	130	135	141	147	145	141	143	143	143	140	126	111
Мин.	18	24	28	35	43	49	49	49	49	55	59	59	58	58	58	58	58	51	40	30	29	27	23	20
СКО	19	17	17	16	14	16	16	16	17	18	18	19	19	18	20	21	21	21	22	24	25	27	23	20

Таблица 2.14

Средняя и максимальная толщина припайного льда в Баренцевом море на момент наибольшего развития ледяного покрова в апреле-мае для всего периода наблюдений и для первых 12 лет XXI века (см)

ГМС	Средняя толщина льда за весь период наблюдений	Максимальная толщина льда за весь период наблюдений	Средняя толщина льда за 12 лет XXI века	Максимальная толщина льда за 12 лет XXI века
Бугрино	79	112	72	85
Индига	88	114	79	90
Константиновский	108	190	103	143
Варандей	114	158	111	135
Белый Нос	123	194	112	128
о. Хейса	100	164	99	143
Малые Кармакулы	115	171	105	120

Анализ табл. 2.13 показывает, что за последнее 30-летие средние толщины морского припайного льда уменьшились в среднем на 1–5 см. Максимальные толщины льда на юго-востоке моря в районе м. Константиновский и пролива Варандей-Шар уменьшились на 20–25 см. Анализ табл. 2.14 показывает, что за последние 12 лет уменьшение средней толщины припайного льда в Баренцевом море по данным разных станций составило от 1 до 11 см, уменьшение максимальных толщин – от 20 до 65 см.

Толщина дрейфующих льдов в конце зимы в прикромочной зоне обычно не превышает 30 см. Как правило, здесь отсутствуют ледяные поля и преобладает битый лед. В юго-восточной части Баренцева моря в зимний период дрейфующий лед достигает толщины 70–80 см. Наибольших толщин (120–140 см) к концу зимы дрейфующий лед достигает в северной части Баренцева моря. Здесь преобладают обширные поля и обломки полей. В результате частых подвижек под действием ветра, течений и приливов ледяные поля часто разламываются, торосятся и снова смерзаются. В северных районах нередко встречаются айсберги, сходящие с ледников архипелагов Земля Франца-Иосифа и Шпицберген (реже – Новой Земли).

Дрейф льда в Баренцевом море вызывается в основном действием преобладающих ветров и системой постоянных течений. В зимнее время дрейф льда направлен на север, при этом имеют место сильные сжатия и торошение льдов.

В умеренные зимы в апреле (в момент максимального развития льда) кромка в Баренцевом море проходит вдоль западных берегов Шпицбергена на расстоянии 20–50 км. Далее она спускается и, постепенно отклоняясь к юго-востоку, достигает 75° с.ш. Затем кромка обычно круто поворачивает на юго-запад и подходит к берегу материка в районе м. Святой Нос. Значительная часть юго-восточного района моря в марте-апреле покрыта припайным и дрейфующим льдом. В годы аномально большой ледовитости кромка льдов в апреле спускается в западных районах моря южнее 73° с.ш., при этом северная

кромка льда северо-восточной части Баренцева моря подходит к берегу Кольского п-ова у о. Кильдин (см. рис. 2.26).

В табл. 2.15 и 2.16 приведены данные о ледовитости (средней, максимальной и минимальной) всего Баренцева моря и его юго-восточной части.

Таблица 2.15

Среднемесячная (осредненная по трем декадам) ледовитость Баренцева моря за весь период наблюдений, за последние 30 лет и за первые 12 лет XXI века (%)

Месяц	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
с сезона 1906/1907 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 106 лет												
Средняя	15	28	38	50	56	60	62	55	42	24	12	7
Макс.	38	53	64	73	83	86	92	89	80	62	35	35
Мин.	0	10	14	23	29	34	25	16	8	2	0	0
СКО	7	9	10	10	10	10	12	14	15	12	8	6
с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет												
Средняя	13	29	39	48	53	54	54	46	32	16	6	5
Макс.	31	48	50	65	71	75	75	69	56	31	16	18
Мин.	0	11	22	23	29	34	25	16	8	2	0	0
СКО	8	10	8	10	11	9	12	13	12	9	4	4
с сезона 2000/2001 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 12 лет												
Средняя	9	23	33	41	46	50	47	38	23	10	4	3
Макс.	17	40	50	60	59	66	61	56	44	28	11	10
Мин.	2	11	22	23	29	34	28	16	8	2	0	0
СКО	5	9	9	12	9	9	10	12	9	7	3	3

Таблица 2.16

Среднемесячная (осредненная по трем декадам) ледовитость юго-восточной части Баренцева моря (район 6) за весь период наблюдений, за последние 30 лет и за первые 12 лет XXI века (%)

Месяц	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
с сезона 1927/1928 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 85 лет												
Средняя	0	8	26	45	60	66	66	48	18	3	0	0
Макс.	14	58	71	86	99	99	99	100	62	23	11	9
Мин.	0	0	0	16	26	27	4	0	0	0	0	0
СКО	2	9	13	14	16	16	18	22	16	5	1	1
с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет												
Средняя	0	12	27	47	59	62	60	36	12	1	0	0
Макс.	14	58	71	86	97	93	96	85	50	13	11	9
Мин.	0	0	0	21	26	27	4	0	0	0	0	0
СКО	3	12	14	15	17	16	22	23	13	3	2	2
с сезона 2000/2001 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 12 лет												
Средняя	0	12	24	40	55	61	55	30	8	1	0	0
Макс.	3	26	41	59	82	86	90	45	16	5	1	0
Мин.	0	0	10	21	26	40	26	8	1	0	0	0
СКО	1	8	12	12	16	12	18	14	5	1	0	0

Анализ табл. 2.15 показывает, что средняя ледовитость Баренцева моря в месяц наибольшего развития ледяного покрова по полному ряду наблюдений составляет 62 %, по последнему 30-летнему ряду – 54 %, по 12-летнему ряду XXI века – 50 %. Аналогичные значения средней ледовитости для юго-восточной части Баренцева моря (по данным табл. 2.16) – 66, 62 и 61 %.

В суровые зимы 1917, 1929, 1942 и 1966 гг. ледовитость Баренцева моря в апреле составляла около 90 %. В особенно теплые зимы наибольшая ледовитость даже в апреле не превышала 30–40 %. В последнее 30-летие максимальная ледовитость моря не превышала в марте-апреле 75 %, а в последние 12 лет – 66 %.

Трассовый юго-восточный район моря всегда свободен ото льда в июле–октябре, а максимум ледовитости этого района отмечается, так же как и для всего Баренцева моря, в марте-апреле.

В августе-сентябре аномально теплых лет море полностью очищается ото льда, а в аномально холодные годы лед в эти месяцы сохраняется на 30–35 % его площади, располагаясь преимущественно в северных районах. Полное отсутствие льда (ледовитость – 0 %) в пределах географических границ моря наблюдалось, например, в августе, сентябре и октябре 1972 и 1984 годов.

В Баренцевом море преобладают льды, образовавшиеся в пределах самого моря. Но в отдельные годы в северо-западную часть моря зимой поступают старые льды из Северного Ледовитого океана через пролив между островами Шпицберген и Земля Франца-Иосифа. Нередко в северо-восточную часть моря приносятся мощные льды из северной части Карского моря. Небольшая часть льда поступает из Белого моря, а также из юго-западной части Карского моря через проливы Карские Ворота и Югорский Шар.

Ледяной покров в открытом море, за исключением прикромочных и прибрежных областей, имеет большую сплоченность в течение всей зимы, однако у южного, западного и северо-восточного побережий архипелага Земля Франца-Иосифа, вдоль берегов архипелага Новая Земля, у островов Колгуев и Вайгач часто образуются обширные полыньи, положение которых тесно связано с режимом преобладающих ветров.

Важной характеристикой ледяного покрова является торосистость льда, оцениваемая по 5-балльной шкале. Под степенью торосистости понимается отношение площади торосистого льда к общей площади зоны, в которой определяется данная характеристика. Степень торосистости 0 баллов соответствует отсутствию торосов, а 5 баллов – сплошному торосистому льду. Зоны льда повышенной торосистости сильно лимитируют судоходство, а мощные торосы представляют большую опасность как для судов, так и для гидротехнических сооружений. Льды со значительной торосистостью, выносимые из Белого и Карского морей, с наибольшей повторяемостью могут встречаться на восточных подходах к п-ову Канин (к западу от о. Колгуев в локальном районе языка беломорского льда) и на западных подходах к проливу Карские Ворота, а также в самом проливе. Характерное положение языка беломорского льда можно видеть, например, на рис. 2.22 и 2.25, а также на снимке с ИСЗ (рис. 2.52).

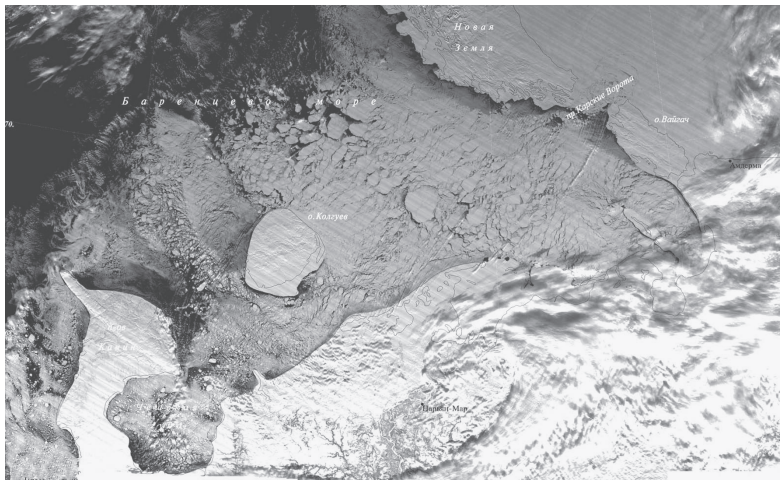
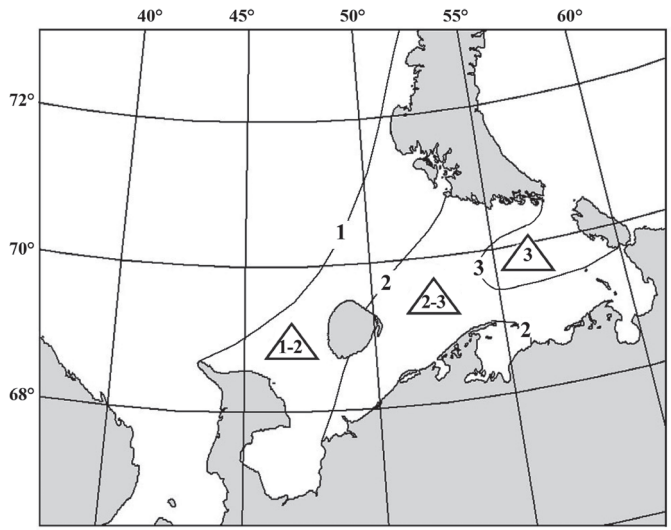


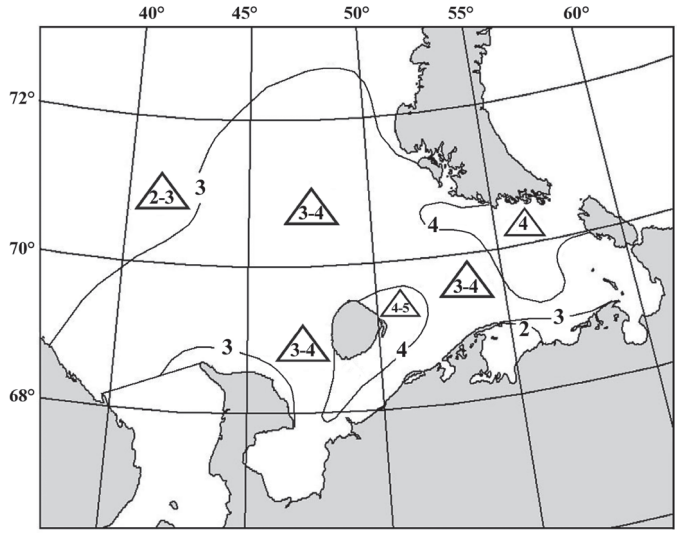
Рис. 2.52. Юго-восточная часть Баренцева моря в середине ледового сезона. Февраль 2009 года. Снимок с ИСЗ TERRA (MODIS).

В юго-восточной части Баренцева моря степень торосистости достигает своих наибольших значений в марте-апреле. На рис. 2.53 приведено характерное для умеренной зимы и суровой зимы 1978/1979 гг. распределение степени торосистости на юго-востоке моря в эти месяцы.

Исследования, выполненные в ААНИИ, показывают, что строгого соответствия между суровостью зимы и степенью торосистости льда на юго-востоке Баренцева моря не прослеживается. Только в отдельных случаях в суровые годы с большой ледовитостью наблюдается большая степень торосистости льда, как это видно на рис. 2.53 (б).



2.53а



2.53б

Рис. 2.53. Распределение степени торосистости на юго-востоке Баренцева моря, характерное для марта-апреля умеренной зимы (а) и суровой зимы (б).

Часто наличие положительной аномалии ледовитости Баренцева моря не предполагает больших значений торосистости. В зимы же, являющиеся по суммам градусодней мороза умеренными, но при этом характеризующиеся значительной активностью атмосферных процессов, торосистость может быть аномально высокой [66].

2.6. Очищение ото льда Баренцева моря

В мае под действием солнечной радиации активизируется процесс таяния и разрушения ледяного покрова Баренцева моря. Рис. 2.54 демонстрирует процесс очищения юго-восточной части Баренцева моря ото льда в мае 2009 года.

На рис. 2.55–2.57 приведены карты изохрон ранних, средних и поздних сроков очищения ото льда юго-восточной части Баренцева моря.

На рис. 2.58 приведена карта изохрон средних сроков полного очищения ото льда Баренцева моря. Можно видеть, что в середине июня средняя кромка льда располагается севернее 76° с.ш. в центральном районе и вплотную подходит к берегам Новой Земли на востоке моря. К середине июля западные берега архипелага Новая Земля обычно на всем протяжении полностью освобождаются ото льдов, исчезают льды и в юго-восточной части моря.

Для июля-августа характерно интенсивное смещение кромки льда к северу. Этот процесс начинается раньше и протекает быстрее на участках теплых течений.

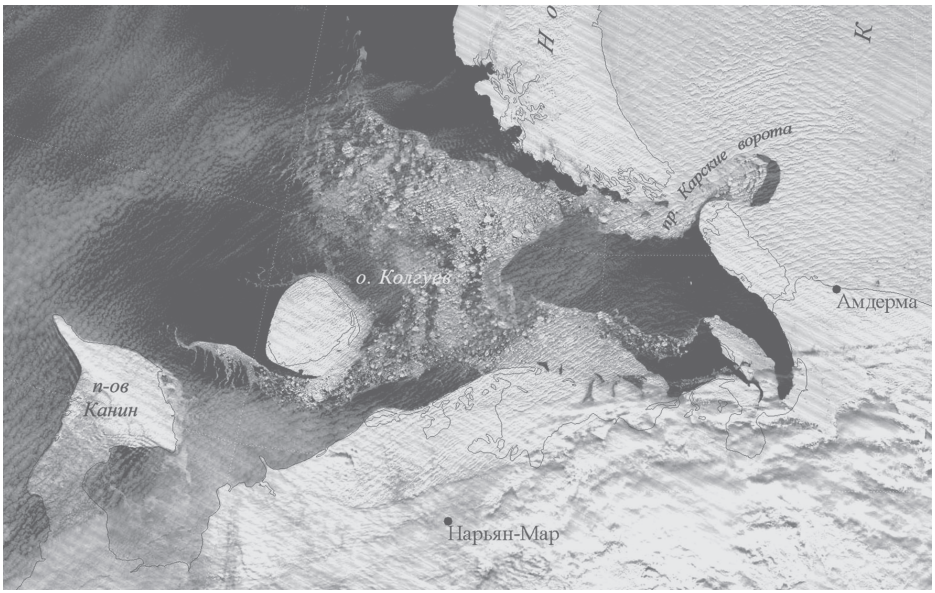


Рис. 2.54. Процесс очищения Баренцева моря ото льда. Май 2009 года. Снимок с ИСЗ TERRA (MODIS).

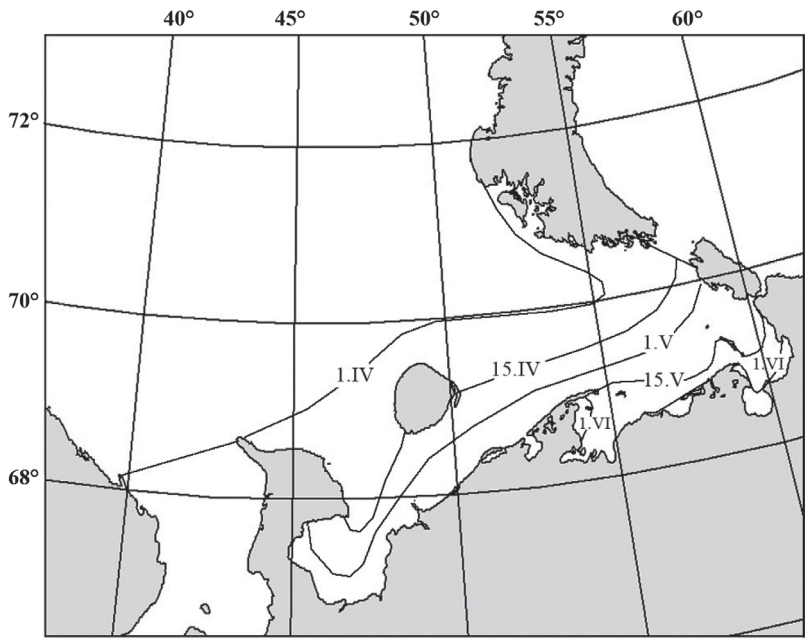


Рис. 2.55. Карта изохрон ранних сроков полного очищения ото льда юго-восточной части Баренцева моря.

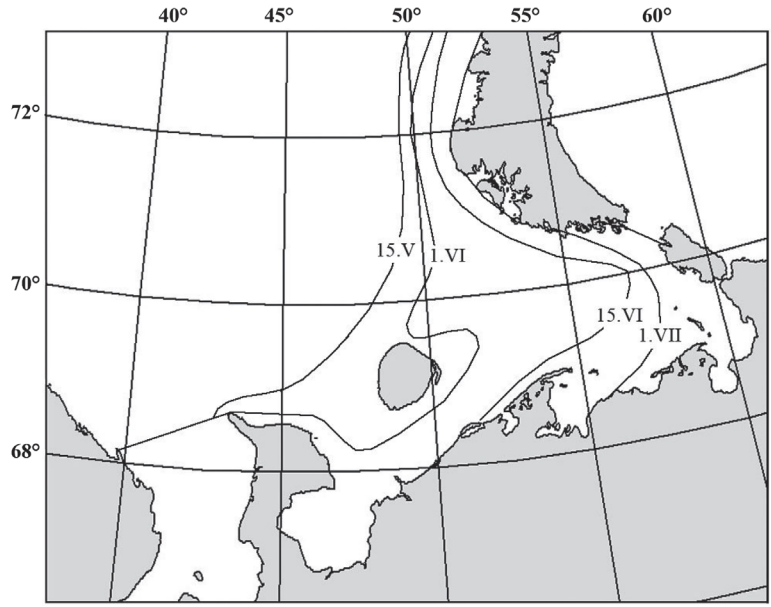


Рис. 2.56. Карта изохрон средних сроков полного очищения ото льда юго-восточной части Баренцева моря.

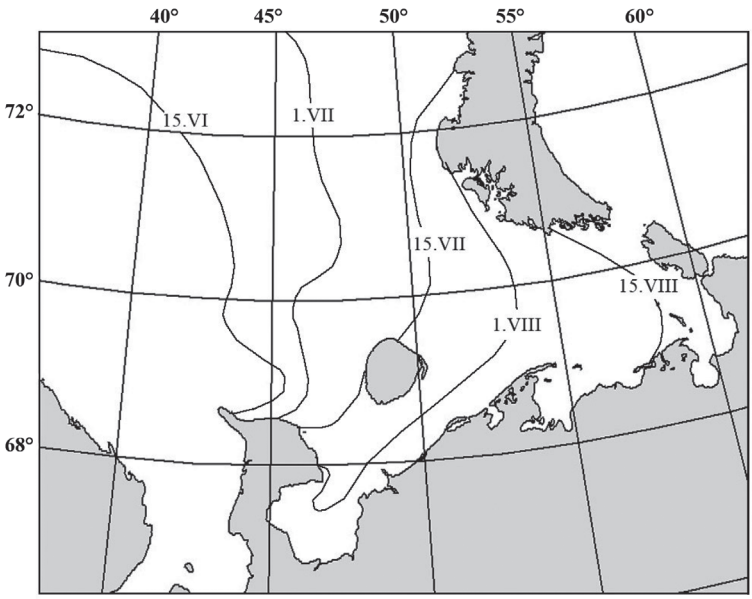


Рис. 2.57. Карта изохрон поздних сроков полного очищения ото льда юго-восточной части Баренцева моря.

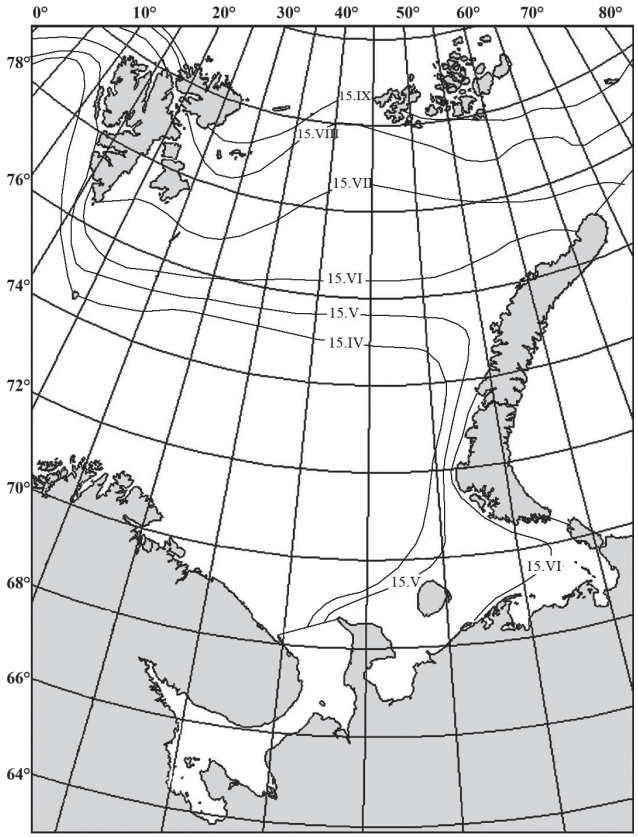


Рис. 2.58. Карта изохрон средних сроков полного очищения ото льда Баренцева моря.

На северо-западе наиболее быстрое отступление кромки на север наблюдается в районе северной ветви Нордкапского течения. В восточной части моря быстрее всего разрушаются льды в зонах влияния Новоземельского и Центрального течений. Благодаря влиянию, которое оказывает на ледяной покров Центральное течение, между отрогами льда, располагающимися в северо-восточной и северо-западной частях Баренцева моря, в летнее время образуется глубокий залив, ориентированный на север. При этом у южных берегов архипелага Земля Франца-Иосифа часто образуется обширное пространство чистой воды, ускоряющее дальнейший процесс очищения моря ото льда.

В теплую часть года (май–август) над морем господствуют ветры северных направлений, которые способствуют переносу льда на юг, где он быстро разрушается под действием радиации и подтока с юга более теплых вод [3, 4, 33].

2.7. Влияние ледовых процессов на судоходство и добычу углеводородов в Баренцевом море

Через районы, покрывающиеся льдом, проходят пять основных трасс Баренцева моря: Мурманск – архипелаг Земля Франца-Иосифа, Мурманск – м. Желания (архипелаг Новая Земля), Мурманск – пролив Карские Ворота (или пролив Югорский Шар), Мурманск – Варандей, Воронка Белого моря – Варандей. Протяженность указанных трасс составляет 720, 730, 500, 540 и 480 миль. На рис. 2.59 показаны основные традиционные курсы плавания судов в Баренцевом море.

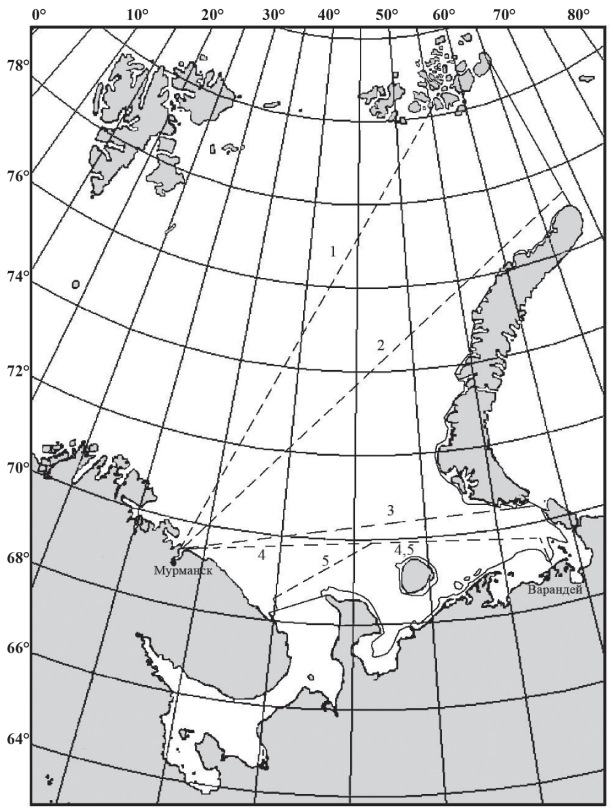


Рис. 2.59. Основные традиционные курсы плавания судов в Баренцевом море:
сплошная линия – изобата 20 м; пунктир – традиционные курсы;
1 – Мурманск – Земля Франца Иосифа; 2 – Мурманск – м. Желания; 3 – Мурманск – Карские Ворота; 4 – Мурманск – Варандей; 5 – Воронка Белого моря – Варандей.

В ледовый период главными лимитирующими судоходство характеристиками (кроме глубины моря) являются толщина (или возраст), а также сплоченность льда. Причем в зимний период при условиях существования

преимущественно очень сплоченного льда (9–10 баллов) ледопроходимость определяется прежде всего толщиной льда.

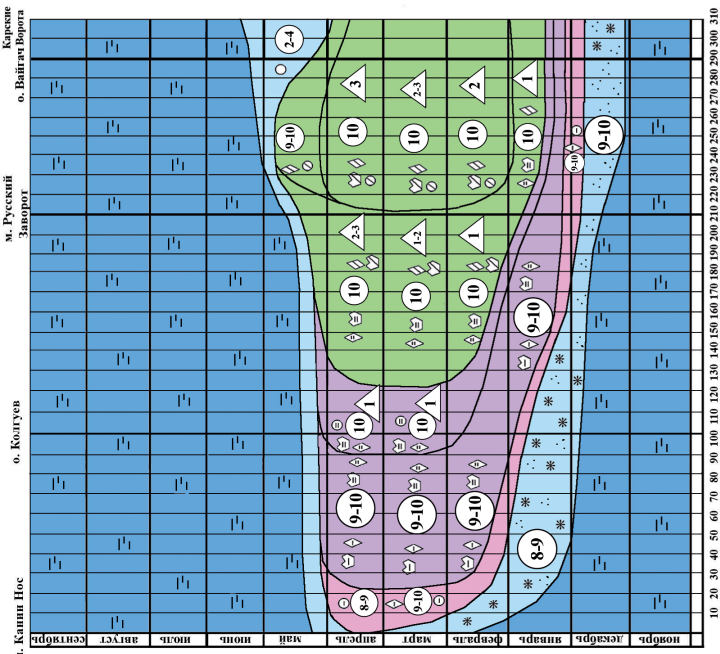
В летний период (от начала разрушения до нового ледообразования) определяющей навигационной ледовой характеристикой считается сплоченность дрейфующего льда. Толщина льда, степень разрушенности которого превышает 2 балла, уже не характеризует ледопроходимость из-за потери им прочностных свойств.

Сжатия в ледяном покрове – важнейший фактор, серьезно осложняющий ледовое плавание в западном районе Арктики, и в том числе в Баренцевом море. Повторяемость сильных сжатий – ветровых и приливных – в зимнее время составляет для участка трассы в юго-восточной части моря порядка 10 % времени плавания. Возможности современных атомных ледоколов позволяют без серьезных затруднений обеспечивать регулярную, осуществляемую с 1979 г., круглогодичную навигацию на трассе Мурманск – Дудинка. Транспортные операции с использованием зимнего припая в Баренцевом море возможны в районе Земли Франца-Иосифа с февраля, а в юго-восточной части Баренцева моря – с марта по достижении припаем толщины 80–90 см.

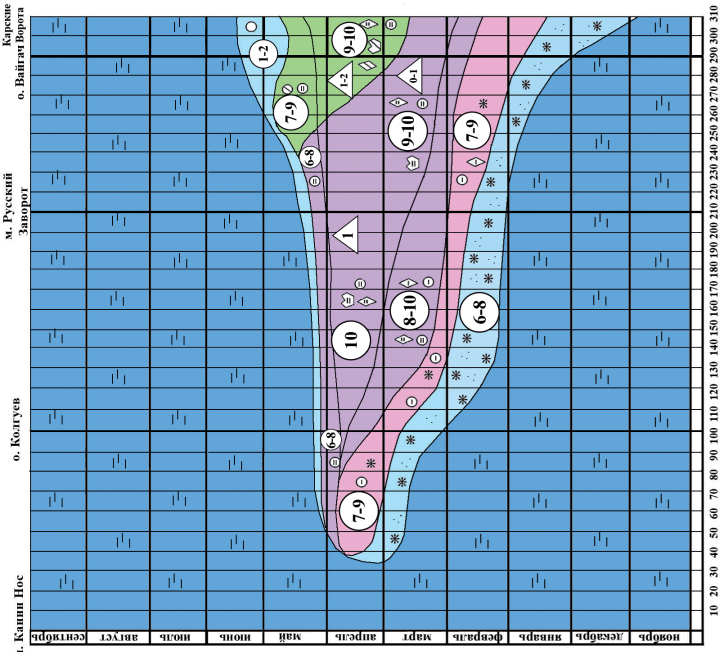
На рис. 2.60 представлены графики типичных ледовых условий на участке ледовой трассы № 3 (Мурманск – Карские Ворота): от траверза м. Канин Нос до пролива Карские Ворота. По этому участку трассы осуществляется активное судоходство в ледовый период. Его протяженность составляет 290 миль. Графики построены для мягкой зимы (а), умеренной зимы (б), суровой зимы (в) и самой суровой зимы 1968/1969 гг. (г). К сожалению, для самой суровой зимы не удалось найти надежных данных о возрастных характеристиках льда, поэтому график построен только по данным о сплоченности льда. Предположительно, возрастные характеристики близки данным, имеющимся для суровых зим 1978/1979 гг. и 1965/1966 гг. (рис. 2.60в).

В табл. 2.17 приведена протяженность ледовых зон на трассе м. Канин Нос – Карские Ворота. Анализ таблицы показывает, что в мягкие зимы трасса полностью не покрывается льдом. В умеренные зимы на всей трассе может наблюдаться лед в течение трех месяцев, в суровые зимы – в течение 4–6 месяцев. После мягкой зимы в середине мая общая протяженность ледовых зон составляет в среднем 70 миль, после умеренной зимы – 120 миль, после суровой зимы – 290 миль (вся трасса покрыта льдом). В середине июня после мягкой и умеренной зимы трасса свободна ото льда, после суровых зим общая протяженность ледовых зон составляет в среднем от 180 до 290 миль (лед сплоченностью от 2–4 до 7–9 баллов).

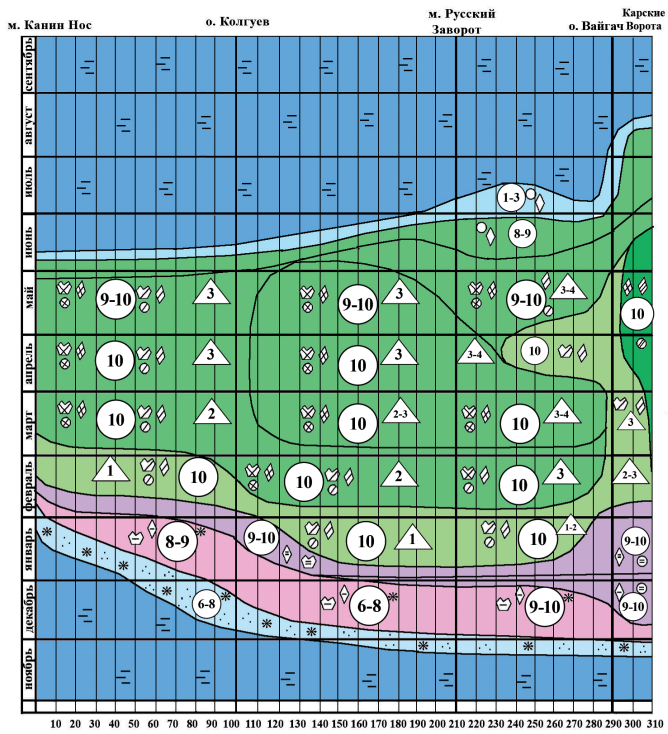
В середине июля зоны редкого и разреженного льда могут встречаться на западных подходах к проливу Карские Ворота после суровых зим, их общая протяженность от 30 до 120 миль. В середине августа отдельные пятна редкого льда могут встречаться на западных подходах к проливу Карские Ворота только после отдельных экстремально суровых зим.


м. Канин Нос
о. Колгуев
м. Русский Заворот
о. Вайгач
Карские Ворота
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310
морские мили
ноябрь
декабрь
январь
февраль
март
апрель
май
июнь
июль
август
сентябрь

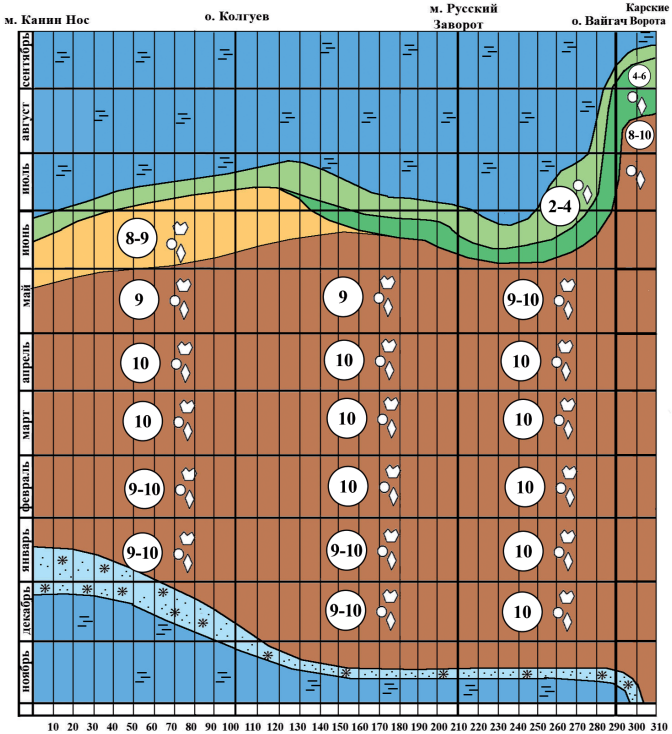
2.60б


м. Канин Нос
о. Колгуев
м. Русский Заворот
о. Вайгач
Карские Ворота
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310
морские мили
ноябрь
декабрь
январь
февраль
март
апрель
май
июнь
июль
август
сентябрь

2.60а



2.60в



2.60г

Рис. 2.60. Графики типичных ледовых условий в мягкую зиму (а), в умеренную зиму (б), в суровую зиму (в) и в самую суровую зиму (г) на трассе м. Канин Нос – Карские Ворота:
на графиках а–в – раскраска по возрастным характеристикам льда; г – раскраска по сплоченности льда.

Таблица 2.17

Протяженность ледовых зон на трассе м. Канин Нос – пролив Карские Ворота (мили)

Характеристика зоны	Месяцы											
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Мягкая зима												
Чистая вода	290	290	290	270	120	80	40	220	290	290	290	290
Нилас и начальные виды льда	–	–	–	20	110	20	–	–	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	–	–	–	60	20	50	–	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	–	–	–	–	170	180	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	–	–	–	20	50	–	–	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–	–	20	–	–	–	–
Ледовая зона	**0**	**0**	**0**	**20**	**170**	**210**	**250**	**70**	**0**	**0**	**0**	**0**
Умеренная зима												
Чистая вода	290	290	220	20	0	0	0	170	290	290	290	290
Нилас и начальные виды льда	–	–	70	110	20	–	–	–	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	–	–	20	50	50	55	–	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	–		90	70	70	70		–	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	50	80	90	85	30	–	–	–	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	–	70	80	80	60	–	–	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–	–	30	–	–	–	–
Ледовая зона	**0**	**0**	**70**	**270**	**290**	**290**	**290**	**120**	**0**	**0**	**0**	**0**
Суровая зима												
Чистая вода	290	290	70	20	0	0	0	0	110	260	290	290
Нилас и начальные виды льда	–	–	40	30	–	–	–	–	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	–	180	70	–	–	–	–	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	–	–	30	10	–	–	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	–	–	30	30	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	140	100	30	30	20	–	–	–	–
Однолетний лед средней толщины и тонкий однолетний лед	–	–	–	–	180	230	230	270	140	–	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–	–	–	40	30	–	–
Ледовая зона	**0**	**0**	**220**	**270**	**290**	**290**	**290**	**290**	**180**	**30**	**0**	**0**

Характеристика зоны	Месяцы											
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Самая суровая зима												
Чистая вода	–	150	60	0	0	0	0	0	0	170	260	290
Нилас и начальные виды льда	–	140	230	30	–	–	–	–	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	–	230	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	–	–	10	10	–	–	–	–	–	–	
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	30	10	–	–	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	220	60	–	–	–	–		–	–
Однолетний лед средней толщины и тонкий однолетний лед	–	–	–	–	210	290	290	290	230	20	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–	–	–	60	100	30	–
Ледовая зона	**–**	**140**	**230**	**290**	**290**	**290**	**290**	**290**	**290**	**120**	**30**	**0**

Морские транспортные перевозки в Баренцевом море тесно связаны с освоением месторождений углеводородов российского сектора Арктики, которое активизировалось в последнее двадцатилетие XX века. В эти годы были открыты такие крупные газовые месторождения, как Мурманское и Северо-Кильдинское, крупное газоконденсатное Ледовое месторождение и уникальные по запасам газоконденсатные месторождения – Штокмановское и Лудловское, а также месторождения Печорского моря – газоконденсатное – Поморское, нефтегазоконденсатное – Северо-Гуляевское, нефтяные – Приразломное и Медынское месторождения.

Кроме того, необходимо отметить, что на побережье юго-восточной части Баренцева моря в пределах Ненецкого автономного округа располагается северная часть Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, наиболее крупными месторождениями углеводородов которой являются месторождения Харьягинской группы, месторождения Варандейской группы (Тобойско-Мядсейское, Торавейское, Западно-Леккейягинское, Северо-Сарембойское, Варандейское) и месторождения Хыльчуюской группы. На рис. 2.61 показано расположение основных месторождений российского сектора Баренцева моря.

В [57] приведено следующее количественное распределение суммарных ресурсов углеводородов по морям Российской Арктики: Центральная часть Баренцева моря – 29 %, юго-восточная часть Баренцева моря (Тимано-Печорская провинция) – 6 %, Карское море – 51 %, море Лаптевых – 4 %,

Восточно-Сибирское море – 6 %, Чукотское море – 4 %. Таким образом, мы видим, что по перспективности добычи углеводородов Баренцево море позиционируется на втором месте после Карского.

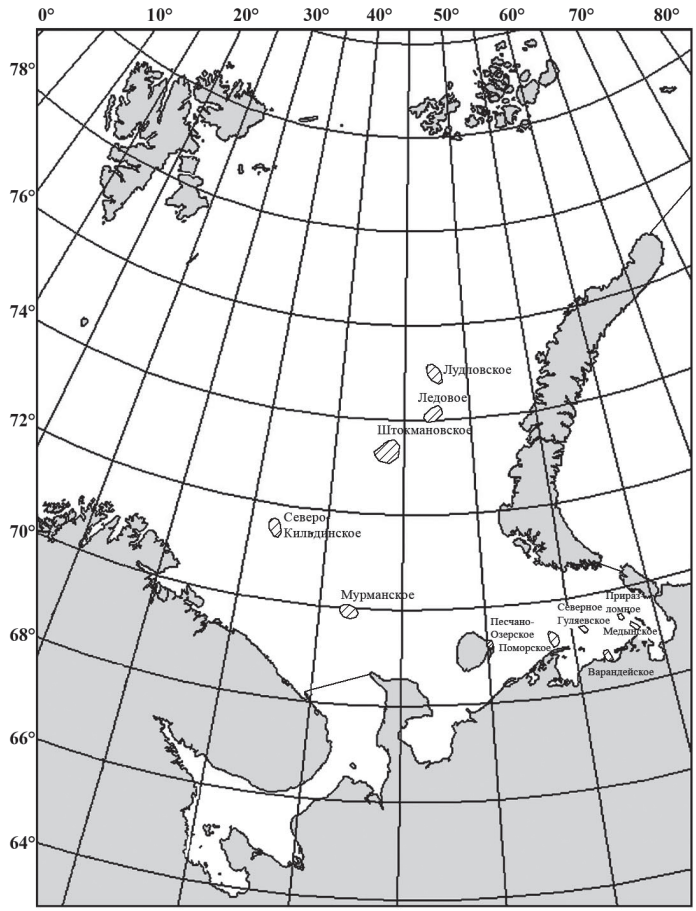


Рис. 2.61. Расположение крупных месторождений углеводородов в Баренцевом море.

Для буровых платформ очень опасны ледяные образования в виде торосов и стамух, располагающиеся в непосредственной близости от платформ и трубопроводов.

Стамухи. На юго-востоке Баренцева моря, так же как и в Карском море, стамухи образуются в зоне глубин до 20 м. Положение соответствующей изобаты можно видеть на рис. 2.59, и теоретически в ее пределах в любом районе возможно образование стамух.

На рис. 2.62 показаны районы образования стамух на юго-востоке Баренцева моря (по наблюдениям в 1964–1999 гг.) в соответствии с [66].

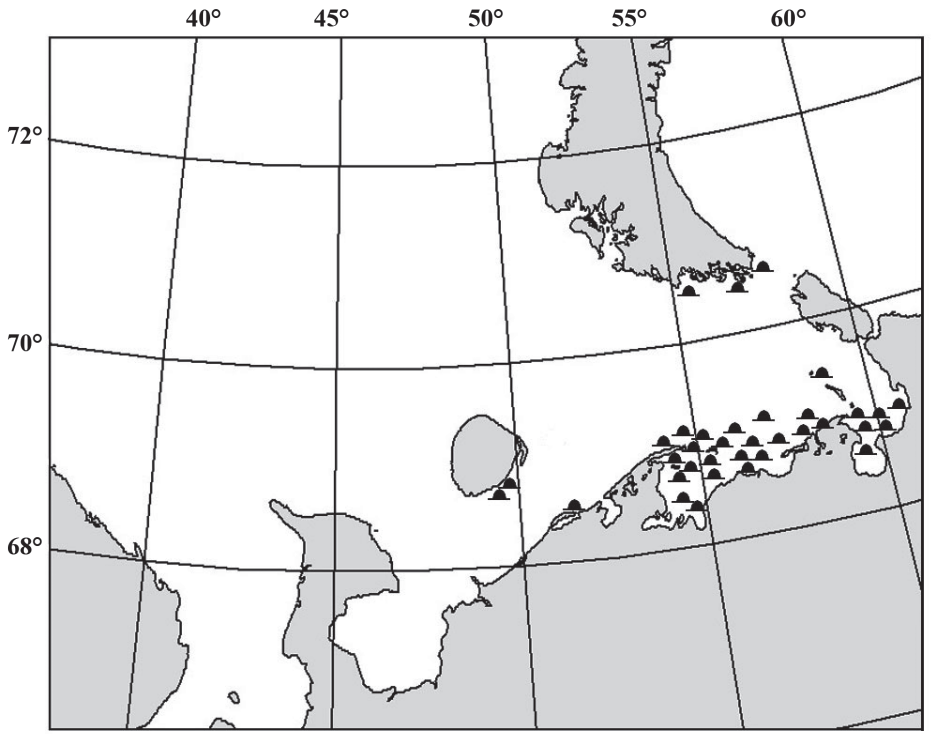


Рис. 2.62. Районы образования стамух на юго-востоке Баренцева моря.

Сопоставление рис. 2.61 и 2.62 свидетельствует о том, что стамухи представляют наибольшую опасность для морских подходов к Приразломному, Медынскому, Поморскому, Варандейскому месторождениям.

Большое количество стамух образуется в Печорской, Паханческой и Хайпудырской губах, а также в прилегающих к ним районах моря. Иногда стамухи встречаются у южной оконечности Новой Земли, а также на мелководье к югу от о. Колгуев. Максимальная осадка (18 м) отмечена у стамухи, наблюдавшейся у побережья о. Сенгейский. Группы стамух на банках (мелях) образуются обычно в период формирования припая. В период разрушения припая застамушенные ледяные образования сохраняются какое-то время в мелководных районах.

Максимальные наблюденные значения геометрии стамух в юго-восточной части Баренцева моря следующие: высота паруса – 14,7 м (самая высокая стамуха зафиксирована в 2001 г.), глубина киля – 18 м, ширина стамухи – 550 м, длина стамухи – 1200 м. Средняя высота стамух составляет 8–9 м, что на 1 м меньше характерных размеров стамух Карского моря. Средняя глубина киля – 10 м, средняя ширина стамух – 109 м, средняя длина – 335 м. В 90 % случаев высота стамух не превышает 12 м.

Особо важной характеристикой для гидротехнических сооружений (прежде всего трубопроводов) имеет такая характеристика, как глубина

внедрения стамухи в грунт, а также характеристики борозд пропахивания дна. Средняя глубина внедрения баренцевоморской стамухи составляет 1 м (максимальная – 1,5 м). Несколько меньшей (относительно глубины заглубления стамухи в стационарном состоянии) должна быть глубина борозды бывшей стамухи, дрейфующей после весеннего разрушения припая. Данные летней гидролокационной съемки, осуществленной на юго-востоке Баренцева моря, зафиксировали, например, наличие полосы пропахивания длиной 1364 м и глубиной до 50 см.

Торосы, исследованные в юго-восточной части Баренцева моря, достаточно мощные, однако значительно менее мощные, чем торосы Карского моря. Средняя высота их парусов составляет 2,4 м (в Карском море – 3,2 м), а средняя глубина килей – 7,7 м (в Карском море – 11,5 м). Максимальная высота паруса составила 6,7 м, максимальная глубина киля – 13,6 м.

Средняя длина гряды торосов (длина паруса) составляет 46 м (минимальная – 7 м, максимальная – 200 м). Средняя ширина гряды торосов составляет 19 м (минимальная – 1,6 м, максимальная – 70 м). Наиболее часто (более 30 % случаев) наблюдаются торосы высотой от 1,5 до 2 м [66].

Айсберги образуются из выводных ледников Шпицбергена, Земли Франца-Иосифа, Новой Земли. Наибольшим запасом льда обладает о. Шпицберген. Запасы льда на Земле Франца Иосифа в три раза меньше, чем на Шпицбергене. Ледники могут продуцировать айсберги длиной до 2 км и вертикальным размером до 200 м. Поскольку большая часть айсберга находится под водой, его движение в основном определяется морскими течениями. Повторяемость появления айсбергов в Баренцевом море в районе 78° с.ш., по данным [15], составляет 50 %, в районе 76° с.ш. – 25 %, в районе 74° с.ш. – 10 %, на широтах от 70° до 72° с.ш. – 1 %. (Данные получены из архива ААНИИ за период с 1928 г. по 1991 г., в котором для каждого года определено число дней наблюдений, а также количество обнаруженных в эти дни айсбергов.)

Наибольший айсберговый сток наблюдается в июле-августе. В мелководных прибрежных районах айсберги могут сесть на мель и постепенно разрушаться на месте. Исследования, выполненные специалистами ААНИИ, показали, что самая распространенная в Баренцевом море форма айсбергов – обломки и куски, высота надводной части которых составляет в среднем 5 м, а подводная часть заглублена примерно на 20 м.

Значительную опасность представляют айсберги для платформ в районах месторождений Ледовое, Лудловское и Штокмановское. Так, в мае 2003 г. вблизи кромки льда в районе Штокмановского месторождения и подходов к нему была встречена группа из 41 айсберга. Крайне редко айсберги достигают широты о. Колгуев. Так, в июле 1929 г. один айсберг был обнаружен западнее северной части о. Колгуев. Южнее 70° с.ш. наблюдали присутствие айсбергов также в мае 2003 г. (севернее о. Колгуев) и в июне 1913 г. (южнее о. Колгуев в Поморском проливе). Аномальные случаи распространения айсбергов в южные районы Баренцева моря, когда айсберги были зафиксированы между 71° и 72° с.ш., относятся к 1933, 1942, 1963, 1971, 1982, 1989 гг. [66].

2.8. Ледовые условия в портах Баренцева моря

Мурманск

Географические координаты порта: 68°59′ с. ш., 33°03′ в.д.

Порт Мурманск расположен на Кольском п-ове на побережье Баренцева моря и является крупнейшим в мире портом, расположенным за Северным полярным кругом. Мурманск – самый северный из незамерзающих портов России. Глубины на подходных фарватерах, протяженность которых составляет 40 км, большие, что обеспечивает доступность порта для любых судов. На акватории, прилегающей к Мурманску, расположены причалы морского торгового порта, пассажирского района, рыбного порта, нефтебазы, судоремонтных заводов, различных городских организаций и воинских частей.

Торговый порт разделен на три перегрузочных комплекса. Первый из них специализируется на перевалке апатитового концентрата и минеральных удобрений. Второй комплекс специализируется на перевалке навалочных грузов (руда, глинозем). Кроме того, на его причалах осуществляется перегрузка контейнеров, генеральных грузов на Дудинку, Шпицберген и другие арктические порты. На третьем комплексе производится перевалка навалочных и генеральных грузов. Всего в торговом порту эксплуатируется 16 грузовых и 5 вспомогательных причалов с глубинами от 7 до 12 м. Их общая протяженность составляет более 3 км. К большинству из них подведены железнодорожные пути.

Пассажирский район включает два пассажирских причала длиной по 148 м. Глубины у причалов – до 7,8 м. В рыбном порту имеется около 50 причалов небольшой длины с глубинами от 6,0 до 8,5 м общей протяженностью около 4 км. В состав нефтебазы входит один причал длиной 336 м, на котором перерабатываются почти все виды жидкого топлива.

Порт Мурманск, как правило, не замерзает в зимний период. Лишь в отдельные суровые зимы Кольский залив в районе порта покрывается льдом. В этих случаях проводка судов осуществляется портовыми буксирами и ледоколами.

В первой декаде февраля 2011 г. побережье и некоторые губы Кольского залива покрылись льдом из-за сильных февральских морозов (средняя температура февраля в Мурманске составила –17 °С). В южной части Кольского залива наблюдался серый лед. При этом фарватер залива до середины февраля был открыт для свободного движения судов. К концу второй декады февраля залив полностью замерз. Толщина льда в районе Рыбного порта достигала 15–20 см. Увеличилось время постановки судов к причалу, скорость судоходства по заливу уменьшилась. Для крупных судов такая ледовая обстановка не представляет опасности, однако лед у причалов создавал проблемы для небольших рыболовецких и маломерных судов.

Замерзание Кольского залива происходит редко (в среднем раз в 25 лет) и на короткий период времени. Такое явление наблюдалось, например, в зимы 1935/1936, 1965/1966, 1997/1998, 1998/1999 годов. В суровую зиму 1965/1966 гг. максимальная толщина льда в Кольском заливе достигала 40 см.

Варандей

Географические координаты порта: 68°48′ с.ш., 57°59′ в.д.

Варандейский нефтеотгрузочный терминал (ВНОТ) расположен на побережье Баренцева моря в Ненецком автономном округе, предназначен для экспорта морским путем нефти, добываемой в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. ВНОТ состоит из берегового резервуарного парка и стационарного морского ледостойкого отгрузочного причала (СМЛОП), установленного на расстоянии 22 км от берега. С берега к СМЛОП подведены две нитки подводного трубопровода, по которым нефть поступает с береговых резервуаров. Глубина (до 17 м) достаточна для того, чтобы к СМЛОП могли подходить крупные танкеры и загружаться нефтью. Для работы в зимний период привлекаются ледоколы.

Первое появление льда в районе Варандея происходит в среднем 24 октября. Самое раннее появление льда отмечено 3 октября 1986 г., а самое позднее – 20 ноября 1944 года. Устойчивое ледообразование начинается в среднем 29 октября. В районе пролива Варандейский Шар, как правило, в ноябре устанавливается припай. Наибольшей за зиму толщины лед достигает в апреле (в среднем 105–115 см). Максимальная толщина льда, наблюдавшаяся в районе Варандея, – 158 см.

Разрушение льда начинается в первой половине мая с появления проталин. Средняя дата первого взлома – 31 мая, окончательный взлом припая происходит в районе пролива Варандейский Шар в среднем 19 июня. Окончательное очищение происходит в среднем 30 июня при экстремальных сроках: раннее очищение – 24 мая 1943 г. после мягкой зимы, позднее очищение – 31 июля 1946 г. после суровой зимы.

Продолжительность ледового периода на акватории порта от первого появления льда до окончательного очищения в среднем составляет 246 дней, изменяясь от 208 дней (1942/1943 гг.) до 288 дней (1977/1978 гг.).

За последнее 30-летие сроки ледообразования в районе Варандея сдвинулись на 2–4 дня в сторону более поздних дат, по сравнению со средними многолетними данными. Срок разрушения припая сдвинулся на 5 дней в сторону более ранних дат, а срок полного очищения акватории порта ото льда – на 6 дней в сторону более ранних дат. Средняя продолжительность ледового сезона составила 241 день, сократившись, по сравнению со средней многолетней продолжительностью, на 5 дней.

Глава 3

ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ В БЕЛОМ МОРЕ

3.1. Общие сведения о гидрометеорологическом режиме Белого моря

Белое море расположено к юго-востоку от Кольского п-ова и соединено с Баренцевым морем, а через него с бассейном Северного Ледовитого океана. Его площадь составляет около 90,7 тыс. км^2, преобладают глубины 50–100 м, максимальная глубина моря – 340 м, средняя глубина – 60 м. В Белое море впадают реки Северная Двина, Мезень, Онега и др. Центральная часть моря представляет собой замкнутый ковшеобразный бассейн, изолированный от Баренцева моря мелководным порогом, препятствующим обмену придонных вод [34, 68].

Белое море принято разделять на северную (внешнюю) и южную (внутреннюю) части, которые соединяются между собой проливом, называемым Горлом. Северная часть состоит из Воронки и Мезенского залива, южная – из Бассейна и трех заливов: Кандалакшского, Онежского, Двинского (рис. 3.1).

Воронка. Самая крупная часть Белого моря. Площадь – 24,7 тыс. км^2, объем – 855 км^3 воды, средняя глубина – 34 м. Наибольшая глубина (140 м) наблюдается в узком желобе на западе Воронки моря, который заходит из Баренцева моря и служит фарватером для судов, входящих в Белое море. На востоке – обширное мелководье, прогрев и остывание которого происходит достаточно быстро.

Мезенский залив. Площадь – 5,6 тыс. км^2, объем – 75 км^3, средняя глубина не превышает 13 м. В южной части, как и на востоке Воронки, имеются меняющие свои очертания песчаные кошки. На стыке Конушинского и Абрамовского берегов в море впадает река Мезень. Ее воды выносят в море огромное количество взвеси. Приливы и отливы ощущаются на расстоянии более 60 км вверх по реке.

Горло. Берега почти лишены губ и мысов. Площадь – 10,2 тыс. км^2, объем – 380 км^3, средняя глубина – 37 м. Горло пересекается условной линией Северного полярного круга (66°33'44´´).

Двинской залив. Площадь – 9,6 тыс. км^2, объем – 420 км^3, средняя глубина – 49 м. Дно залива ровное, плавно опускается по направлению к центру и в сторону открытого моря. В Двинской залив впадает Северная Двина – крупнейшая из впадающих в Белое море рек. Ее дельта образует множество островов. Через Двинской залив проходит более 80 % объема беломорского речного стока.

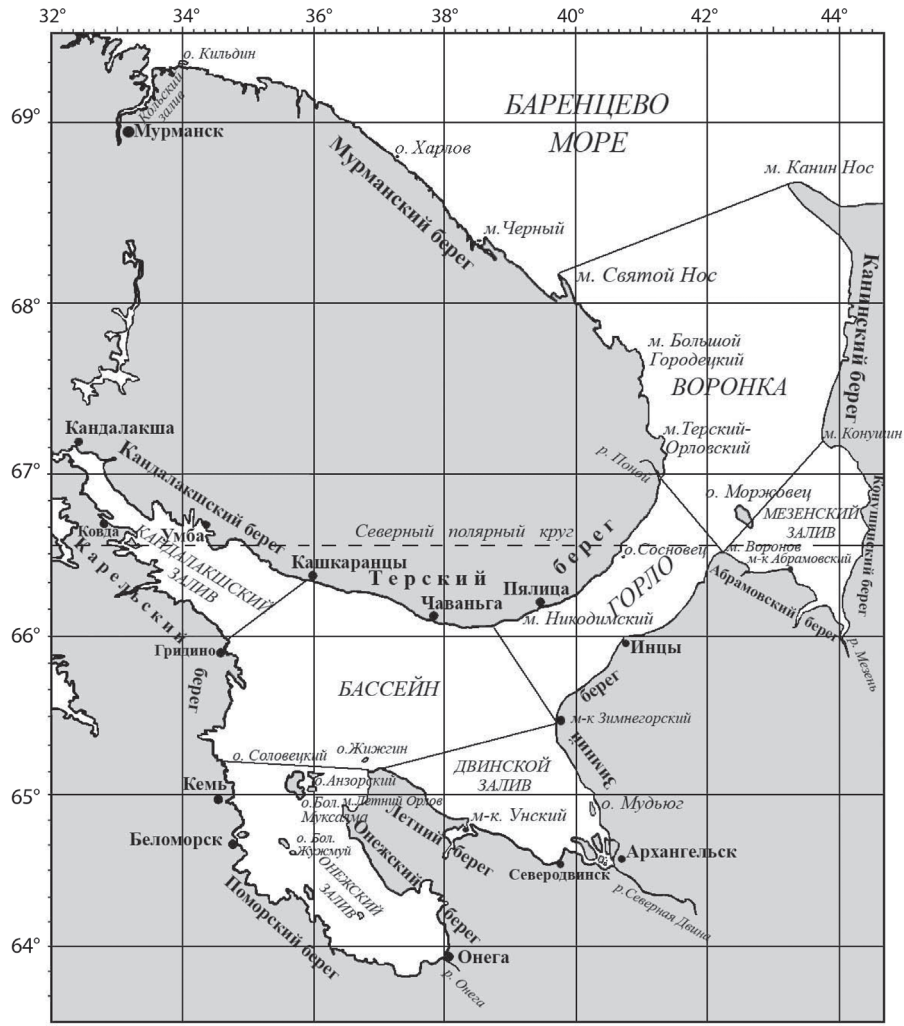


Рис. 3.1. Районирование Белого моря.

Онежский залив. Самый большой по площади залив – 12,3 тыс. км^2, по объему – 235 км^3 – почти вдвое уступает Двинскому заливу. Средняя глубина – меньше 20 м. Береговая линия расчленена многочисленными губами. Это шхерный ландшафт, характерный для всех западных частей моря.

Кандалакшский залив. Площадь – 6,5 тыс. км^2, объем – 710 км^3, средняя глубина залива превышает 100 м, в его пределах лежит самая глубоководная беломорская впадина – 340 м. Этот залив по площади в два раза меньше Онежского, а по объему в три раза больше него. Профиль дна делит Кандалакшский залив на две части: внешнюю, соединяющуюся с Бассейном, и

внутреннюю. Внешняя часть, единая с бассейном, формирует Центральный (Кандалакшский) желоб. Внутренняя часть – относительно мелководная с глубинами, редко превышающими 50 м.

Бассейн. Морские границы этой части моря – линии, отсекающие Горло, Двинской, Онежский и Кандалакшский заливы. Бассейн обрамлен двумя берегами: на севере – Терским, на западе – Карельским. Это один из самых больших районов Белого моря. По площади он несколько уступает Воронке (21,8 тыс. км^2), но намного превосходит ее по объему – 2735 км^3, что составляет половину объема моря. Средняя глубина – 125 м.

Ветровой режим. Для Белого моря характерна сезонная смена ветра. С октября по март преобладают южные, юго-западные и западные ветры (осенне-зимний муссон), повторяемость которых составляет 50–70 %. С мая по август преобладают северные, северо-восточные и восточные ветры (весенне-летний муссон), повторяемость которых 40–70 %.

Формирование ветрового режима над Белым морем происходит под влиянием исландского минимума. В холодное время года глубокая барическая ложбина, определяемая преобладающими траекториями циклонов, простирается от исландского минимума на Баренцево море. Над Белым морем господствует циклонический тип циркуляции, который наблюдается в 77 % дней зимнего сезона. Наименьшая повторяемость циклонической деятельности отмечена весной и летом (64–68 %).

В зимний сезон наиболее редкими бывают северо-восточные ветры, хотя они же являются наиболее сильными. Например, в январе в районе Унского Маяка средняя скорость юго-западного ветра составляет 5,8 м/с, а северо-восточного ветра – 8,5 м/с, их повторяемость 32 и 5 % соответственно.

От января к апрелю в Белом море повторяемость ветров северных направлений увеличивается вдвое. Однако средняя месячная скорость ветра весной, по сравнению с зимой, уменьшается. Летом траектории атлантических циклонов опускаются к югу. В западной части Баренцева моря располагается слабо выраженная зона повышенного давления, а север европейской части России находится в зоне пониженного давления. В связи с этим с севера на континент часто поступает арктический воздух. В южной части моря и в заливах средняя скорость ветра северных направлений 5–7 м/с. В северной части моря скорости ветра больше. Так, в Воронке летом преобладают ветры северной четверти, их скорости, по сравнению с другими направлениями, наибольшие и составляют 7–8 м/с.

В сентябре в Белом море повторяемость юго-западных ветров увеличивается, а северных уменьшается, по сравнению с летним сезоном. В ходе внутригодовой изменчивости средней месячной скорости ветра максимум приходится на осень и начало зимы (октябрь–декабрь).

В открытых частях моря в январе число дней с сильным ветром ($\geq$15 м/с) составляет 5–10 дней, в заливах – 2–5 дней. Весной и летом число дней с сильным ветром уменьшается в среднем до 1–3 дней в месяц. Осенью число дней с сильным ветром составляет в среднем 4–8 дней в месяц [26, 34, 64.]

Температура воздуха. Климат в районе Белого моря является переходным от морского к континентальному и характеризуется значительными годовыми колебаниями температуры воздуха. Континентальность климата возрастает с севера на юг и от центра моря к вершинам заливов. Среднегодовая температура колеблется от –1 °С в северной части моря до 1 °С в южной части.

Отрицательные температуры могут наблюдаться с сентября до конца мая в южной части моря и до середины июня – в северной. Самый холодный зимний месяц – февраль, средняя температура которого составляет –10...–8 °С в южной части моря. В Горле и восточной части Воронки средняя температура составляет –12...–10 °С. Наиболее высокая средняя месячная температура наблюдается на северо-западе Воронки над теплыми баренцевоморскими водами (–9...–8 °С). Абсолютный минимум температуры воздуха за период наблюдений по данным различных станций равен –48°...–42 °С.

Осень в Белом море длится два месяца (сентябрь-октябрь). Этот период характеризуется пасмурной, с продолжительными осадками, погодой. При этом увеличивается повторяемость штормов. Среднемесячная температура воздуха над морем в октябре остается еще положительной, но в конце месяца наблюдаются дни с морозом и снегом. Переход температуры воздуха через 0 °С к отрицательным значениям осенью обычно происходит в третьей декаде октября, весенний переход температуры воздуха через 0° С к положительным значениям наблюдается в середине апреля.

В ноябре-декабре, когда происходит интенсивная отдача морем тепла в атмосферу, температура воздуха над центральной и северной частями моря может быть на несколько градусов выше, чем в южных прибрежных районах.

На большей части акватории средняя месячная температура воздуха в январе ниже, чем в марте, только на севере Воронки наблюдается обратная ситуация. Наиболее интенсивный рост температуры происходит от марта к апрелю: на 4...5 °С – на севере и на 6...7 °С – у побережья. Самым теплым месяцем в южной половине моря является июль (12...15 °С), а в северной – август (9...10 °С). Понижение температуры воздуха в открытом море начинается в сентябре, у побережья – в августе. Периоды с отрицательными температурами зимой длятся в северной части моря в среднем 180–190 дней, в южной части моря – 170–160 дней [34].

Близость Арктики определяет вторжение на акваторию моря холодных воздушных масс, что является причиной суровых зим и тяжелых ледовых условий в отдельные годы.

Температура воды. Водные массы Белого моря формируются в результате смешивания баренцевоморских и материковых вод. Для Белого моря характерно наличие двух типов вертикального распределения температуры и солености: однородного и стратифицированного [34, 42]. Однородный («горловский») тип характерен для Воронки, Горла, Мезенского и Онежского заливов, стратифицированный («бассейновый») – для Бассейна, Двинского и восточной части Кандалакшского заливов. На юге Горла располагается термический фронт, отделяющий перемешанные воды от стратифицированных вод.

Горло Белого моря занято водной массой, отличающейся постоянством характеристик по глубине, что является следствием интенсивного перемешивания в этом районе в результате действия реверсивного приливного течения. В Бассейне, где существует двухслойная структура, зона постоянной отрицательной температуры наблюдается в центральном глубоком желобе. В теплое время года отрицательные температуры прослеживаются уже с глубины 50 м, на глубинах от 150 м и до дна температура воды составляет –1,4 °С. Течение из Баренцева моря в Белое (вдоль Терского берега) является источником холодных вод в центральном глубоком желобе. Обновление вод происходит зимой, так как летом воды Горла сильно прогреваются от поверхности до дна.

Баренцевоморские воды занимают западную часть Воронки. Зимой они хорошо перемешаны и имеют температуру около 2 °С. (при значениях солености около 34 ‰). Воды восточной части Воронки образуются в результате смешивания вод Горла, Баренцева моря и Мезенского залива. Эта водная масса выхолаживается зимой до –1,7 °С. Поступление вод Мезенского залива обусловливает ее пониженную соленость, которая составляет 31–32 ‰. Часть баренцевоморских вод движется на юг вдоль Терского берега, перемешиваясь в Горле с водой, поступающей на север из Двинского залива (вдоль Зимнего берега). Температура воды в Горле зимой составляет –1,4...–1,0 °С. Стратификация водной массы практически отсутствует.

Температура поверхностных вод зимой в Бассейне составляет –1,1...–0,9 °С, в Онежском и Двинском заливах –0,7...–0,5 °С. Температура воды в придонном слое Бассейна и восточной части Кандалакшского залива составляет в среднем –1,5...–1,2 °С.

В конце весны температура воды на поверхности моря повышается до 2 °С в Воронке и Горле, до 4 °С – в центральной части Бассейна, до 6 °С – в Онежском и Кандалакшском заливах, до 8 °С – в Двинском заливе. Летом поверхностные воды Бассейна и заливов прогреваются в среднем до 12...16 °С, Горла и Воронки – до 7...10 °С [26, 34].

Соленость воды в различных районах Белого моря отличается большим разнообразием. В целом соленость вод Белого моря меньше, чем соленость баренцевоморских вод, что обусловлено большим материковым стоком. Поступающие в Бассейн воды Баренцева моря имеют соленость 34–34,5 ‰. В Мезенском заливе соленость поверхностных вод составляет в среднем 25–29 ‰.

В Горле в результате интенсивного перемешивания баренцевоморских вод с вытекающими из Бассейна и Двинского залива опресненными водами соленость падает в среднем до 29–30,5 ‰ в зимний период и до 26–28 ‰ – в летний период. В Бассейне и восточной части Кандалакшского залива соленость поверхностных вод составляет 26–27 ‰, придонных вод – 30–30,5 ‰.

Соленость воды в заливах имеет наибольшую внутригодовую изменчивость, поскольку наиболее зависит от речного стока. Соленость воды в Онежском заливе, а также в западной части Кандалакшского залива составляет в среднем весной 22–24 ‰, в остальные сезоны – 25–26 ‰. В центральной части Двинского залива соленость весной составляет 18–22 ‰, в остальные

сезоны – 24–26 ‰. В вершине Двинского залива возможно падение солености весной до 3–5 ‰ [26, 34].

Течения. Квазипостоянные течения (средние многолетние течения) слагаются из нескольких составляющих: термохалинных течений (вызванных горизонтальной неоднородностью плотности воды); градиентных течений (обусловленных наклоном среднего уровня из-за стока рек и водообмена с Баренцевым морем); дрейфовых течений (определяемых средним полем ветра); остаточных приливных течений (формирующихся в результате искажений приливной волны при ее взаимодействии с рельефом дна и очертаниями берегов). На рис. 3.2 показаны основные течения Белого моря.

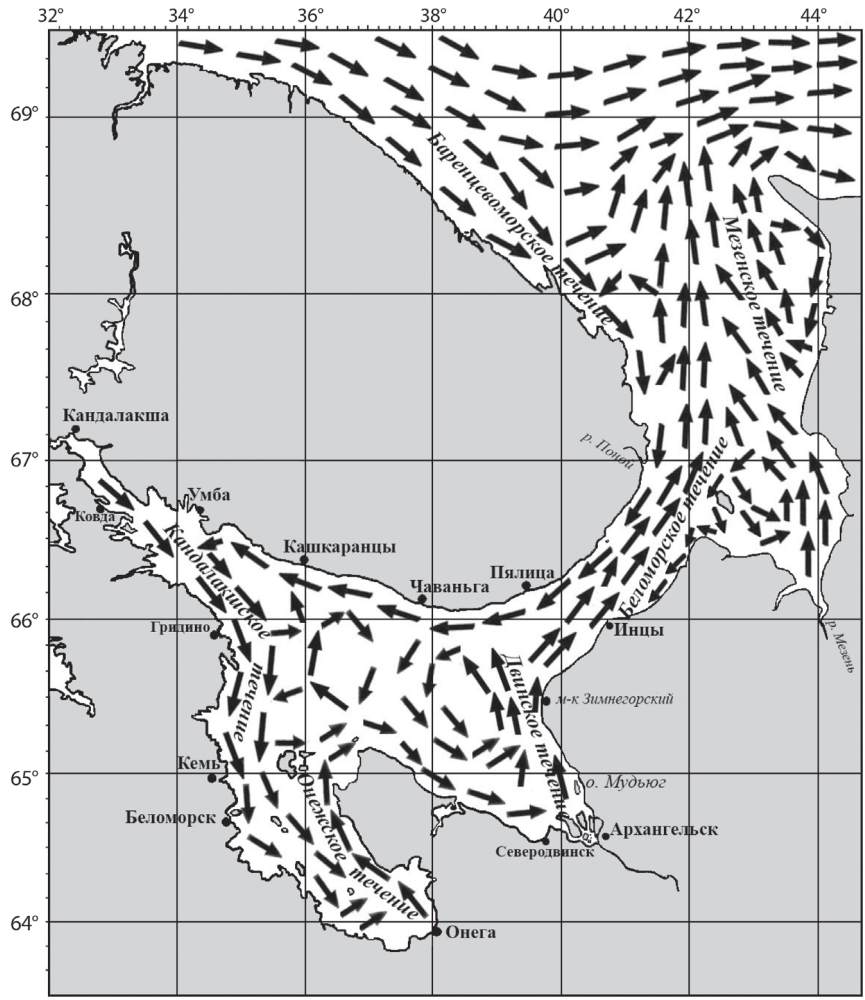


Рис. 3.2. Течения Белого моря.

В Белом море, по данным К.М. Дерюгина [42], В.А. Леднева [65], В.В. Тимонова [90], выделяются:

– Двинское течение (идет вдоль Зимнего берега в Горло), его скорость достигает 10–15 см/с;

– Беломорское течение (идет от м. Зимнегорский вдоль Зимнего берега до м. Инцы, далее к о. Сосновец, потом – на север в Баренцево море), скорость – до 30 см/с;

– Онежское течение (идет через Восточную Соловецкую салму вдоль Летнего в Двинской залив), скорость – до 20 см/с;

– Кандалакшское течение (идет из Кандалакшского залива в Онежский вдоль Карельского и Поморского берегов), скорость – до 10 см/с;

– Мезенское течение (выходит из Мезенского залива, идет вдоль Конушинского берега и в некотором отдалении от Канинского берега в Воронку), скорость – до 50 см/с;

– Баренцевоморское течение (прослеживается в северо-западной части Воронки, идет вдоль Терского берега из Баренцева моря в Белое), скорость – до 10 см/с.

Главной причиной, порождающей эти течения, является материковый сток в заливы моря. Материковый сток пресных вод в море в среднем за год составляет 4,5 % от общего объема воды в море. При этом сток речных вод сосредоточен почти полностью в заливах и Бассейне. Годовой сток всех рек составляет 215 км^3 воды. Более половины (150 км^3) приходится на Северную Двину. Резко выраженный годовой ход речного стока обусловливает сезонные изменения поверхностной циркуляции вод моря. В целом для моря максимальный сток пресных вод (а также максимальный уровень воды в устье Северной Двины) приходится на май, минимальный – на февраль-март [10, 82, 87, 88].

В Воронке, Горле, Мезенском и Онежском заливах вклад приливных течений в общую картину циркуляции вод Белого моря превышает вклад непериодических течений, а их скорости могут быть больше 180 см/с. В Бассейне, Кандалакшском и Двинском заливах приливные течения меньше непериодических, а их скорости не более 30 см/с.

Ветровые течения являются реакцией вод моря на касательное напряжение поля ветра. При наиболее часто наблюдающихся над Белым морем ветрах западной и юго-западной четвертей скорость дрейфовых течений достигает наибольших значений (14–16 см/с) в Двинском заливе, а также у Конушинского берега Воронки [34].

Уровень моря. Приливы вызывают значительные колебания уровня моря. Расчлененность побережья, изрезанность береговой черты и особенности рельефа дна вызывают различие в скорости и направлении приливной волны в различных частях моря. Величина прилива растет по направлению к вершинам заливов. Приливная волна, проходя из Баренцева моря через Воронку и Горло, сопровождается мощными приливными течениями. Величины приливов в Белом море обусловливают необходимость их учета при мореплавании, так как на навигационных картах показывают глубины без учета приливной

волны. Наибольшая величина прилива возможна: в Мезенском заливе – более 7 м, в Воронке – 6 м, в северной части Горла – 5 м, в южной части Горла – 2 м, в Двинском заливе – 1 м, Кандалакшском заливе – 2 м, в Онежском заливе – 3 м, в западной части Бассейна – 2 м, в восточной части Бассейна – 1,5 м.

Средние величины сгонно-нагонных изменений уровня в Белом море меньше величин приливов. Так, для вершины Двинского залива это 35 см при ветровом сгоне и 76 см – при нагоне; для вершины Онежского залива – 43 и 88 см; для вершины Кандалакшского залива – 27 и 46 см соответственно. Максимальные величины сгонно-нагонных изменений для вершины Двинского залива –101 см при ветровом сгоне и 196 см – при нагоне; для вершины Онежского залива – 118 и 214 см; для вершины Кандалакшского залива – 72 и 107 см соответственно. Между приливом и нагоном существует взаимодействие, которое наиболее выражено в Мезенском, Онежском и Двинском заливах. В результате этого взаимодействия нагонная составляющая может увеличиваться на 25–35 % [26, 34].

Волнение. Высоты волн на Белом море сравнительно невелики. Это связано с небольшими размерами моря. В течение всего года здесь преобладают волны высотой менее 2 м. Волны высотой 3–6 м имеют повторяемость 10 %. Кандалакшский залив является наименее штормовым районом моря. Наиболее сильное волнение здесь наблюдается при восточных ветрах. Крайне редко здесь могут возникать волны высотой более 8 м. Наиболее штормовым районом моря является Воронка моря. Через ее открытую границу в Белое море приходят волны из Баренцева моря. Крайне редко (не чаще одного раза в 50 лет) могут возникать волны высотой более 13 м. Наиболее высокие волны образуются при северо-западных ветрах [26].

3.2. Факторы, обусловливающие состояние ледяного покрова Белого моря

Белое море, с одной стороны, сильно подвержено влиянию Арктики, а с другой – влиянию североатлантических атмосферных процессов. Ледовые условия моря сильно меняются от года к году и от месяца к месяцу в зависимости от суровости зимы.

Близость Белого моря с Баренцевым морем, питаемым теплым течением, приводит к смягчению климатических условий зимой над Белым морем, а также к осолонению воды в Белом море, особенно его северной части. Баренцевоморское течение доставляет Белому морю около 26 % всего получаемого им за год тепла [34].

Ледообразование в Белом море начинается с вершин заливов и мелководных прибрежных участков. Неравномерность покрытия моря льдом и большая разница в сроках ледообразования в различных районах моря определяется рядом факторов: разницей глубин, термохалинной стратификацией,

локальным опреснением в зонах устьев рек, влиянием приливов. Небольшие глубины в Онежском, Двинском и Мезенском заливах, а также в Горле моря, по сравнению с глубинами в Бассейне моря, определяют перемешивание по всему слою воды в этих районах, которое доходит до дна. Интенсивное перемешивание воды осенью и поступление пресной речной воды – это те процессы, которые обусловливают наиболее раннее (по сравнению с другими районами моря) начало ледообразования в заливах моря.

Ветры, работающие на акватории Белого моря, образуют заприпайные полыньи. В табл. 3.1 приведена повторяемость и средняя ширина заприпайных полыней в январе–апреле (по материалам авиационных ледовых разведок за период с 1950 по 1989 г.).

Таблица 3.1

Повторяемость P (%) и средняя ширина L (км) заприпайных полыней в Белом море в январе–апреле

Район моря	Месяцы							
	I		II		III		IV	
	P	L	P	L	P	L	P	L
Двинской залив (Летний берег)	75	18	75	13	50	9	85	27
Двинской залив (Зимний берег)	25	9	25	18	15	9	15	9
Онежский залив (Онежский берег)	10	9	15	13	25	9	20	36
Онежский залив (Поморский берег)	70	18	65	18	40	27	80	45
Бассейн (западное побережье)	80	18	50	18	60	22	60	45
Бассейн (Терский берег)	50	70	20	11	25	15	35	13
Кандалакшский залив (к востоку)	60	30	50	18	40	22	60	22
Горло моря (Летний берег)	40	15	50	14	30	27	30	18
Горло моря (Терский берег)	30	18	30	9	10	9	35	13
Мезенский залив (Конушинский берег)	5	9	25	14	25	22	40	9
Воронка моря (Канинский берег)	20	9	20	14	25	18	25	36

Преобладание в зимний период западных – юго-западных ветров приводит к формированию зон разрежения и заприпайных полыней, располагающихся преимущественно вдоль Летнего берега Двинского залива, Поморского берега Онежского залива, западного побережья Бассейна моря, восточной кромки припая Кандалакшского залива. Обширная зона чистой воды и начальных видов льда у Терского берега Бассейна моря, наблюдающаяся в январе с повторяемостью 50 % (ее средняя ширина в соответствии с табл. 3.1 составляет 70 км), – результат запаздывания ледообразования в наиболее глубокой части моря. Этот факт подтверждают рис. 3.6–3.7.

3.3. Типизация зим по степени суровости в Белом море

Для Белого моря по 100-летнему периоду наблюдений в XX веке (с зимнего сезона 1900/1901 гг. по сезон 1999/2000 гг.) рассчитаны интервалы критериев суровости зим по суммам градусодней мороза (в °С) для ГМС Архангельск:

– мягкая зима <1140;
– умеренная зима 1140–1710;
– суровая зима >1710.

В табл. 3.2. представлены результаты типизации зим по суровости в Архангельске за 179-летний период.

Таблица 3.2

Типизация зим в Архангельске (М – мягкая зима, У – умеренная зима, С – суровая зима)

Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы
1833/34	У	1858/59	У	1883/84	У	1908/09	У
1834/35	У	1859/60	У	1884/85	У	1909/10	М
1835/36	С	1860/61	С	1885/86	С	1910/11	У
1836/37	У	1861/62	С	1886/87	М	1911/12	У
1837/38	С	1862/63	У	1887/88	С	1912/13	У
1838/39	У	1863/64	У	1888/89	С	1913/14	У
1839/40	С	1864/65	С	1889/90	У	1914/15	У
1840/41	С	1865/66	У	1890/91	У	1915/16	У
1841/42	У	1866/67	С	1891/92	С	1916/17	С
1842/43	У	1867/68	С	1892/93	С	1917/18	У
1843/44	У	1868/69	У	1893/94	У	1918/19	У
1844/45	С	1869/70	У	1894/95	С	1919/20	У
1845/46	У	1870/71	С	1895/96	У	1920/21	М
1846/47	С	1871/72	У	1896/97	У	1921/22	У
1847/48	М	1872/73	С	1897/98	У	1922/23	У
1848/49	У	1873/74	У	1898/99	С	1923/24	У
1849/50	С	1874/75	С	1899/00	У	1924/25	М
1850/51	У	1875/76	С	1900/01	У	1925/26	У
1851/52	У	1876/77	С	1901/02	С	1926/27	У
1852/53	У	1877/78	М	1902/03	У	1927/28	У
1853/54	У	1878/79	У	1903/04	У	1928/29	С
1854/55	У	1879/80	С	1904/05	У	1929/30	М
1855/56	С	1880/81	С	1905/06	У	1930/31	У
1856/57	С	1881/82	У	1906/07	У	1931/32	У
1857/58	У	1882/83	С	1907/08	С	1932/33	У

Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы
1933/34	У	1953/54	М	1973/74	У	1993/94	У
1934/35	М	1954/55	У	1974/75	М	1994/95	М
1935/36	У	1955/56	С	1975/76	У	1995/96	У
1936/37	М	1956/57	У	1976/77	У	1996/97	У
1937/38	У	1957/58	У	1977/78	У	1997/98	С
1938/39	У	1958/59	У	1978/79	С	1998/99	С
1939/40	С	1959/60	У	1979/80	У	1999/00	У
1940/41	С	1960/61	М	1980/81	У	2000/01	У
1941/42	С	1961/62	У	1981/82	У	2001/02	У
1942/43	У	1962/63	У	1982/83	М	2002/03	У
1943/44	М	1963/64	У	1983/84	У	2003/04	М
1944/45	У	1964/65	У	1984/85	С	2004/05	У
1945/46	У	1965/66	С	1985/86	У	2005/06	У
1946/47	У	1966/67	У	1986/87	С	2006/07	М
1947/48	У	1967/68	С	1987/88	У	2007/08	М
1948/49	М	1968/69	С	1988/89	У	2008/09	М
1949/50	У	1969/70	У	1989/90	М	2009/10	У
1950/51	У	1970/71	У	1990/91	У	2010/11	С
1951/52	М	1971/72	У	1991/92	М	2011/12	М
1952/53	У	1972/73	У	1992/93	У		

Средняя за столетний период сумма градусодней мороза (СГДМ) составила 1425 °С, за 179-летний период наблюдений (с зимнего сезона 1833/1834 гг. по сезон 2011/2012 гг.) – 1495° С. Максимальная СГДМ за 179-летний период наблюдений – 2325 °С (зимний сезон 1876/1877 гг.), минимальная – 751 °С (зимний сезон 1936/1937 гг.).

За последние 100 лет (включающие 60-летний период, для которого имеются наблюдения за площадным распределением характеристик дрейфующего льда) самым холодным был зимний сезон 1965/1966 гг., когда СГДМ составила, по данным Архангельска, 2283 °С, по данным Кандалакши – 2412 °С. Ледовые характеристики, приведенные для самой суровой зимы в табл. 3.3–3.14, соответствуют этому сезону.

На рис. 3.3–3.5 представлена ледовая обстановка в Белом море, наблюдавшаяся в середине декабря 1974, 1981 и 1968 гг. в Белом море. Раскраска на рис. 3.3–3.17 – по зимней шкале – по преобладающей возрастной характеристике дрейфующего льда [76].

В табл. 3.3 и 3.4 приведена информация о преобладающих характеристиках ледовой обстановки на трассах Белого моря в декабре.

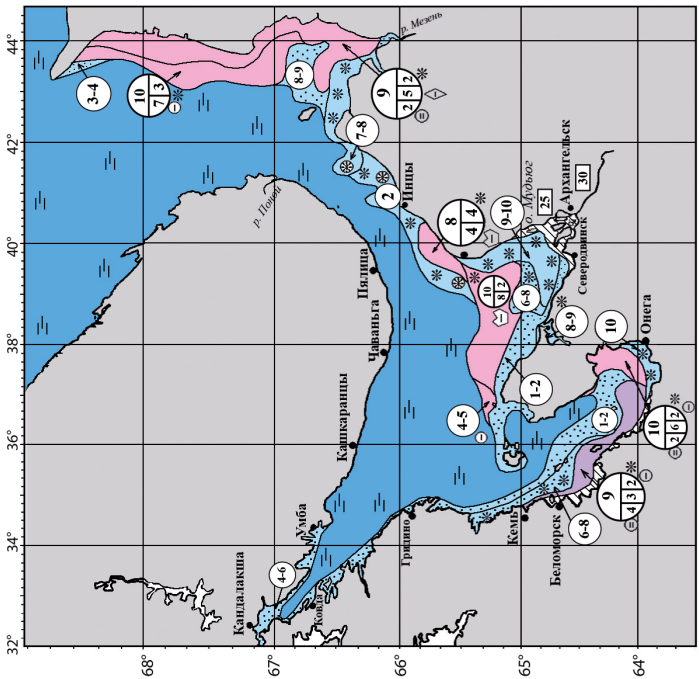


Рис. 3.4. Ледовая обстановка в Белом море в декабре 1981 года. Умеренная зима.

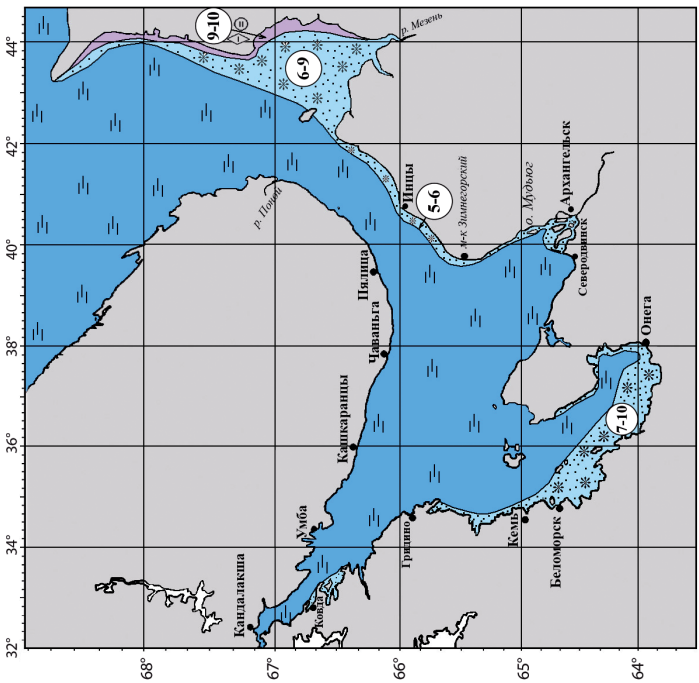


Рис. 3.3. Ледовая обстановка в Белом море в декабре 1974 года. Мягкая зима.

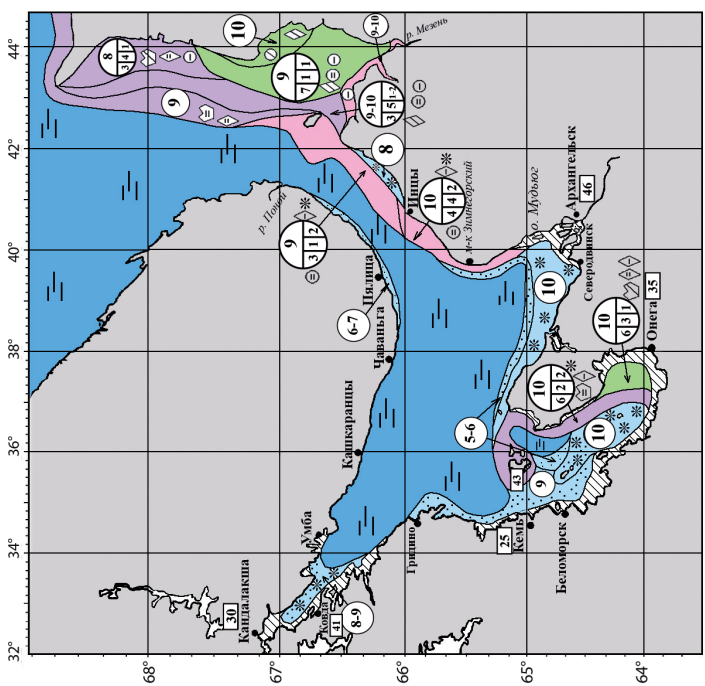


Рис. 3.5. Ледовая обстановка в Белом море в декабре 1968 года. Суровая зима.

Таблица 3.3

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Архангельск – Воронка Белого моря в декабре

Участок трассы	Двинской залив	м. Зимнегорский – о. Сосновец	о. Сосновец – устье р. Поной	Воронка моря
Мягкая зима				
Толщина припая, см	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	5–6	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	начальные виды	чисто	чисто	чисто
Умеренная зима				
Толщина припая, см	20–30 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый, нилас	чисто	чисто	чисто
Суровая зима				
Толщина припая, см	35–45 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый, нилас	чисто	чисто	чисто
Самая суровая зима				
Толщина припая, см	35–45 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый, нилас	чисто	чисто	чисто

Таблица 3.4

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Кандалакша – Воронка Белого моря в декабре

Участок трассы	Кандалакшский залив	Чаваньга – о. Сосновец	о. Сосновец – устье р. Поной	Воронка моря
Мягкая зима				
Толщина припая, см	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	чисто	чисто
Умеренная зима				
Толщина припая, см	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	5–6	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	начальные виды	чисто	чисто	чисто
Суровая зима				
Толщина припая, см	15–25 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	8–10	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	нилас	чисто	чисто	чисто
Самая суровая зима				
Толщина припая, см	30–40 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый, нилас	чисто	чисто	чисто

В табл. 3.5–3.12 – информация о характеристиках ледовой обстановки на трассах в январе–апреле. На рис. 3.6–3.17 – ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине января–апреля 1975, 1982 и 1969 гг. в Белом море.

Таблица 3.5

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Архангельск – Воронка Белого моря в январе

Участок трассы	Двинской залив	м. Зимнегорский – о. Сосновец	о. Сосновец – устье р. Поной	Воронка моря
Мягкая зима				
Толщина припая, см	20–30 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	0	6–8	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	нилас	чисто	нилас	чисто
Умеренная зима				
Толщина припая, см	40–50 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	9–10	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый	серо-белый	серо-белый, серый	чисто
Суровая зима				
Толщина припая, см	45–55 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	10	10	9–10 (до м. Городецкий)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый, серый	тонкий однолетний (до 45 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 45 см)	серо-белый, серый
Самая суровая зима				
Толщина припая, см	55–65 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	10	10	9–10 (до м. Городецкий)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый	тонкий однолетний (до 55 см)	тонкий однолетний (до 55 см)	серо-белый

Таблица 3.6

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Кандалакша – Воронка Белого моря в январе

Участок трассы	Кандалакшский залив	Чаваньга – о. Сосновец	о. Сосновец – устье р. Поной	Воронка моря
Мягкая зима				
Толщина припая, см	20–30 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	7–10	0	6–8	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый, нилас	чисто	нилас	чисто
Умеренная зима				
Толщина припая, см	40–50 (западная часть)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	10	9–10	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый, нилас	серо-белый	серо-белый, серый	чисто
Суровая зима				
Толщина припая, см	45–55 (западная часть)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	9–10 (до м. Городецкий)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый	тонкий однолетний (до 45 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 45 см)	серо-белый, серый
Самая суровая зима				
Толщина припая, см	55–65 (западная часть)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	9–10 (до м. Городецкий)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый	тонкий однолетний (до 55 см)	тонкий однолетний (до 55 см)	серо-белый

Таблица 3.7

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Архангельск – Воронка Белого моря в феврале

Участок трассы	Двинской залив	м. Зимнегорский – о. Сосновец	о. Сосновец – устье р. Поной	Воронка моря
Мягкая зима				
Толщина припая, см	40–50 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	9–10	9–10	7–8 (до м. Терский–Орловский)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый, серый	серо-белый, серый	серо-белый, серый	серый, нилас
Умеренная зима				
Толщина припая, см	50–60 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	9–10	9–10 (до м. Терский–Орловский)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 40 см)	серо-белый	тонкий однолетний (до 50 см), серо-белый	серо-белый, серый
Суровая зима				
Толщина припая, см	65–80 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	9–10 (весь участок трассы)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый	тонкий однолетний (до 60 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 60 см)	тонкий однолетний (до 60 см), серо-белый
Самая суровая зима				
Толщина припая, см	70–80 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10 (весь участок трассы)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 70 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см), серо-белый

Таблица 3.8

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Кандалакша – Воронка Белого моря в феврале

Участок трассы	Кандалакшский залив	Чаваньга – о. Сосновец	о. Сосновец – устье р. Поной	Воронка моря
Мягкая зима				
Толщина припая, см	40–50 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	7–10	9–10	9–10	7–8 (до м. Терский–Орловский)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый, серый	серый, нилас	серо-белый, серый	серый, нилас
Умеренная зима				
Толщина припая, см	55–65 (западная часть)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	10	9–10	9–10 (до м. Терский–Орловский)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый, нилас	тонкий однолетний (до 50 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 50 см), серо-белый	серо-белый, серый
Суровая зима				
Толщина припая, см	60–70 (3/4 залива)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	9–10 (весь участок трассы)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 60 см)	тонкий однолетний (до 60 см)	тонкий однолетний (до 60 см)	тонкий однолетний (до 60 см), серо-белый
Самая суровая зима				
Толщина припая, см	70–80 (3/4 залива)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10 (весь участок трассы)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)

Таблица 3.9

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Архангельск – Воронка Белого моря в марте

Участок трассы	Двинской залив	м. Зимнегорский – о. Сосновец	о. Сосновец – устье р. Поной	Воронка моря
Мягкая зима				
Толщина припая, см	45–55 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	7–10	9–10	9–10	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 40 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 40 см), серо-белый	серо-белый	чисто
Умеренная зима				
Толщина припая, см	60–70 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	8–10	10	10	9–10 (до м. Городецкий)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 60 см)	тонкий однолетний (до 60 см)	тонкий однолетний (до 60 см)	тонкий однолетний (до 60 см)
Суровая зима				
Толщина припая, см	70–85 (юго-восточная часть)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	9–10 (весь участок трассы)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	однолетний средней толщины (до 80 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 80 см), тонкий однолетний
Самая суровая зима				
Толщина припая, см	80–95 (юго-восточная часть)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	10	10	10 (весь участок трассы)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 70 см)	однолетний средней толщины (до 85 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 90 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 90 см), тонкий однолетний

Таблица 3.10

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Кандалакша – Воронка Белого моря в марте

Участок трассы	Кандалакшский залив	Чаваньга – о. Сосновец	о. Сосновец – устье р. Поной	Воронка моря
Мягкая зима				
Толщина припая, см	45–55 (западная часть)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	6–7	8–10	9–10	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	нилас	серо-белый, серый	серо-белый	чисто
Умеренная зима				
Толщина припая, см	65–75 (западная часть)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	10	10	9–10 (до м. Городецкий)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 60 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 60 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 60 см)	тонкий однолетний (до 60 см)
Суровая зима				
Толщина припая, см	75–85 (весь залив)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	10	10	9–10 (весь участок трассы)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	тонкий однолетний (до 70 см)	однолетний средней толщины (до 80 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 80 см), тонкий однолетний
Самая суровая зима				
Толщина припая, см	85–95 (весь залив)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	10	10	10 (весь участок трассы)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	тонкий однолетний (до 70 см)	однолетний средней толщины (до 90 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 90 см), тонкий однолетний

Таблица 3.11

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Архангельск – Воронка Белого моря в апреле

Участок трассы	Двинской залив	м. Зимнегорский – о. Сосновец	о. Сосновец – устье р. Поной	Воронка моря
Мягкая зима				
Толщина припая, см	35–45 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	2–4	7–8	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 40 см)	тонкий однолетний (до 40 см)	чисто	чисто
Умеренная зима				
Толщина припая, см	55–65 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	8–10	8–10	9–10	7–8 (до м. Городецкий)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 60 см), нилас	тонкий однолетний (до 60 см)	тонкий однолетний (до 60 см)	тонкий однолетний (до 60 см)
Суровая зима				
Толщина припая, см	80–100 (юго-восточная часть)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	8–10	9–10	8–10 (весь участок трассы)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 70 см)	тонкий однолетний (до 70 см)	однолетний средней толщины (до 85 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 85 см), тонкий однолетний
Самая суровая зима				
Толщина припая, см	90–105 (юго-восточная часть)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	10	9–10	10	9–10 (весь участок трассы)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 70 см)	однолетний средней толщины (до 95 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 95 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 95 см), тонкий однолетний

Таблица 3.12

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Кандалакша – Воронка Белого моря в апреле

Участок трассы	Кандалакшский залив	Чаваньга – о. Сосновец	о. Сосновец – устье р. Поной	Воронка моря
Мягкая зима				
Толщина припая, см	40–50 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	2–4	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый, серый	чисто	чисто	чисто
Умеренная зима				
Толщина припая, см	65–75 (западная часть)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	8–10	9–10	7–8 (до м. Городецкий)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 60 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 60 см)	тонкий однолетний (до 60 см)	тонкий однолетний (до 60 см)
Суровая зима				
Толщина припая, см	80–90 (весь залив)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	8–10	9–10	8–10 (весь участок трассы)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	тонкий однолетний (до 70 см)	однолетний средней толщины (до 85 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 85 см), тонкий однолетний
Самая суровая зима				
Толщина припая, см	90–105 (весь залив)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	10	10	9–10 (весь участок трассы)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	однолетний средней толщины (до 95 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 95 см), тонкий однолетний	однолетний средней толщины (до 95 см), тонкий однолетний

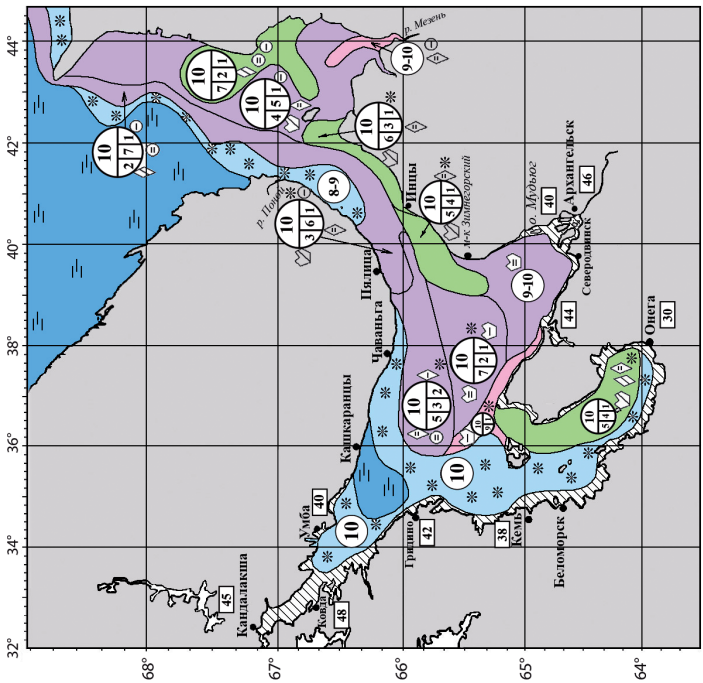


Рис. 3.7. Ледовая обстановка в Белом море в январе 1982 года. Умеренная зима.

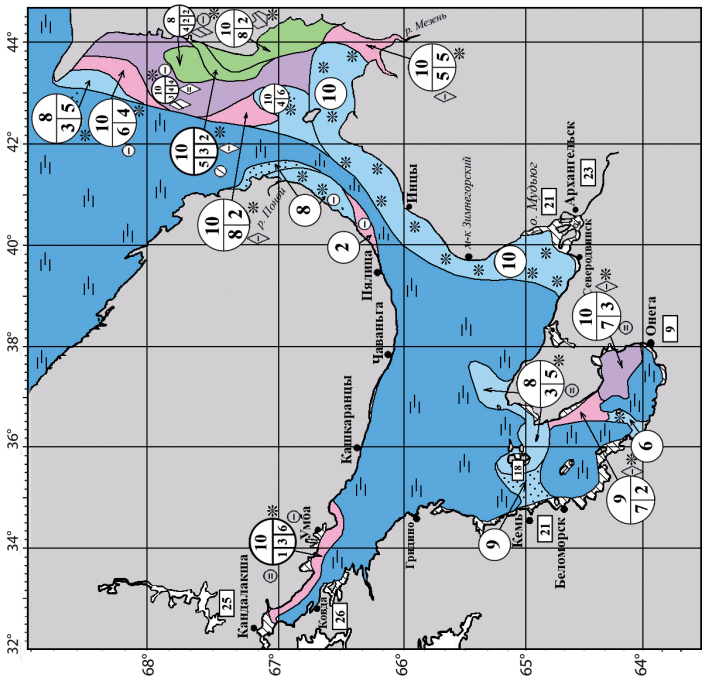
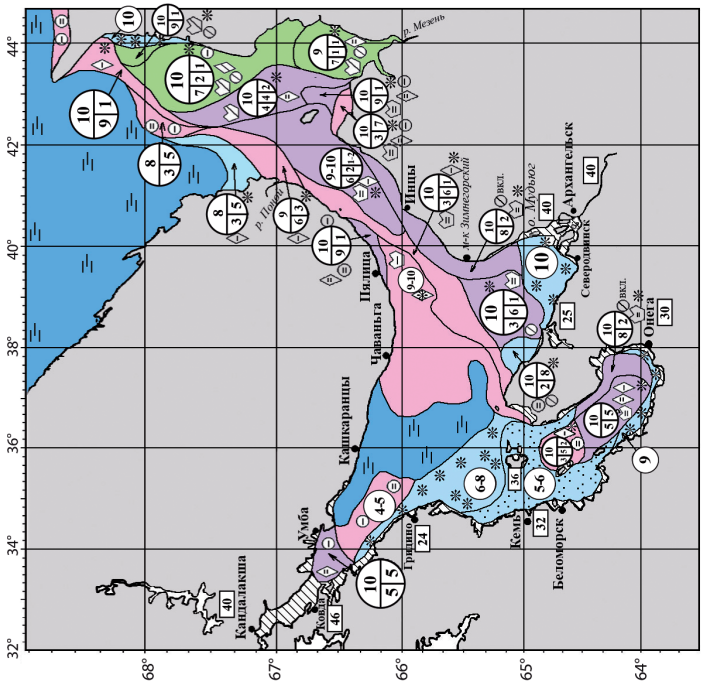


Рис. 3.6. Ледовая обстановка в Белом море в январе 1975 года. Мягкая зима.


Канда лакша
Кузомень
Умба
Кандалакша
Гридино
Кемь
Беломорск
Пялица
Чаваньга
Кашкаранцы
Чижа
Чапома
Онега
Северодвинск
Архангельск
Мудьюг
Зимнегорский
Пинега
Мезень
Пирс
Пирс
Пирс

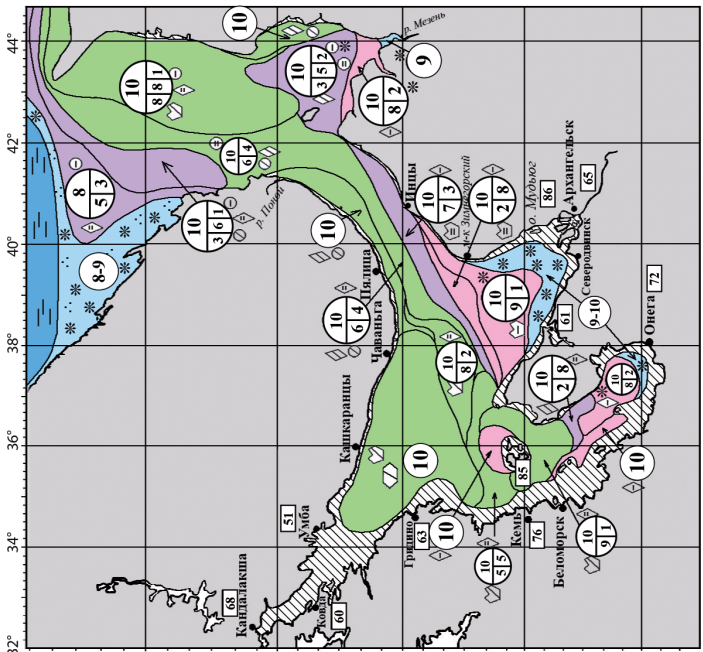


Рис. 3.10. Ледовая обстановка в Белом море в феврале 1982 года. Умеренная зима.

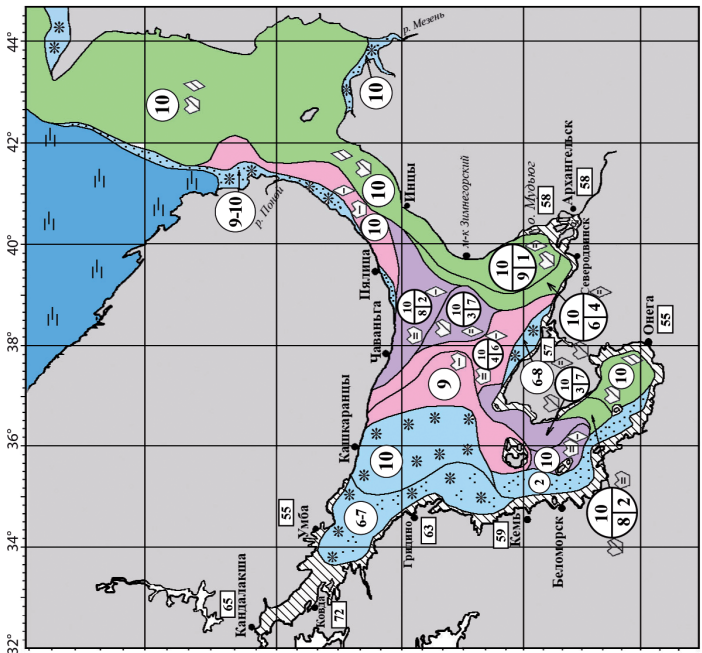


Рис. 3.11. Ледовая обстановка в Белом море в феврале 1969 года. Суровая зима.

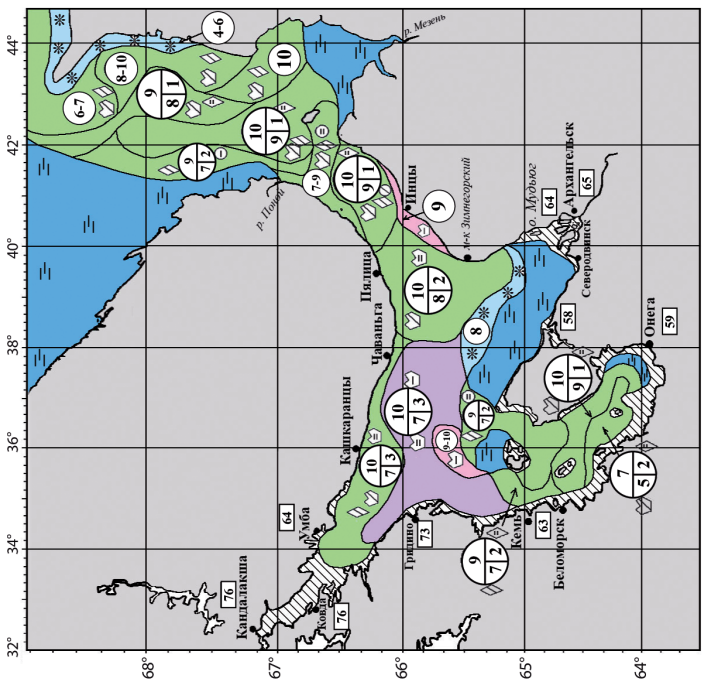


Рис. 3.13. Ледовая обстановка в Белом море в марте 1982 года.
Умеренная зима.

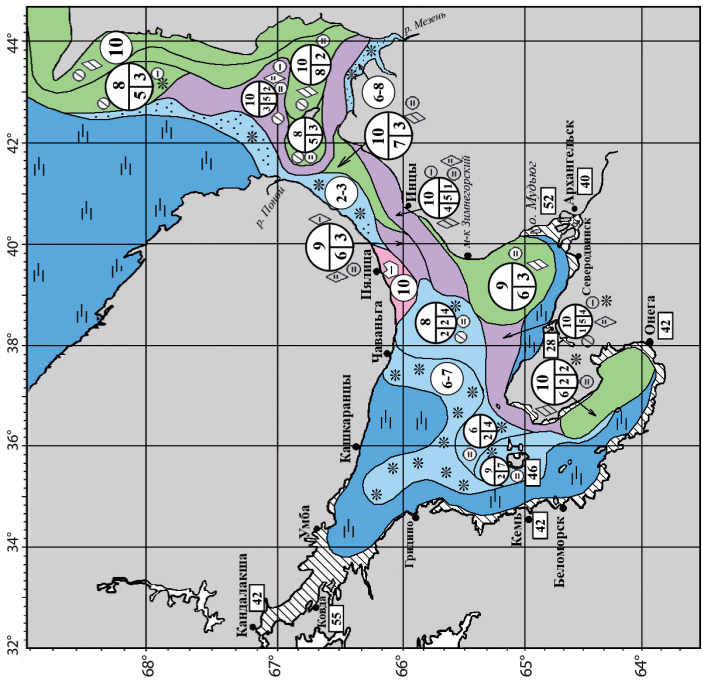


Рис. 3.12. Ледовая обстановка в Белом море в марте 1975 года.
Мягкая зима.

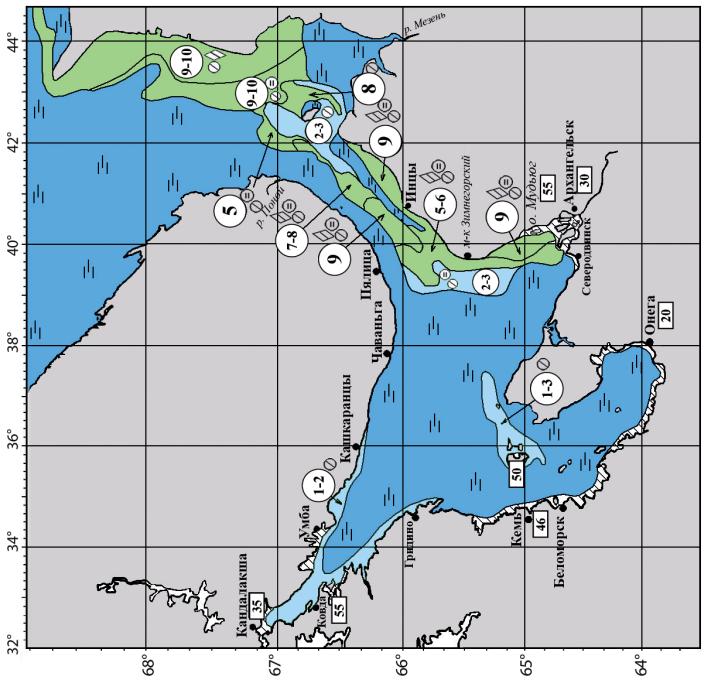


Рис. 3.15. Ледовая обстановка в Белом море в апреле 1975 года. После мягкой зимы.

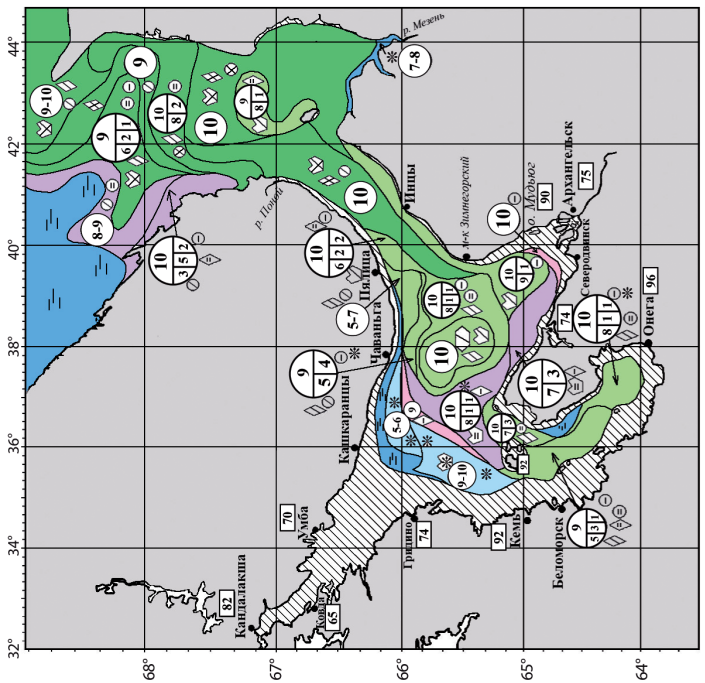


Рис. 3.14. Ледовая обстановка в Белом море в марте 1969 года. Суровая зима.

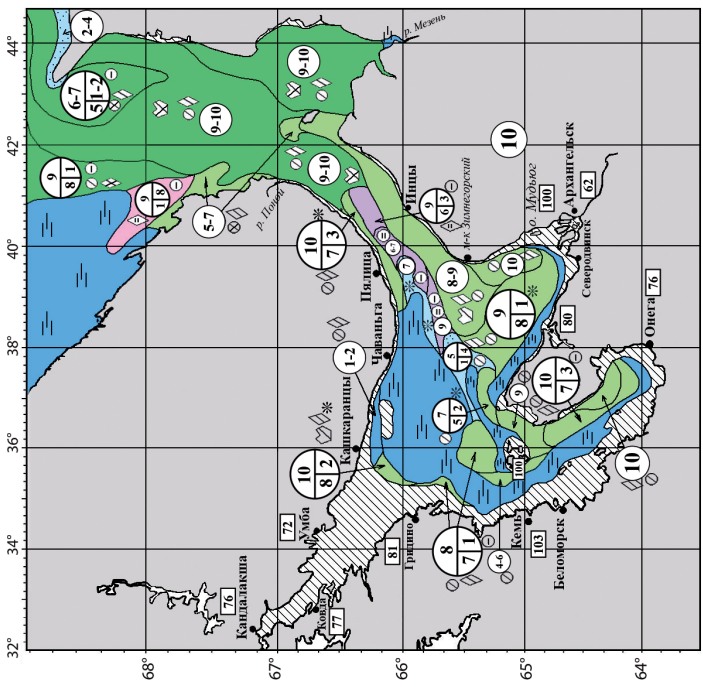


Рис. 3.17. Ледовая обстановка в Белом море в апреле 1969 года. После суровой зимы.

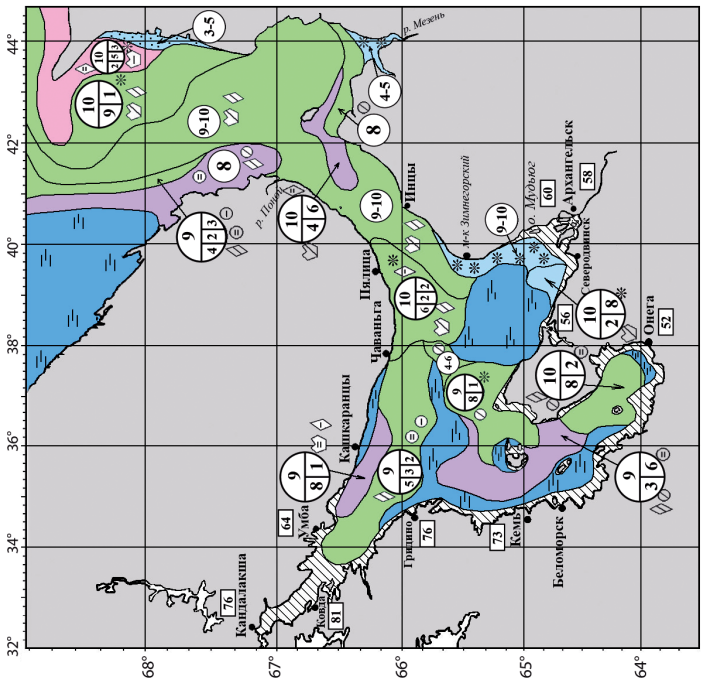


Рис. 3.16. Ледовая обстановка в Белом море в апреле 1982 года. После умеренной зимы.

В табл. 3.13 и 3.14 приведена информация о характеристиках ледовой обстановки на трассах Белого моря в мае. На рис. 3.18–3.21 – ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине мая 1975, 1982, 1969 гг., а также 1966 года после самой суровой за последние 100 лет зимы 1965/1966 годов.

На рис. 3.22 и 3.23 представлена ледовая обстановка в середине июня 1969 г. после типичной суровой зимы и в середине июня 1966 г. после самой суровой зимы. Раскраска на рис. 3.18–3.23 – по летней шкале [76].

Таблица 3.13

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Архангельск – Воронка Белого моря в мае

Участок трассы	Двинской залив	м. Зимнегорский – о. Сосновец	о. Сосновец – устье р. Поной	Воронка моря
Мягкая зима				
Толщина припая, см	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0	0
Толщина дрейфующего льда, см	чисто	чисто	чисто	чисто
Умеренная зима				
Толщина припая, см	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	2–4	4–6	0
Толщина дрейфующего льда, см	чисто	до 40 см	до 40 см	чисто
Суровая зима				
Толщина припая, см	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	6–8	8–10	7–10 (весь участок трассы)
Толщина дрейфующего льда, см	чисто	до 60 см	до 60 см	до 60 см
Самая суровая зима				
Толщина припая, см	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	9–10	9–10	7–10 (весь участок трассы)
Толщина дрейфующего льда, см	чисто	до 80 см	до 80 см	до 80 см

Таблица 3.14

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Кандалакша – Воронка Белого моря в мае

Участок трассы	Кандалакшский залив	Чаваньга – о. Сосновец	о. Сосновец – устье р. Поной	Воронка моря
Мягкая зима				
Толщина припая, см	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0	0
Толщина дрейфующего льда, см	чисто	чисто	чисто	чисто
Умеренная зима				
Толщина припая, см	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	6–7	2–4	4–6	0
Толщина дрейфующего льда, см	до 40 см	до 40 см	до 40 см	чисто
Суровая зима				
Толщина припая, см	60–70 (весь залив)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	6–8	8–10	7–10 (весь участок трассы)
Толщина дрейфующего льда, см	0	до 60 см	до 60 см	до 60 см
Самая суровая зима				
Толщина припая, см	75–85 (весь залив)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	8–10	9–10	7–10 (весь участок трассы)
Толщина дрейфующего льда, см	0	до 80 см	до 80 см	до 80 см

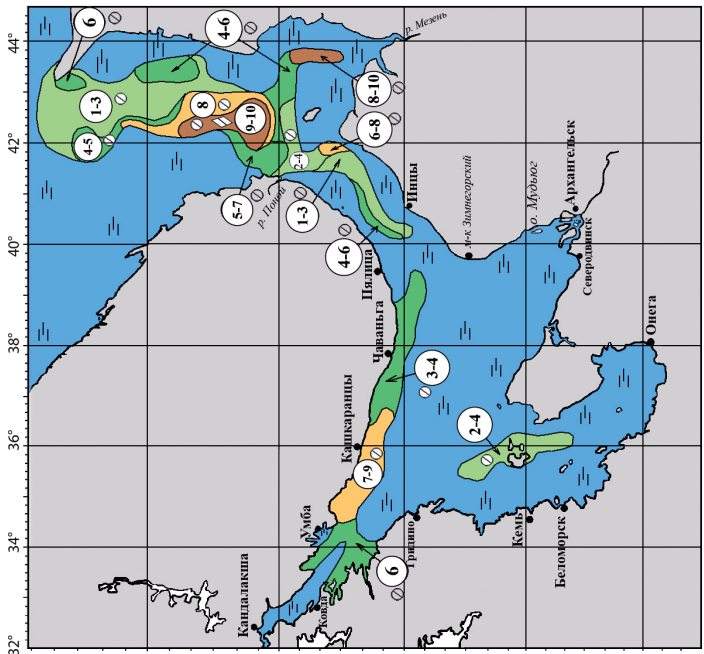


Рис. 3.18. Ледовая обстановка в Белом море в мае 1975 года. После мягкой зимы.

Рис. 3.19. Ледовая обстановка в Белом море в мае 1982 года. Умеренная зима.

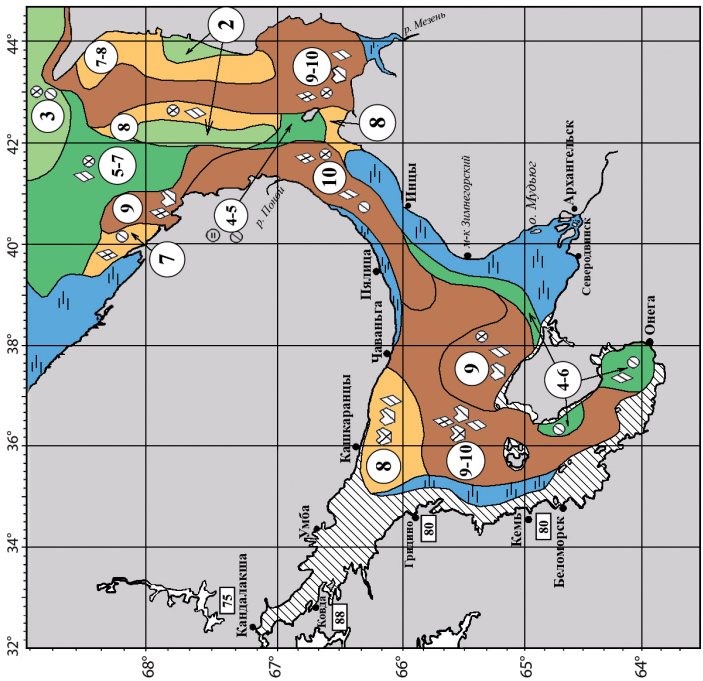


Рис. 3.21. Ледовая обстановка в Белом море в мае 1966 года. После самой суровой зимы.

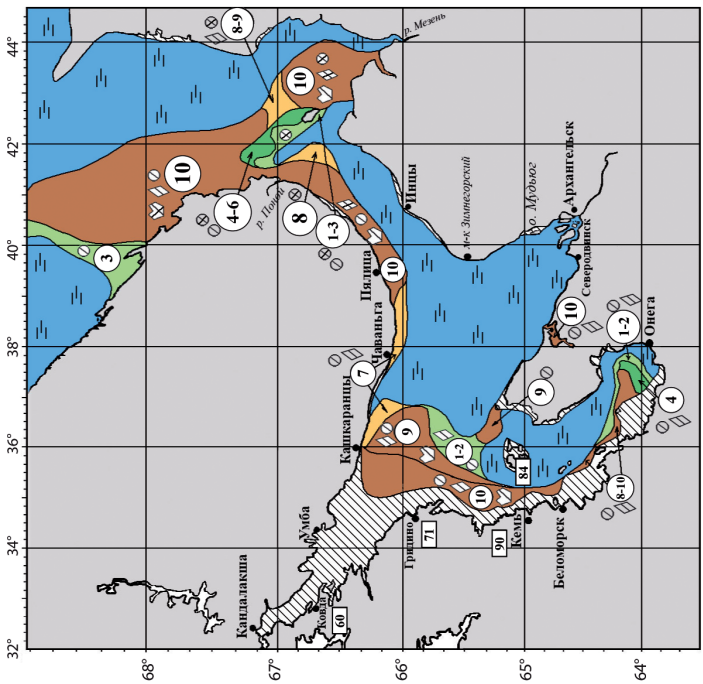


Рис. 3.20. Ледовая обстановка в Белом море в мае 1969 года. После суровой зимы.

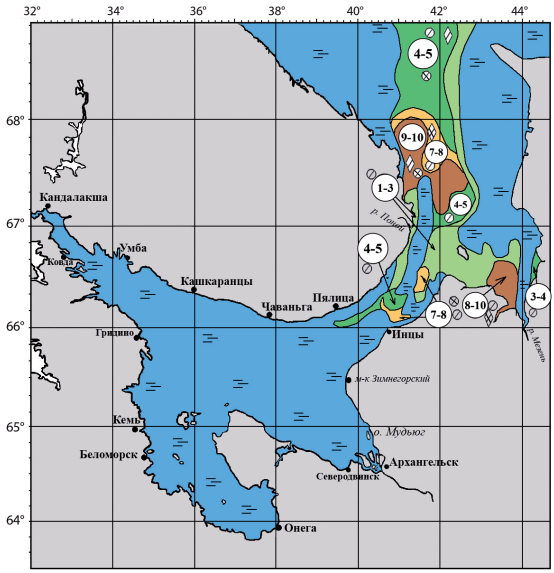


Рис. 3.22. Ледовая обстановка в Белом море в июне 1969 года. После суровой зимы.

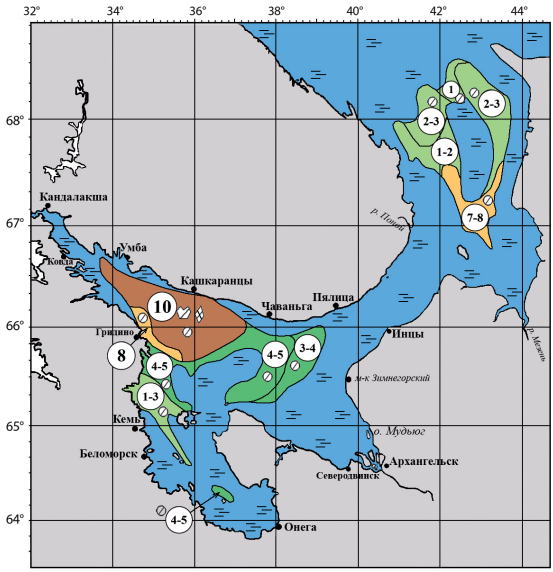


Рис. 3.23. Ледовая обстановка в Белом море в июне 1966 года. После самой суровой зимы.

После мягкой или умеренной зимы в середине июня на акватории Белого моря льда, как правило, нет.

3.4. Ледообразование в Белом море

В табл. 3.15 – даты наступления ледовых фаз по данным ГМС Белого моря. Анализ осуществлен за полный ряд наблюдений (59–131 год) и за последние 30 лет.

Таблица 3.15

Даты наступления основных ледовых фаз в Белом море

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Полное замерзание	Разрушение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
АРХАНГЕЛЬСК (с сезона 1881/1882 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 131 год)						
Средняя	31.10	4.11	17.11	4.05	9.05	189
Ранняя	9.10 (1883)	13.10 (1902)	19.10 (1902)	17.04 (1951)	22.04 (1951)	155 (2005/06)
Поздняя	1.12 (2005)	11.12 (1996)	9.01 (2007)	22.05 (1893)	26.05 (1941)	223 (1883/84)
СКО	11	11	15	8	7	13
АРХАНГЕЛЬСК (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	5.11	10.11	23.11	30.04	6.05	182
Ранняя	17.10 (1984)	20.10 (1982)	29.10 (1992)	22.04 (1995)	24.04 (1983)	155 (2005/06)
Поздняя	1.12 (2005)	11.12 (1996)	9.01 (2007)	11.05 (1998)	17.05 (1998)	210 (1984/85)
СКО	10	13	16	6	6	11
о. МУДЬЮГ (с сезона 1911/1912 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 101 год)						
Средняя	30.10	5.11	3.01	14.05	15.05	197
Ранняя	6.10 (1977)	13.10 (1998)	18.11 (1980)	23.04 (1921)	26.04 (1921)	152 (2005/06)
Поздняя	12.12 (1996)	12.12 (1996)	4.03 (1962)	6.06 (1918)	8.06 (1918)	230 (1977/78)
СКО	13	12	25	8	8	16
о. МУДЬЮГ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	7.11	12.11	3.01	11.05	13.05	187
Ранняя	13.10 (1998)	13.10 (1998)	21.11 (1987)	26.04 (2008)	30.04 (1995)	152 (2005/06)
Поздняя	12.12 (1996)	12.12 (1996)	3.03 (1984)	22.05 (2009)	23.05 (2009)	215 (1998/99)
СКО	15	14	28	7	6	15

Продолжение табл. 3.15

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Полное замерзание	Разрушение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
УНСКИЙ МАЯК (с сезона 1922/1923 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 90 лет)						
Средняя	10.11	25.11	6.01	4.05	14.05	186
Ранняя	13.10 (1979)	28.10 (1952)	28.11 (1974)	10.03 (1943)	15.04 (1943)	145 (1942/43)
Поздняя	12.12 (1996)	7.01 (1995)	7.03 (1993)	2.06 (1941)	17.06 (1941)	224 (1977/78)
СКО	12	17	21	15	14	19
УНСКИЙ МАЯК (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	16.11	29.11	19.01	30.04	8.05	174
Ранняя	21.10 (1982)	6.11 (1988)	6.12 (1993)	1.04 (2007)	16.04 (1995)	146 (2005/06)
Поздняя	12.12 (1996)	7.01 (1995)	7.03 (1993)	27.05 (1997)	30.05 (1997)	204 (1997/98)
СКО	12	18	25	14	11	15
ЗИМНЕГОРСКИЙ (с сезона 1908/1909 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 104 года)						
Средняя	25.11	7.12	н.с.	2.05	12.05	167
Ранняя	24.10 (1912)	24.10 (1912)	н.с.	24.03 (1920)	5.04 (1920)	107 (1936/37)
Поздняя	5.01 (1937)	8.01 (1973)	н.с.	3.06 (1969)	10.06 (1941)	212 (1968/69)
СКО	15	15	н.с.	15	12	21
ЗИМНЕГОРСКИЙ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	27.11	3.12	н.с.	27.04	7.05	161
Ранняя	2.11 (1992)	13.11 (1987, 1992)	н.с.	26.03 (2007)	24.04 (2008)	123 (1982/83)
Поздняя	2.01 (2012)	2.01 (1983, 2012)	н.с.	20.05 (1985)	27.05 (1998)	200 (1997/98)
СКО	15	14	н.с.	14	9	19
ОНЕГА (с сезона 1915/1916 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 97 лет)						
Средняя	2.11	7.11	2.12	2.05	5.05	185
Ранняя	13.10 (1976)	13.10 (1976)	28.10 (1920)	16.04 (1920)	20.04 (1921)	155 (2005/06)
Поздняя	2.12 (2005)	6.01 (1983)	26.01 (2012)	23.05 (1941)	25.05 (1941)	210 (1977/78)
СКО	11	14	17	7	7	13

Продолжение табл. 3.15

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Полное замерзание	Разрушение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
ОНЕГА (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	4.11	12.11	4.12	30.04	3.05	181
Ранняя	15.10 (1992)	15.10 (1992)	11.11 (1993)	22.04 (1989)	23.04 (2007)	155 (2005/06)
Поздняя	2.12 (2005)	6.01 (1983)	26.01 (2012)	11.05 (1997)	15.05 (1997)	204 (1992/93)
СКО	12	17	16	6	5	12
КЕМЬ-ПОРТ (с сезона 1916/1917 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 96 лет)						
Средняя	11.11	18.11	3.01	14.05	18.05	188
Ранняя	18.10 (1968)	18.10 (1968)	16.11 (1928)	13.04 (1943)	23.04 (2007)	118 (2007/08)
Поздняя	3.01 (2008)	3.01 (2008)	17.03 (1957)	6.06 (1969)	23.06 (1966)	247 (1965/66)
СКО	15	15	25	10	13	23
КЕМЬ-ПОРТ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	21.11	25.11	3.01	10.05	13.05	174
Ранняя	31.10 (1988)	31.10 (1988)	17.11 (1999)	22.04 (2007)	25.04 (2007)	118 (2007/08)
Поздняя	3.01 (2008)	3.01 (2008)	7.02 (1983)	1.06 (1985)	8.06 (1999)	214 (1984/85)
СКО	15	17	21	9	12	22
РАЗНАВОЛОК (с сезона 1917/1918 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 95 лет)						
Средняя	14.11	25.11	1.01	10.05	15.05	182
Ранняя	19.10 (1945)	27.10 (1926)	22.11 (1987)	2.04 (1989)	23.04 (1989)	125 (1920/21)
Поздняя	19.12 (1920)	27.12 (1936)	28.03 (1944)	1.06 (1958)	12.06 (1966)	226 (1940/41)
СКО	14	14	25	11	12	20
РАЗНАВОЛОК (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	18.11	25.11	1.01	5.05	9.05	173
Ранняя	1.11 (1984)	9.11 (2002)	22.11 (1987)	2.04 (1989)	23.04 (1989)	146 (1982/83)
Поздняя	13.12 (1996)	18.12 (2000)	31.01 (1993)	29.05 (1985)	5.06 (1987)	212 (1984/85)
СКО	12	11	17	11	10	15

Продолжение табл. 3.15

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Полное замерзание	Разрушение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
СОЛОВКИ (с сезона 1940/1941 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 72 года)						
Средняя	18.11	24.11	н.с.	18.05	23.05	186
Ранняя	17.10 (1968)	27.10 (1952)	н.с.	2.05 (1950)	5.05 (1989)	133 (2011/12)
Поздняя	5.01 (2012)	5.01 (2012)	н.с.	3.06 (1966)	22.06 (1966)	235 (1968/69)
СКО	16	14	н.с.	8	10	20
СОЛОВКИ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	27.11	29.11	н.с.	16.05	18.05	173
Ранняя	2.11 (1985)	6.11 (1997)	н.с.	5.05 (1989)	5.05 (1989)	133 (2011/12)
Поздняя	5.01 (2012)	5.01 (2012)	н.с.	31.05 (1985)	3.06 (1987)	202 (1997/98)
СКО	16	15	н.с.	7	7	18
ГРИДИНО (с сезона 1924/1925 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 88 лет)						
Средняя	20.11	1.12	2.01	9.05	22.05	182
Ранняя	15.10 (1966)	21.10 (1925)	3.11 (1927)	9.03 (1975)	20.04 (1995)	127 (2006/07)
Поздняя	8.01 (2012)	23.01 (1930)	4.03 (1939)	6.06 (1941)	10.07 (1966)	239 (1965/66)
СКО	19	23	27	15	14	24
ГРИДИНО (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	29.11	8.12	13.01	3.05	16.05	170
Ранняя	1.11 (1988)	2.11 (1992)	15.12 (1984)	14.03 (1992)	20.04 (1995)	127 (2006/07)
Поздняя	8.01 (2012)	18.01 (1983)	22.02 (2001)	1.06 (1985)	7.06 (1998)	208 (1997/98)
СКО	19	21	17	15	13	22
КОВДА (с сезона 1938/1939 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 74 года)						
Средняя	25.11	5.12	20.12	15.05	20.05	176
Ранняя	21.10 (1966)	29.10 (1941)	1.11 (1992)	19.04 (1961)	21.04 (1943)	112 (1938/39)
Поздняя	6.01 (1944)	28.01 (1939)	1.03 (1944)	6.06 (1966)	9.07 (1966)	233 (1965/66)
СКО	18	25	25	11	11	23

Продолжение табл. 3.15

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Полное замерзание	Разрушение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
КОВДА (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	25.11	5.12	20.12	16.05	20.05	176
Ранняя	1.11 (1992)	1.11 (1992)	1.11 (1992)	2.05 (2011)	9.05 (2002)	149 (2011/12)
Поздняя	21.12 (2011)	4.01 (1984)	30.01 (2006)	28.05 (1987)	2.06 (1985)	203 (1984/85)
СКО	13	17	23	7	8	14
КАНДАЛАКША (с сезона 1923/1924 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 89 лет)						
Средняя	13.11	19.11	8.12	11.05	12.05	181
Ранняя	6.10 (1928)	11.10 (1928)	20.10 (1928)	14.04 (2007)	15.04 (2007)	103 (1974/75)
Поздняя	6.01 (1975)	6.01 (1975)	20.01 (2007)	1.06 (1935)	1.06 (1935)	234 (1928/29)
СКО	18	17	20	13	12	28
КАНДАЛАКША (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	20.11	26.11	16.12	30.04	1.05	161
Ранняя	27.10 (1992)	6.11 (1992)	20.11 (2002)	14.04 (2007)	15.04 (2007)	126 (1989/90)
Поздняя	19.12 (1989)	25.12 (2000)	20.01 (2007)	10.05 (2011)	13.05 (1986)	191 (1992/93)
СКО	13	12	18	6	7	16
УМБА (с сезона 1953/1954 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 59 лет)						
Средняя	8.11	16.11	16.12	17.05	19.05	192
Ранняя	9.10 (1973)	9.10 (1973)	18.11 (1973)	30.04 1975,2005)	1.05 (1975)	153 (2005/06)
Поздняя	15.12 (2003)	19.12 (2000)	25.01 (2012)	2.06 (1971,85)	3.06 (1969)	233 (1973/74)
СКО	16	15	17	8	8	19
УМБА (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	13.11	20.11	20.12	14.05	16.05	184
Ранняя	19.10 (1994)	28.10 (1992)	26.11 (1983)	30.04 (2005)	8.05 (2001)	153 (2005/06)
Поздняя	15.12 (2003)	19.12 (2000)	25.01 (2012)	2.06 (1985)	3.06 (1985)	220 (1984/85)
СКО	16	15	16	7	6	19

Продолжение табл. 3.15

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Полное замерзание	Разрушение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
СОСНОВЕЦ (с сезона 1909/1910 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 103 года)						
Средняя	12.12	22.12	н.с.	н.с.	22.05	161
Ранняя	5.11 (1988)	16.11 (2002)	н.с.	н.с.	20.04 (1920)	85 (2007/08)
Поздняя	28.01 (2008)	31.01 (1932)	н.с.	н.с.	4.07 (1999)	228 (1998/99)
СКО	17	15	н.с.	н.с.	15	25
СОСНОВЕЦ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	13.12	17.12	н.с.	н.с.	14.05	152
Ранняя	5.11 (1988)	16.11 (2002)	н.с.	н.с.	22.04 (2008)	85 (2007/08)
Поздняя	28.01 (2008)	28.01 (2008)	н.с.	н.с.	4.07 (1999)	228 (1998/99)
СКО	17	15	н.с.	н.с.	15	25
АБРАМОВСКИЙ (с сезона 1911/1912 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 101 год)						
Средняя	7.11	21.11	н.с.	н.с.	22.05	196
Ранняя	9.10 (1968)	18.10 (1912, 1992)	н.с.	н.с.	4.04 (1995)	140 (2008/09)
Поздняя	12.12 (1996)	8.01 (1933)	н.с.	н.с.	3.07 (1941)	264 (1968/69)
СКО	13	18	н.с.	н.с.	20	27
АБРАМОВСКИЙ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	12.11	21.11	н.с.	н.с.	11.05	180
Ранняя	18.10 (1992)	18.10 (1992)	н.с.	н.с.	4.04 (1995)	140 (2008/09)
Поздняя	12.12 (1996)	30.12 (1982)	н.с.	н.с.	13.06 (1985)	223 (1984/95)
СКО	14	16	н.с.	н.с.	18	21
МОРЖОВЕЦ (с сезона 1891/1892 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 121 год)						
Средняя	28.11	7.12	н.с.	н.с.	22.05	176
Ранняя	24.10 (1912)	3.11 (1968)	н.с.	н.с.	18.04 (1967)	116 (2006/07)
Поздняя	8.01 (2008)	9.01 (1933)	н.с.	н.с.	30.06 (1899)	228 (1968/69)
СКО	16	16	н.с.	н.с.	15	24

Окончание табл. 3.15

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Полное замерзание	Разрушение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
МОРЖОВЕЦ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	6.12	10.12	н.с.	н.с.	15.05	160
Ранняя	3.11 (1992)	14.11 (1992)	н.с.	н.с.	23.04 (1995)	116 (2006/07)
Поздняя	8.01 (2008)	8.01 (2008)	н.с.	н.с.	8.06 (1985)	214 (1984/85)
СКО	14	16	н.с.	н.с.	11	22
КАНИН НОС (с сезона 1915/1916 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 97 лет)						
Средняя	4.12	20.12	н.с.	н.с.	24.05	171
Ранняя	1.11 (1965)	18.11 (1992)	н.с.	н.с.	16.04 (2009)	113 (2006/07)
Поздняя	5.01 (2007)	28.02 (1930)	н.с.	н.с.	13.07 (1969)	241 (1928/29)
СКО	15	21	н.с.	н.с.	17	26
КАНИН НОС (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	4.12	20.12	н.с.	н.с.	16.05	163
Ранняя	6.11 (1984)	18.11 (1992)	н.с.	н.с.	16.04 (2009)	113 (2006/07)
Поздняя	5.01 (2007)	4.02 (1992)	н.с.	н.с.	18.06 (1985)	224 (1984/85)
СКО	15	17	н.с.	н.с.	18	28

Примечание. «Н.с.» – нет сведений; СКО – среднее квадратическое отклонение.

В табл. 3.16 приведены средние даты первого появления льда, окончательного очищения моря ото льда и продолжительности ледового периода для первых 12 лет XXI века. На рис. 3.24–3.26 показаны ранние, средние и поздние сроки устойчивого ледообразования в Белом море.

Ледообразование в Белом море начинается с прибрежных районов моря. Первое появление льда в вершинах Двинского, Онежского и Мезенского заливов происходит в среднем в конце октября – начале ноября. Устойчивое ледообразование в этих районах начинается в первой-второй декадах ноября.

Первое появление льда в вершине Кандалакшского залива происходит в среднем в начале второй декады ноября, а устойчивое ледообразование – в конце второй декады ноября (раннее – в середине октября, позднее – в январе). В открытых частях Бассейна, Горла, Воронки моря даты первого и устойчивого ледообразования обычно совпадают.

Таблица 3.16

Средние даты наступления ледовых фаз в Белом море по 12-летнему ряду наблюдений в XXI веке

ГМС	Первое появление льда	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
Архангельск	12.11	6.05	175
Мудьюг	7.11	11.05	185
Унский Маяк	18.11	7.05	170
Зимнегорский	5.12	7.05	154
Онега	7.11	2.05	178
Кемь-Порт	30.11	9.05	160
Разнаволок	21.11	6.05	167
Соловки	7.12	16.05	160
Гридино	13.12	16.05	156
Ковда	26.11	19.05	174
Кандалакша	25.11	1.05	158
Умба	20.11	13.05	175
Сосновец	21.12	9.05	139
Абрамовский	17.11	4.05	169
Моржовец	21.12	10.05	138
Канин Нос	12.12	9.05	148

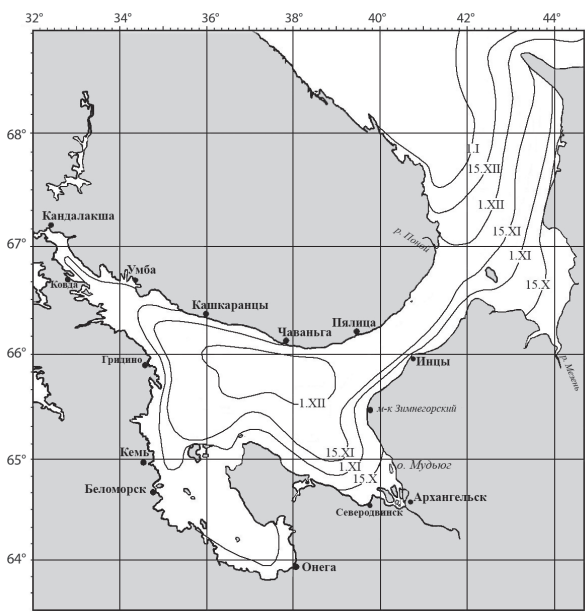


Рис. 3.24. Ранние сроки устойчивого образования льда в Белом море.

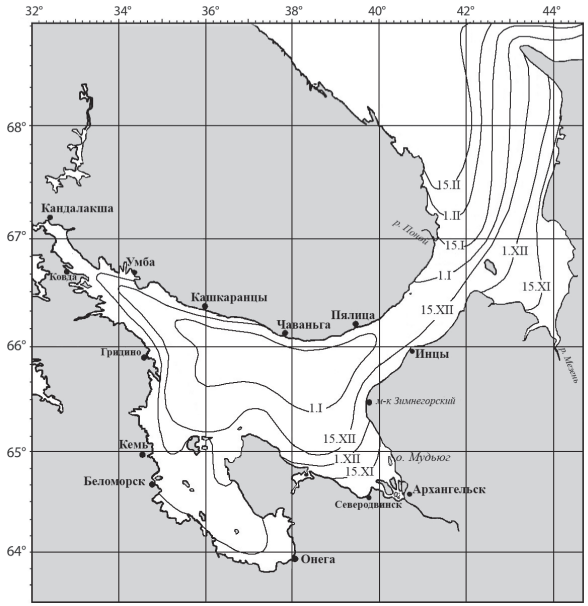


Рис. 3.25. Средние сроки устойчивого образования льда в Белом море.

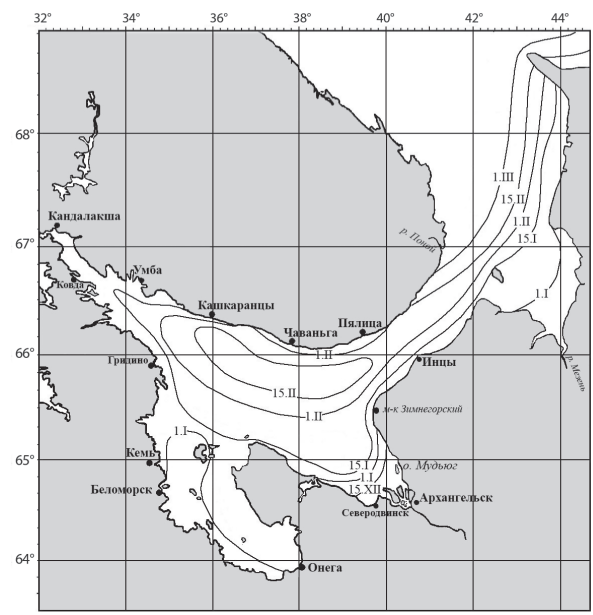


Рис. 3.26. Поздние сроки устойчивого образования льда в Белом море.

К третьей декаде ноября процесс ледообразования, как правило, активно идет вдоль побережья всех заливов Белого моря. К середине декабря ледообразование охватывает акватории заливов, а к середине января весь Бассейн и Горло. В Воронке этот процесс происходит достаточно медленно, по причине влияния теплых баренцевоморских вод, поступающих в Белое море вдоль Терского берега. Обычно в конце января ледообразование охватывает восточную часть Воронки. Западнее 42° в.д. в течение всего ледового сезона чаще всего наблюдается чистая вода.

При ранних сроках ледообразования к концу октября акватории заливов покрыты льдам. К концу ноября ледообразованием охвачены Бассейн, Горло моря и восточная часть Воронки моря. Аналогичная ситуация в экстремально мягкие зимы может наблюдаться только в середине февраля. Это говорит о том, что для Белого моря характерна большая межгодовая изменчивость активности ледовых процессов.

За последнее 30-летие даты первого и устойчивого ледообразования сдвинулись в сторону более поздних сроков в среднем на 4–8 суток, а даты очищения моря ото льда – в сторону более ранних сроков на 4–7 суток. Продолжительность ледового периода сократилась в среднем на 1–2 недели.

По данным сравнения табл. 3.15 и 3.16, еще более явные климатические изменения произошли в первые 12 лет XXI века: даты ледообразования, по сравнению с многолетними средними значениями, сдвинулись в сторону более поздних сроков на 1–2 недели, а даты очищения моря ото льда – в сторону более ранних сроков на 5–10 суток. Продолжительность ледового периода сократилась в среднем на 2–3 недели.

3.5. Нарастание и распространение льда в Белом море

Положение границ (средних, максимальных и минимальных) распространения льда в Белом море, представленное на рис. 3.27 (а–к) для ноября–июня, имеет большую межгодовую изменчивость, что связано с суровостью зим.

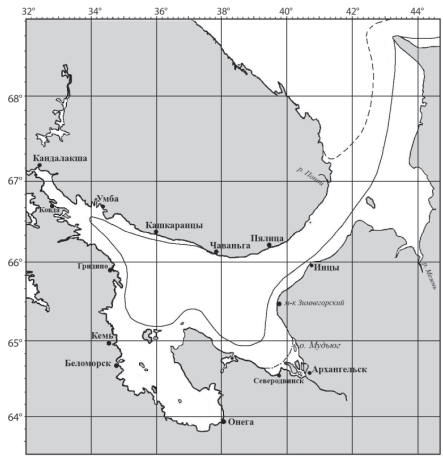
В середине января в отдельные годы море может быть полностью покрыто дрейфующим льдом, тогда как в годы минимальной интенсивности развития ледяного покрова дрейфующий лед наблюдается лишь на акватории заливов, что соответствует среднемноголетнему положению кромки льда в декабре.

В табл. 3.17 приведены данные о ледовитости (средней, максимальной и минимальной) Воронки Белого моря.

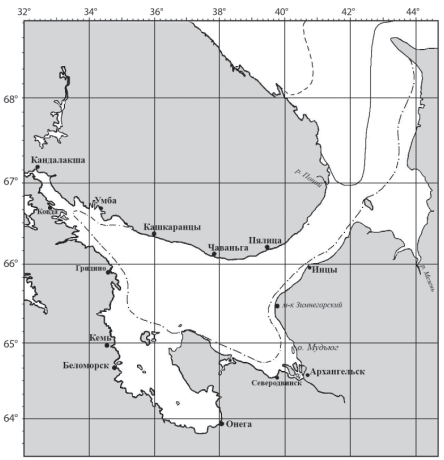
Анализ табл. 3.17 показывает, что ледовитость Воронки моря 100 % может наблюдаться в любой из месяцев с января по май. В среднем максимум ледовитости приходится на февраль-март. Средняя ледовитость в момент максимального развития льда составляет 76 %. В отдельные годы в декабре и мае море может быть практически свободным ото льда. Наибольшая ледовитость Воронки в мае за весь период наблюдений составляла 100 % (в 1969 г.), за последние 30 лет – 53 % (в 1985 г.), за 12-летний период XXI века – 38 % (в 2010 г.).



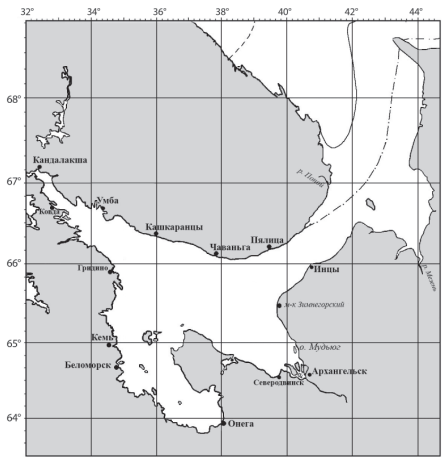
3.27а (ноябрь)



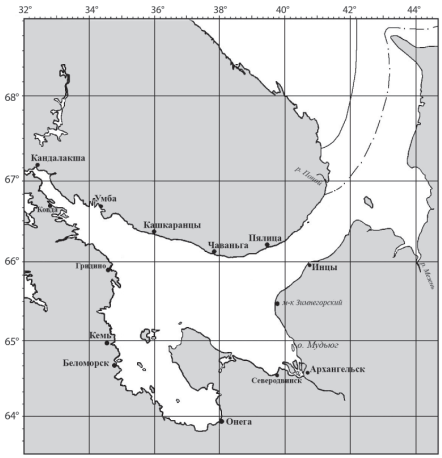
3.27б (декабрь)



3.27в (январь)



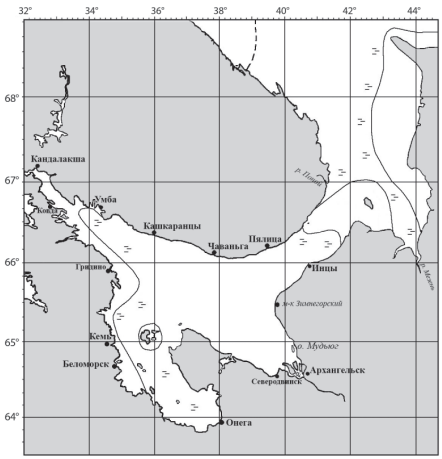
3.27г (февраль)



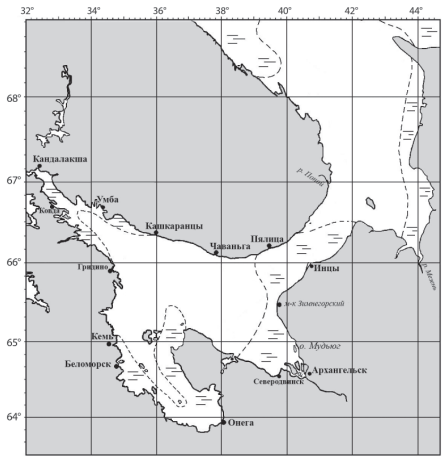
3.27д (март)



3.27е (апрель)



3.27ж (май)



3.27к (июнь)

Рис. 3.27. Положение границ льда в Белом море на середину месяца:
——— – среднее; – – – – – максимальное; – · – · – – минимальное.

Таблица 3.17

Среднемесячная (осредненная по трем декадам) ледовитость Воронки Белого моря за весь период наблюдений, за последние 30 лет и за первые 12 лет XXI века (%)

Месяц	XII	I	II	III	IV	V
с сезона 1950/1951 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 62 года						
Средняя	29	60	76	75	66	17
Макс.	65	100	100	100	100	100
Мин.	1	23	45	42	22	0
СКО	15	16	13	14	15	25
с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет						
Средняя	25	58	76	71	62	11
Макс.	65	100	100	95	88	53
Мин.	1	23	45	48	22	0
СКО	13	19	13	12	14	16
с сезона 2000/2001 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 12 лет						
Средняя	19	49	74	76	62	11
Макс.	38	88	98	95	88	38
Мин.	3	23	50	48	22	0
СКО	12	19	14	12	16	12

На рис. 3.28 приведена ледовая обстановка в Белом море в момент наибольшего за зиму развития ледяного покрова (март 2010 г.).

В табл. 3.18 приведены декадные значения толщины припайного льда по данным морских ГМС для всего периода наблюдений (63–99 лет) и для последних 30 лет. В табл. 3.19 приведена средняя и максимальная толщина припайного льда в Белом море для первых 12 лет XXI века.

Анализ табл. 3.18 показывает, что за последнее 30-летие средние толщины припайного льда в Белом море уменьшились в среднем на 1–5 см. Максимальные толщины льда уменьшились на 10–20 см. Исключение составил Кандалакшский залив, где средние толщины мало изменились, а максимальные уменьшились на 2–4 см.

Анализ табл. 3.18 и 3.19 показывает, что за последние 12 лет уменьшение средней толщины припайного льда в Белом море по данным разных станций составило от 1 до 13 см, уменьшение максимальных толщин – от 20 до 40 см. Исключение составила только ГМС Кандалакша, где характеристики толщины льда изменились мало.Максимального развития ледяной покров в Белом море получает в феврале-марте, когда повторяемость наличия льда в Горле и Бассейне моря приближается к 100 %. В вершинах Двинского, Онежского и Кандалакшского заливов наблюдается припай толщиной от 30–45 см в мягкие зимы до 80–105 см в суровые зимы. Средняя многолетняя толщина припайного льда в феврале-марте составляет 55–65 см.

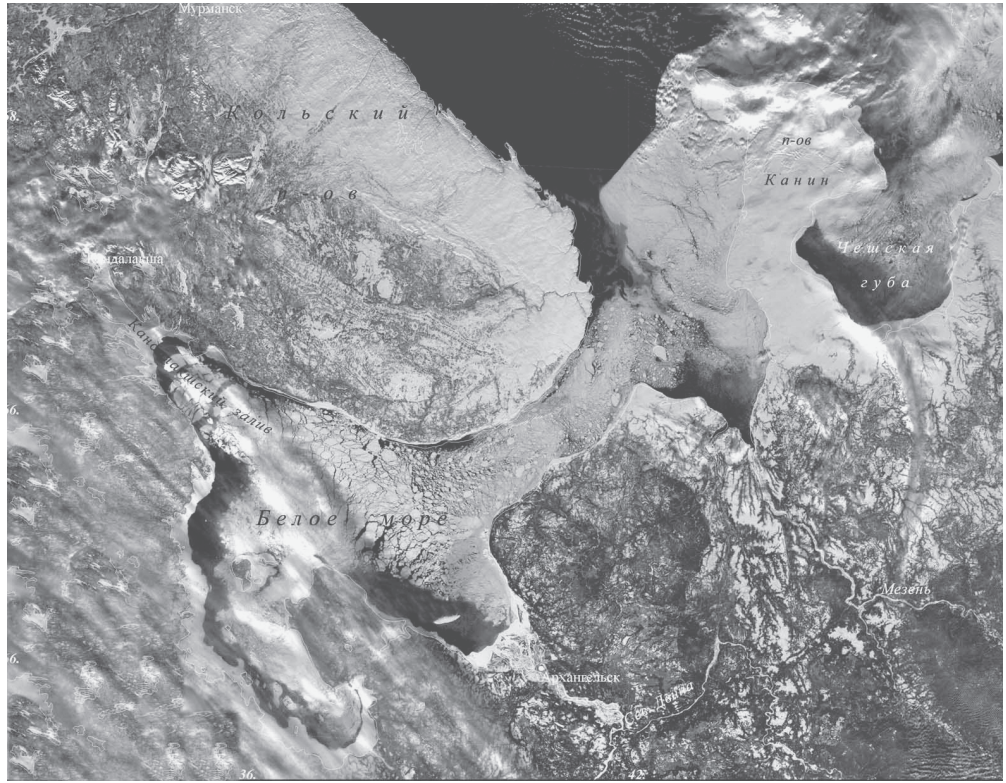


Рис. 3.28. Белое море на момент максимального развития льда. Март 2010 года. Снимок с ИСЗ AQUA (MODIS).

Таблица 3.18

Толщина припайного льда в Белом море (см)

Месяц	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май		
Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
о. МУДЬЮГ (с сезона 1913/1914 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 99 лет)																					
Средняя	0	0	17	22	27	33	38	43	49	54	58	61	64	66	68	70	67	61	54	46	0
Макс.	12	20	31	43	50	52	72	80	78	84	94	96	97	104	106	100	100	93	82	73	0
Мин.	0	0	3	6	10	13	10	13	8	17	30	35	38	44	46	42	36	19	35	24	0
СКО	–	–	8	8	10	10	12	12	12	13	12	13	12	13	13	13	15	17	13	18	–
о. МУДЬЮГ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																					
Средняя	0	0	20	22	31	36	41	43	45	52	55	58	62	64	68	69	67	60	0	0	0
Макс.	0	20	31	43	49	52	58	59	66	77	80	80	87	87	90	90	90	77	61	0	0
Мин.	0	0	13	13	16	20	26	21	8	30	34	38	38	44	46	46	46	47	0	0	0
СКО	–	–	6	9	10	9	10	10	13	10	10	10	11	11	11	12	12	10	–	–	–
УНСКИЙ МАЯК (с сезона 1938/1939 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 74 года)																					
Средняя	0	0	0	20	22	22	27	32	39	42	47	51	54	57	58	59	59	58	57	0	0
Макс.	0	0	20	29	46	41	50	56	69	73	89	94	94	93	96	97	101	99	88	81	49
Мин.	0	0	0	10	7	7	7	12	7	12	17	22	19	28	27	25	18	19	28	0	0
СКО	–	–	–	7	10	9	11	11	14	14	16	16	16	16	16	17	18	19	19	–	–
УНСКИЙ МАЯК (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																					
Средняя	0	0	0	15	15	19	25	31	35	40	46	49	53	56	57	56	52	49	0	0	0
Макс.	0	0	20	22	24	29	45	52	58	71	89	94	94	93	88	88	86	77	71	57	39
Мин.	0	0	0	10	9	12	7	12	10	18	18	22	19	31	29	25	18	19	0	0	0
СКО	–	–	–	5	4	5	10	10	13	14	18	18	18	17	16	16	18	19	–	–	–

Продолжение табл. 3.18

Месяц	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май		
Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
ОНЕГА (с сезона 1931/1932 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 81 год)																					
Средняя	0	0	15	20	26	31	34	37	43	47	50	53	56	58	59	56	52	50	43	0	0
Макс.	0	14	43	48	50	62	76	79	81	83	90	99	107	107	107	107	83	75	69	56	54
Мин.	0	0	7	6	7	0	7	9	7	15	23	24	24	24	24	24	23	22	20	0	0
СКО	–	–	9	10	10	12	13	13	14	14	13	13	14	15	15	16	15	15	18	–	–
ОНЕГА (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																					
Средняя	0	0	15	18	22	28	27	31	35	38	42	46	47	48	49	46	43	40	33	0	0
Макс.	0	14	43	48	49	57	56	63	72	72	76	83	82	77	77	77	72	68	57	0	0
Мин.	0	0	7	7	7	9	7	12	7	15	23	24	24	24	24	24	23	22	20	0	0
СКО	–	–	12	11	12	13	13	14	15	14	13	12	12	12	13	14	13	14	15	–	–
КЕМЬ-ПОРТ (с сезона 1938/1939 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 74 года)																					
Средняя	0	0	0	24	28	32	35	40	44	51	56	59	62	65	67	66	66	65	65	0	0
Макс.	0	12	33	36	45	58	65	73	77	84	96	96	96	102	102	103	103	99	93	0	0
Мин.	0	0	0	14	11	15	15	15	16	21	32	37	19	29	34	33	27	31	46	0	0
СКО	–	–	–	7	8	10	11	12	11	12	11	12	13	13	13	14	17	16	14	–	–
КЕМЬ-ПОРТ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																					
Средняя	0	0	0	23	27	31	36	39	44	49	54	58	58	60	62	62	64	64	59	0	0
Макс.	0	12	33	35	43	58	65	65	66	67	76	76	78	80	89	90	93	96	72	0	0
Мин.	0	0	0	15	11	15	17	16	28	32	35	37	19	29	34	33	27	42	46	0	0
СКО	–	–	–	6	9	11	13	12	11	10	11	10	12	11	12	13	16	17	11	–	–

Продолжение табл. 3.18

Месяц	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май		
Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
РАЗНАВОЛОК (с сезона 1929/1930 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 83 года)																					
Средняя	0	0	15	21	26	30	35	42	47	52	57	60	63	66	68	69	68	64	62	0	0
Макс.	0	20	30	50	50	54	66	70	78	86	99	97	108	109	112	111	110	110	103	97	0
Мин.	0	0	8	10	10	12	6	11	20	8	13	18	18	19	22	20	35	15	34	0	0
СКО	–	–	7	9	9	10	12	13	12	14	15	15	15	16	16	15	16	18	17	–	–
РАЗНАВОЛОК (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																					
Средняя	0	0	16	20	24	29	33	39	44	49	55	58	60	63	65	66	64	62	56	0	0
Макс.	0	8	24	42	50	54	62	69	69	72	78	80	81	88	89	93	93	94	96	83	0
Мин.	0	0	8	10	11	12	6	11	20	20	20	18	18	19	22	47	47	35	34	0	0
СКО	–	–	6	9	10	12	14	13	12	12	12	12	13	14	14	12	13	15	17	–	–
СОЛОВКИ (с сезона 1949/1950 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 63 года)																					
Средняя	0	0	19	21	26	31	35	40	45	50	55	59	62	65	68	70	69	66	58	53	0
Макс.	0	31	36	37	43	49	53	58	66	73	85	89	92	92	93	93	100	106	106	84	65
Мин.	0	0	9	6	9	10	12	14	21	30	36	41	43	46	48	44	34	33	28	26	0
СКО	–	–	6	8	10	10	10	11	10	10	10	10	9	9	9	11	13	16	19	16	–
СОЛОВКИ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																					
Средняя	0	0	16	18	22	29	33	37	43	50	55	59	62	65	67	69	67	62	51	50	0
Макс.	0	13	24	35	41	49	53	58	66	73	79	81	83	83	83	88	90	91	86	79	0
Мин.	0	0	9	6	9	11	13	14	21	30	40	46	49	53	54	44	38	34	28	26	0
СКО	–	–	5	8	10	11	12	13	12	11	10	9	9	9	9	11	12	14	16	18	–

Продолжение табл. 3.18

Месяц	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май		
Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
ГРИДИНО (с сезона 1929/1930 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 83 года)																					
Средняя	0	0	0	15	17	22	27	32	35	40	45	49	53	55	58	58	58	57	55	49	0
Макс.	0	15	20	33	40	49	60	63	68	75	88	88	109	111	111	111	112	117	117	85	65
Мин.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	8	18	16	21	17	21	4	0	10	0
СКО	–	–	–	10	11	13	15	14	15	15	15	14	15	16	16	16	17	20	21	20	–
ГРИДИНО (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																					
Средняя	0	0	0	15	13	19	25	30	32	39	43	47	51	53	53	53	51	45	44	41	0
Макс.	0	15	20	33	40	49	60	63	65	66	71	71	75	77	77	77	76	73	67	57	50
Мин.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	8	8	18	16	21	25	21	4	20	10	0
СКО	–	–	–	10	11	15	17	17	18	14	15	15	13	15	13	12	14	18	16	18	–
КОВДА (с сезона 1938/1939 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 74 года)																					
Средняя	0	0	23	28	32	36	40	44	49	54	58	61	63	66	68	70	67	65	59	60	0
Макс.	18	25	36	55	62	75	80	80	81	83	86	94	95	98	102	108	110	110	108	90	66
Мин.	0	0	7	14	10	13	12	13	21	23	25	29	31	34	44	30	26	15	10	35	0
СКО	–	–	9	10	11	12	13	14	13	13	14	14	13	13	14	16	20	21	23	16	–
КОВДА (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																					
Средняя	0	0	20	25	29	33	38	41	47	53	56	60	62	63	65	67	63	61	57	55	0
Макс.	0	17	32	46	53	57	67	69	79	83	86	94	95	98	102	107	108	108	102	66	0
Мин.	0	0	10	14	14	13	12	13	21	23	25	29	31	34	44	41	39	34	35	43	0
СКО	–	–	9	9	11	12	15	16	15	15	16	16	16	16	16	17	18	19	18	10	–

Окончание табл. 3.18

Месяц	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май		
Декада	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**
КАНДАЛАКША (с сезона 1929/1930 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 83 года)																					
Средняя	0	0	0	26	31	35	40	46	50	56	60	62	65	69	70	68	68	66	59	49	0
Макс.	16	24	35	38	49	56	66	72	74	93	93	93	93	95	98	96	96	92	87	65	0
Мин.	0	0	0	12	9	13	13	21	21	25	33	36	39	42	42	40	40	34	38	41	0
СКО	–	–	–	8	10	10	11	11	12	12	11	12	12	13	14	13	13	17	14	11	–
КАНДАЛАКША (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																					
Средняя	0	0	0	27	28	33	41	46	52	58	62	65	68	69	70	70	67	62	0	0	0
Макс.	0	9	25	38	49	54	60	64	72	93	93	93	93	93	93	94	84	84	0	0	0
Мин.	0	0	0	17	9	18	13	24	25	25	38	40	42	42	42	42	42	40	0	0	0
СКО	–	0	0	10	13	12	12	12	13	14	13	13	12	13	15	14	13	22	–	–	–
УМБА (с сезона 1939/1940 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 73 года)																					
Средняя	0	0	0	19	18	23	29	32	37	43	48	51	55	59	62	64	66	65	61	0	0
Макс.	0	15	22	25	24	42	46	52	52	65	65	72	76	81	81	83	88	88	90	77	46
Мин.	0	0	0	10	10	14	8	9	12	25	26	33	37	39	39	39	39	38	30	0	0
СКО	–	–	–	4	4	6	8	10	10	9	9	9	10	10	10	10	11	12	15	–	–
УМБА (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																					
Средняя	0	0	0	19	22	26	29	34	41	47	51	56	58	61	62	64	61	53	48	0	0
Макс.	0	15	22	24	27	40	42	52	65	65	72	76	81	81	83	88	88	81	77	77	41
Мин.	0	0	0	10	14	8	9	12	25	26	33	37	39	39	39	39	38	30	25	0	0
СКО	–	–	–	5	4	6	8	10	10	11	11	12	11	12	12	13	14	16	12	–	–

Таблица 3.19

Средняя и максимальная толщина припайного льда в Белом море на момент наибольшего развития ледяного покрова в марте-апреле для всего периода наблюдений и для первых 12 лет XXI века (см)

ГМС	Средняя толщина льда за весь период наблюдений	Максимальная толщина льда за весь период наблюдений	Средняя толщина льда за 12 лет XXI века	Максимальная толщина льда за 12 лет XXI века
Мудьюг	68	106	69	79
Унский Маяк	59	101	50	74
Онега	59	107	46	67
Кемь-Порт	67	103	60	83
Разнаволок	69	112	64	87
Соловки	70	106	65	83
Гридино	58	117	52	77
Ковда	70	110	57	80
Кандалакша	69	98	69	94
Умба	66	90	55	72

Для движения судов во льдах важны такие площадные характеристики, влияющие на ледопроходимость, как сплоченность и толщина льда. Ниже представлены результаты обработки карт ледовых разведок за 40-летний период (1950–1989 гг.).

С ледовых карт, максимально приближенных по датам осуществления ледовой авиационной разведки к середине соответствующего месяца, снималась информация в квадратах сетки с шагом 10 миль. Повторяемость (в %) наличия льда (P_k) рассчитывалась по формуле: $P_k = (N_k / n_k) \times 100$, где N_k – число встреч со льдом с заданными свойствами; n_k – количество наблюдений в k-ом квадрате.

Были получены четыре вида карт повторяемости наличия льда с различными характеристиками, влияющими на ледопроходимость судов, для шести ледовых месяцев (декабрь–май):

– карты повторяемости наличия льда любой сплоченности;

– карты повторяемости наличия льда сплоченностью 9–10 баллов, показывающие частоту присутствия в данном районе моря зон очень сплоченного льда, для которых характерен процесс торошения и возникновение сжатий;

– карты повторяемости наличия льда сплоченностью 7–10 баллов и толщиной более 30 см, показывающие частоту присутствия в различных районах моря самого труднопроходимого для Белого моря льда – тонкого однолетнего (30–70 см), сплоченного и очень сплоченного (7–10 баллов) льда;

– карты повторяемости наличия больших полей льда, характеризующие динамичность различных районов моря [48, 51].

На рис. 3.29 (а–е) приведены карты повторяемости наличия льда в Белом море в середине месяца (с декабря по май), полученные по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века. На рис. 3.30 (а–е) приведены карты повторяемости наличия льда в Белом море в середине месяца, полученные по данным ИСЗ за первые 12 лет XXI века.

Повторяемость наличия дрейфующего льда в центральной части Бассейна в декабре очень низка, а в январе составляет 50–60 %. При этом в Горле моря (наиболее сложном районе зимнего плавания) предпочтительной для плавания в эти месяцы является его западная часть. Повторяемость существования в феврале и марте зон чистой воды минимальна. Образующиеся заприпайные полыньи и разводья быстро покрываются молодым льдом.

Сопоставление рис. 3.29 и 3.30 показывает, что за первые 12 лет XXI века в оценке повторяемости присутствия льда (в середине каждого месяца) произошли существенные изменения по сравнению со второй половиной XX века, например:

– в декабре-январе второй половины XX века повторяемость наличия льда во всех районах моря была выше на 10–20 %;

– в марте-апреле в XX веке повторяемость наличия льда в районе Воронки моря была выше на 15–25 %;

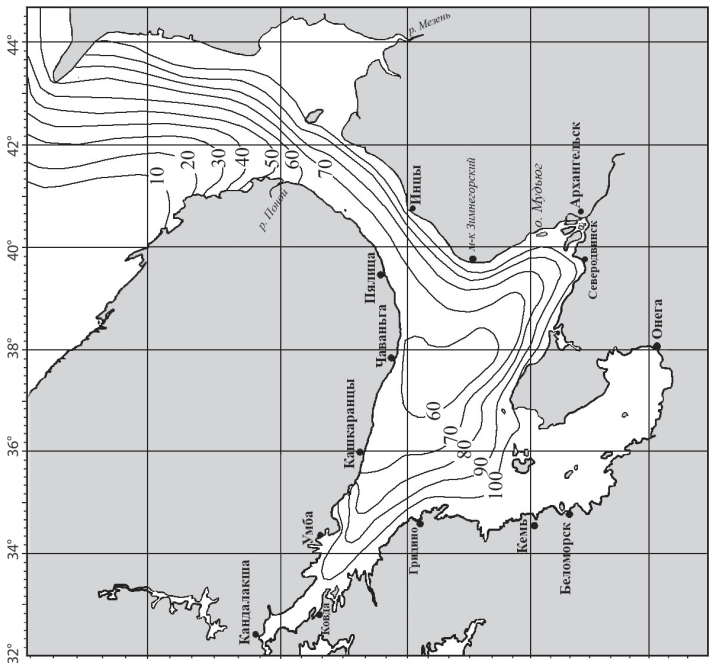
– в середине мая в XX веке повторяемость наличия льда во всех районах моря была выше на 20–35 %.

Сложными для Белого моря с точки зрения ледопроходимости являются ледовые условия, когда дрейфующий ледяной покров в трассовой зоне имеет сплоченность 9–10 баллов. Еще более сложно двигаться судам и ледоколам в ледовых зонах, где лед имеет толщину более 30 см при сплоченности 7–10 баллов.

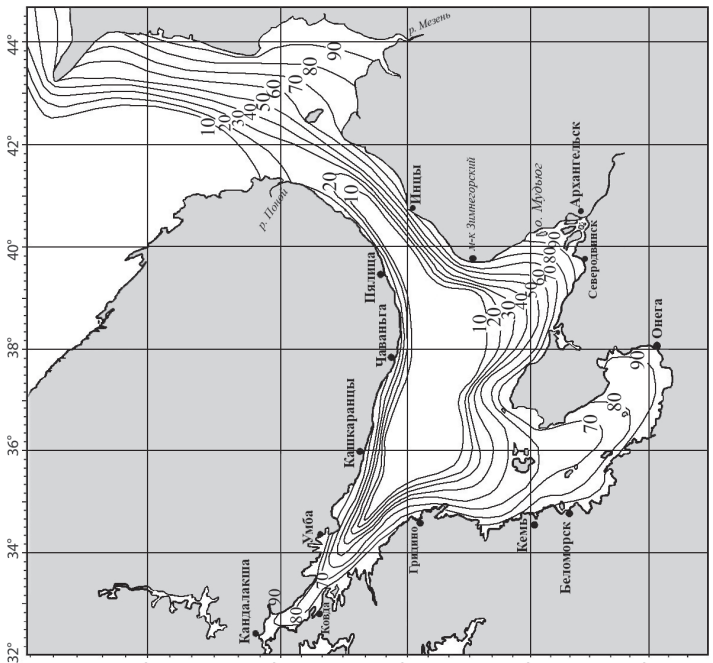
На рис. 3.31 приведены карты повторяемости наличия 9–10-балльного льда любой толщины, а на рис. 3.32 – льда толщиной 30 см при сплоченности 7–10 баллов в Белом море в середине месяца. Данными для построения карт являлись ледовые авиаразведки за 50–80-е гг. XX века.

Карты распределения повторяемости наличия зон с различными ледовыми характеристиками имеют практическую ценность для решения навигационных задач. Например, для ледовых плаваний в феврале важно учитывать, что очень сплоченный лед (9–10 баллов) с повторяемостью 80 % и более наблюдается в восточной части Онежского залива, в центральной и восточной частях Бассейна моря, в Горле, на северо-востоке Мезенского залива и на востоке Воронки (рис. 3.31 в). Такое распределение льда поддерживают преобладающие южные и юго-западные ветры.

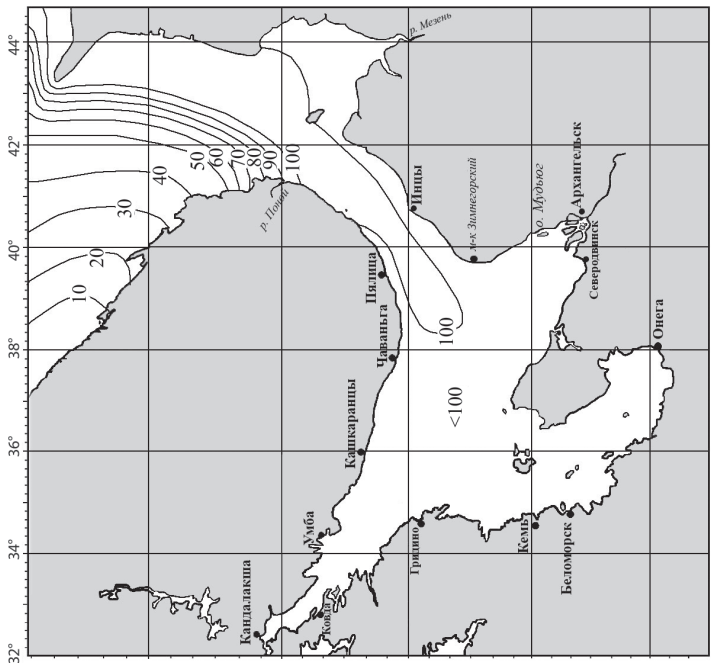
В марте (рис. 3.31 г) повторяемость наличия в Белом море зон льда сплоченностью 9–10 баллов максимальна в более мористых, удаленных от береговой черты зонах в отличие от распределения этой характеристики в феврале.



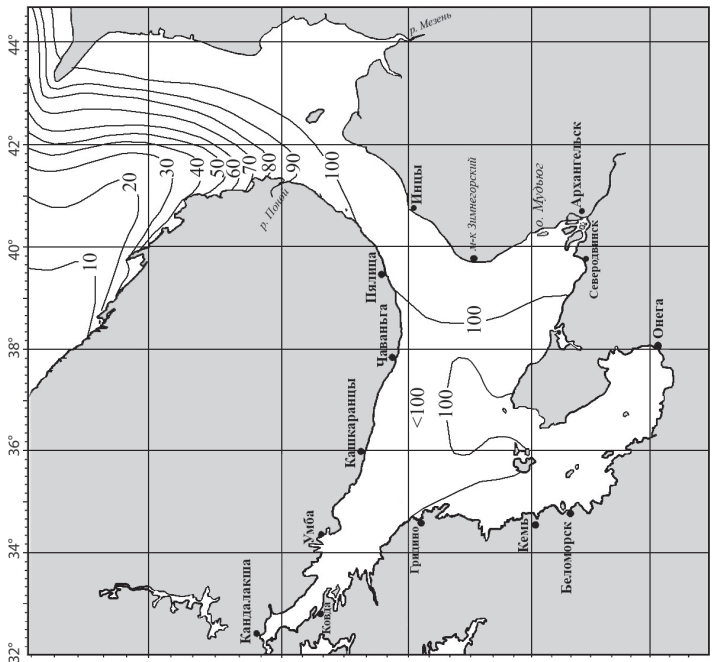
3.29б (январь)



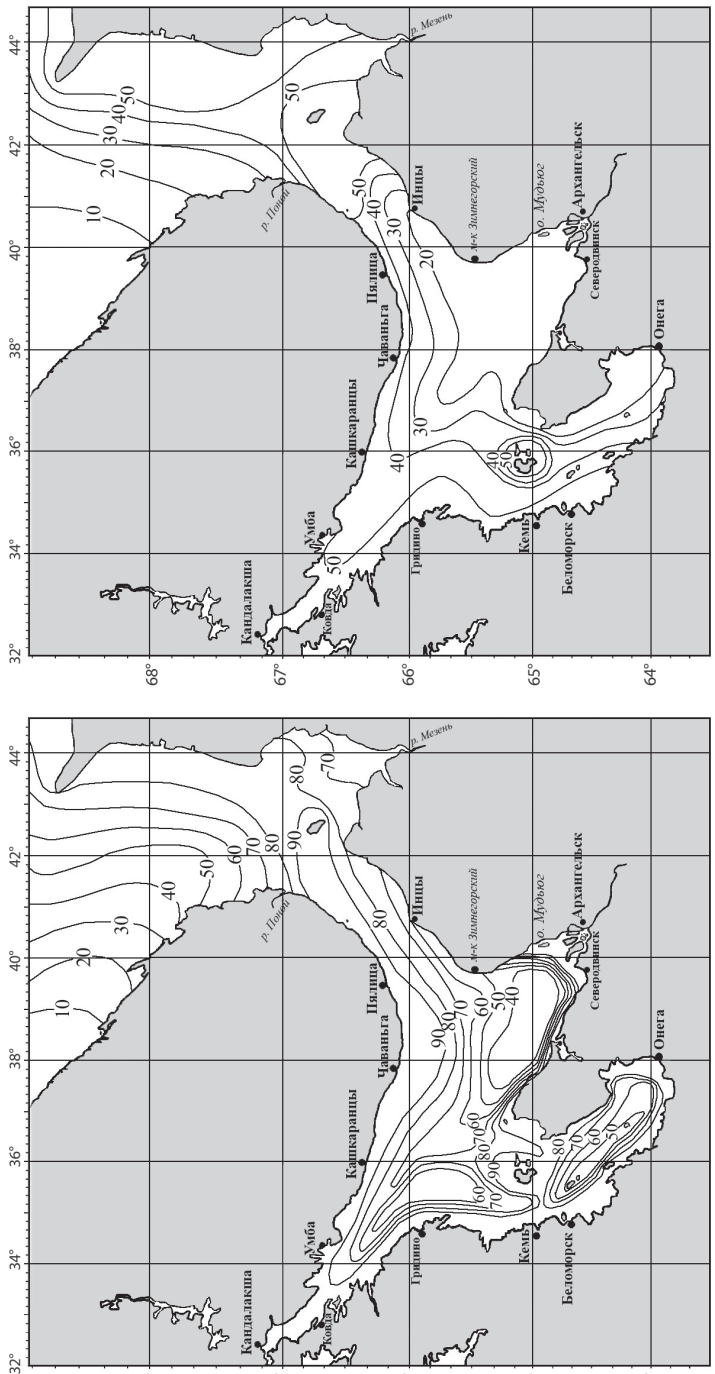
3.29а (декабрь)



3.29г (март)

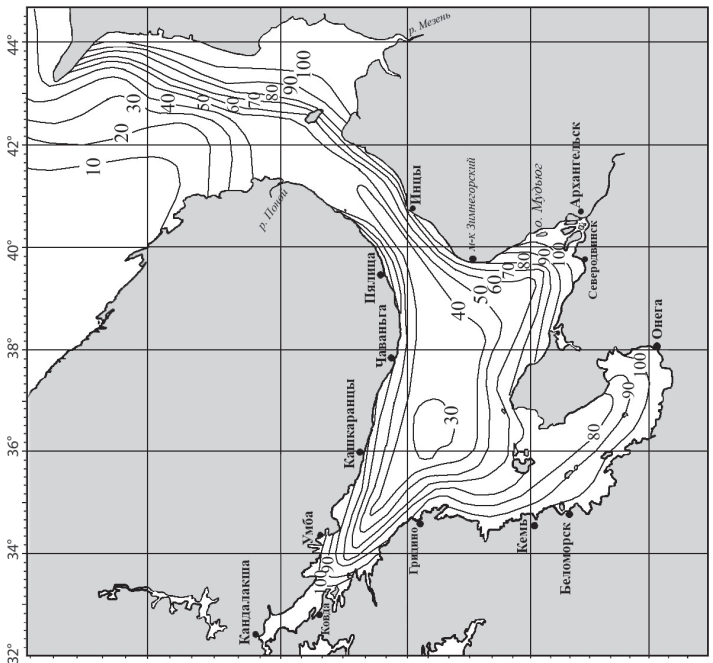


3.29в (февраль)

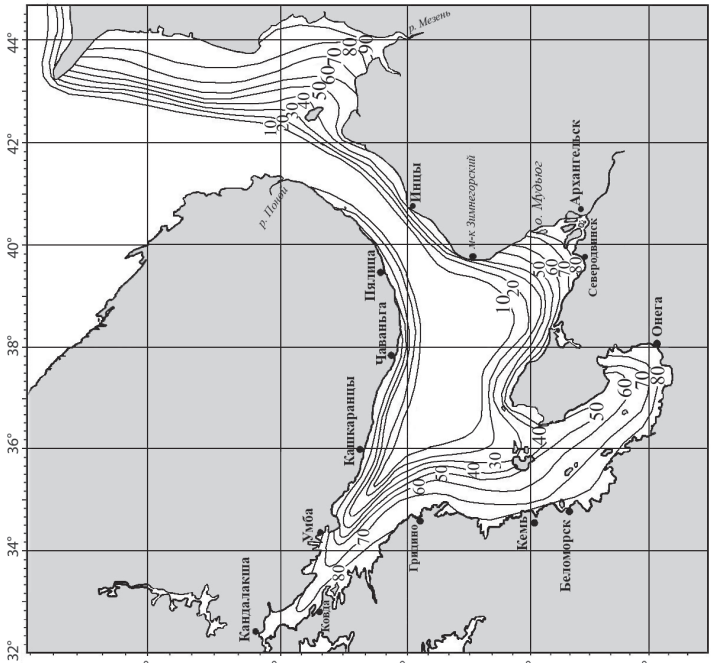


3.29д (апрель) 3.29е (май)

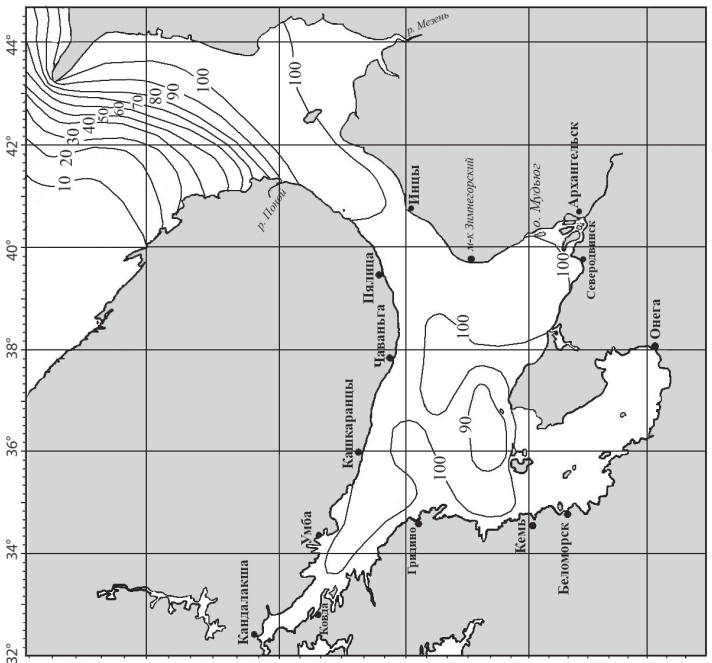
Рис. 3.29. Повторяемость наличия льда в Белом море на середину месяца, рассчитанная по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века.



3.30б (январь)



3.30а (декабрь)



3.30в (февраль)

3.30г (март)

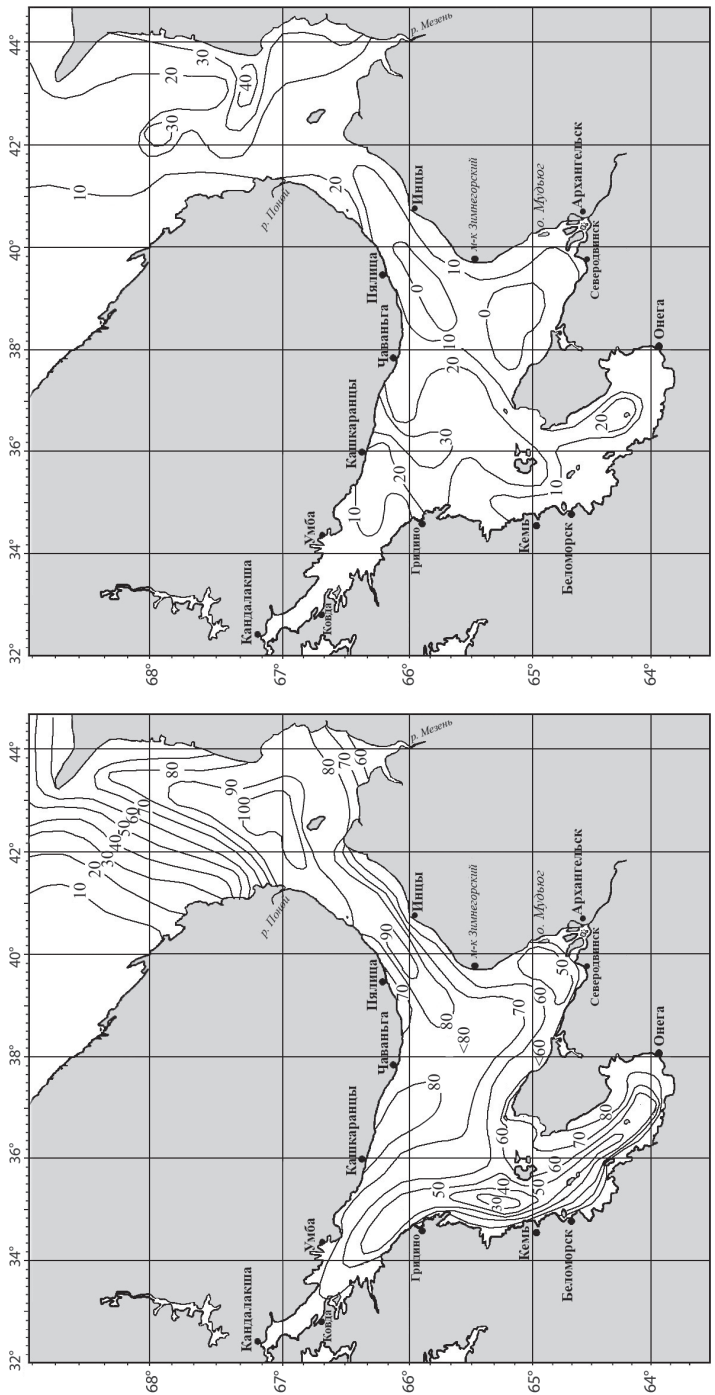
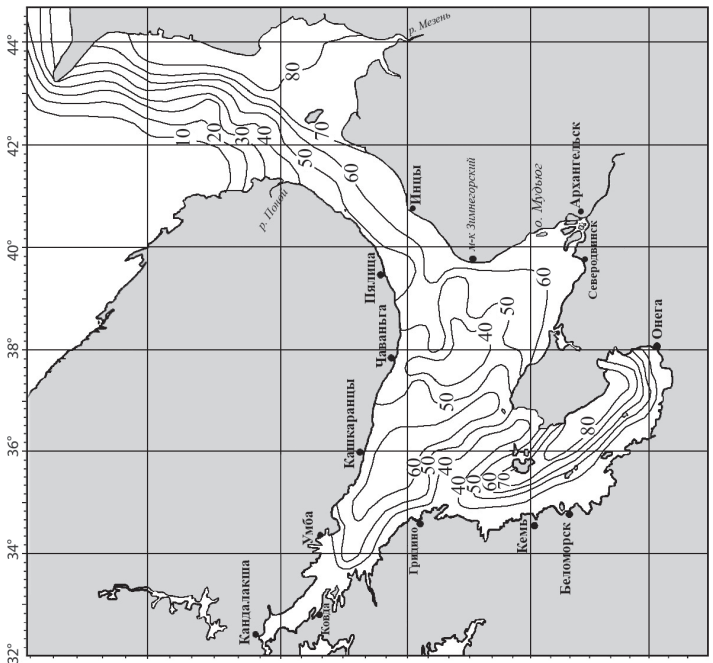
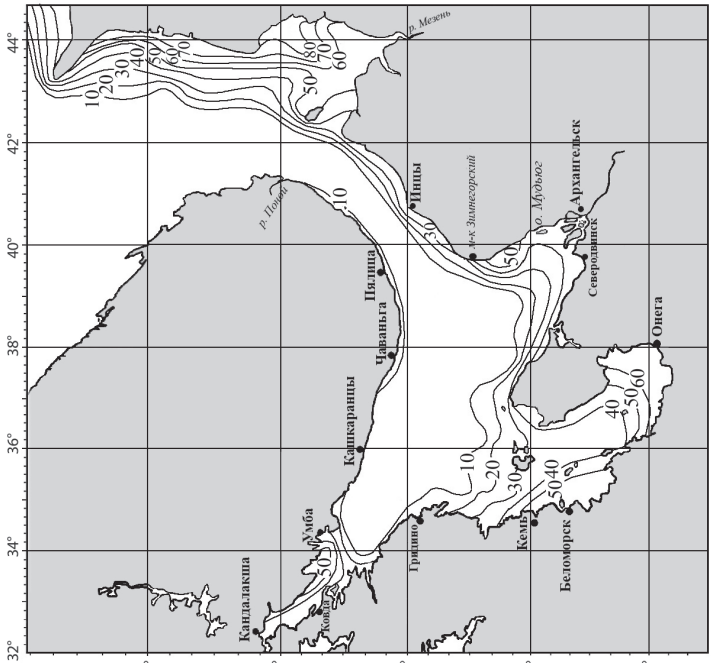


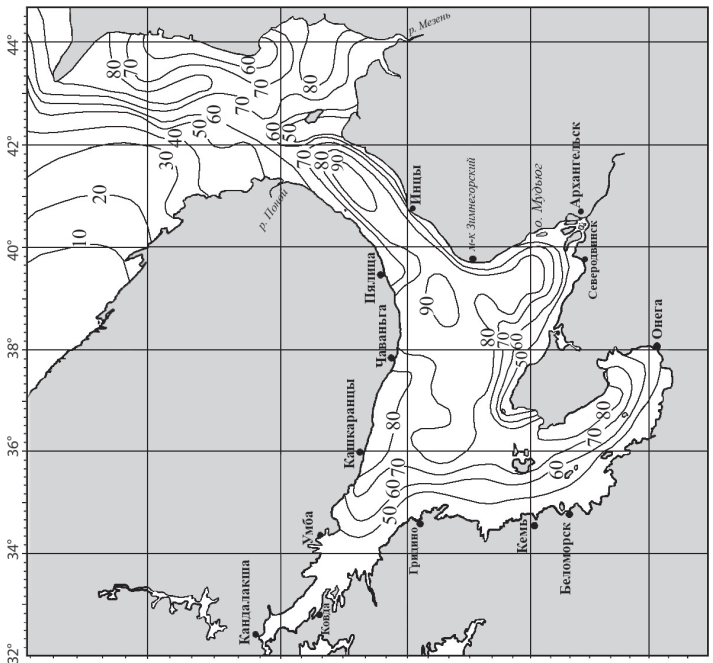
Рис. 3.30. Повторяемость наличия льда в Белом море на середину месяца, рассчитанная по данным ИСЗ за первые 12 лет XXI века.



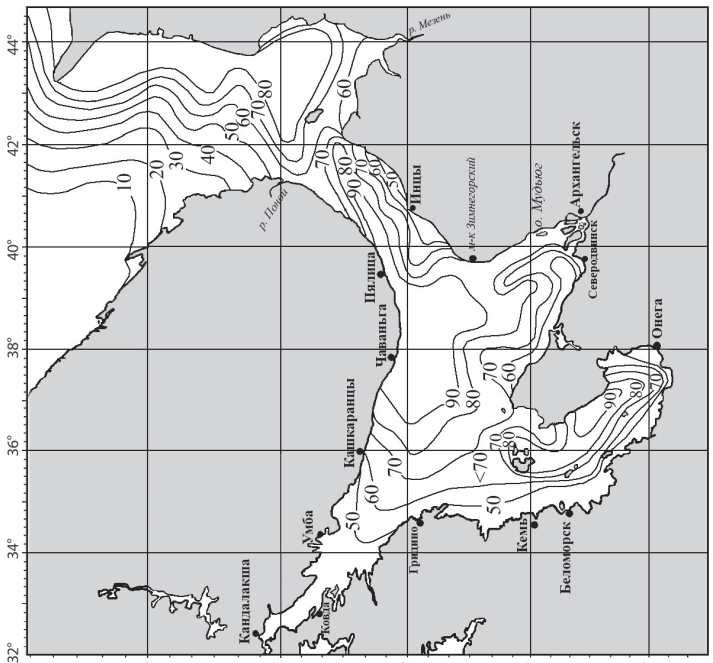
3.31б (январь)



3.31а (декабрь)



3.31г (март)



3.31в (февраль)

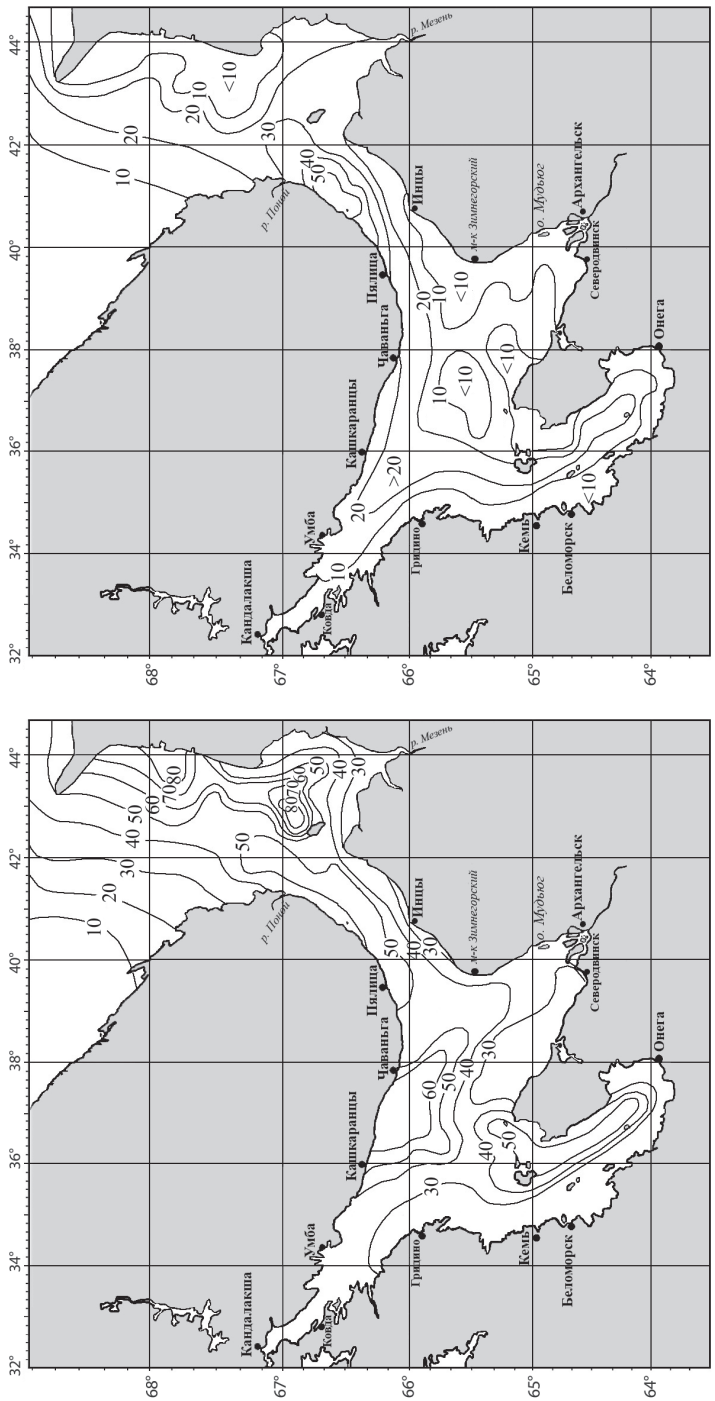
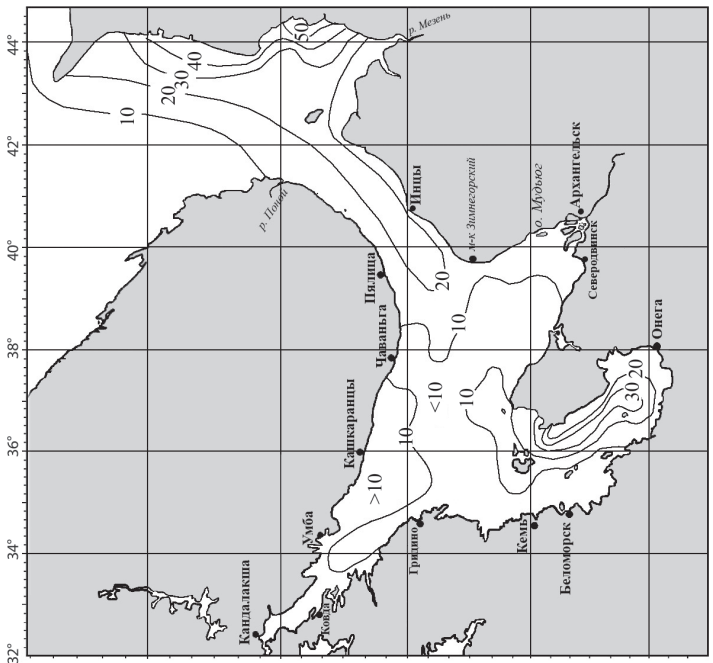
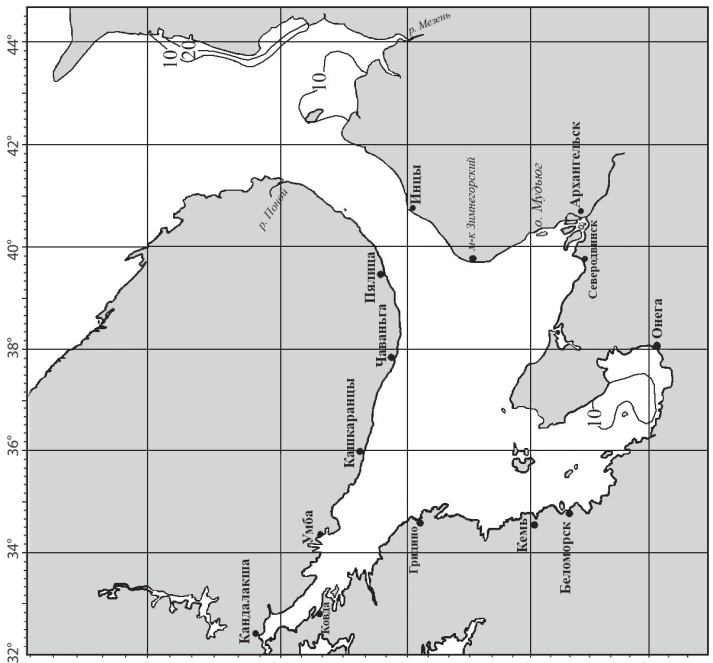


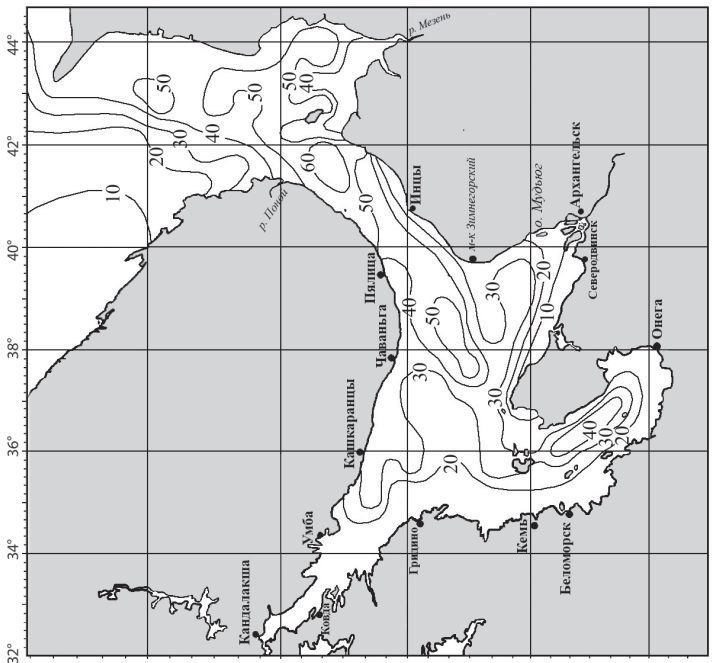
Рис. 3.31. Повторяемость наличия зон 9–10-балльного льда в Белом море на середину месяца, рассчитанная по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века.



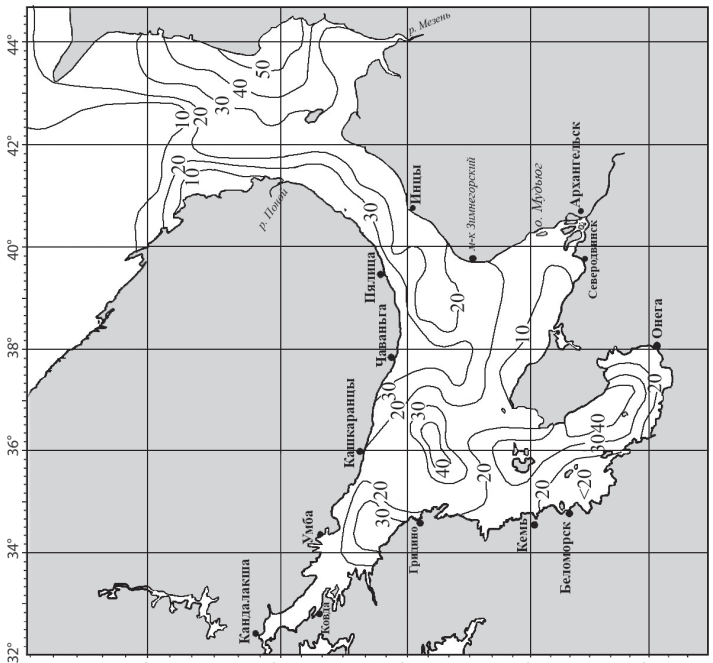
3.32б (январь)



3.32а (декабрь)



3.32г (март)



3.32в (февраль)

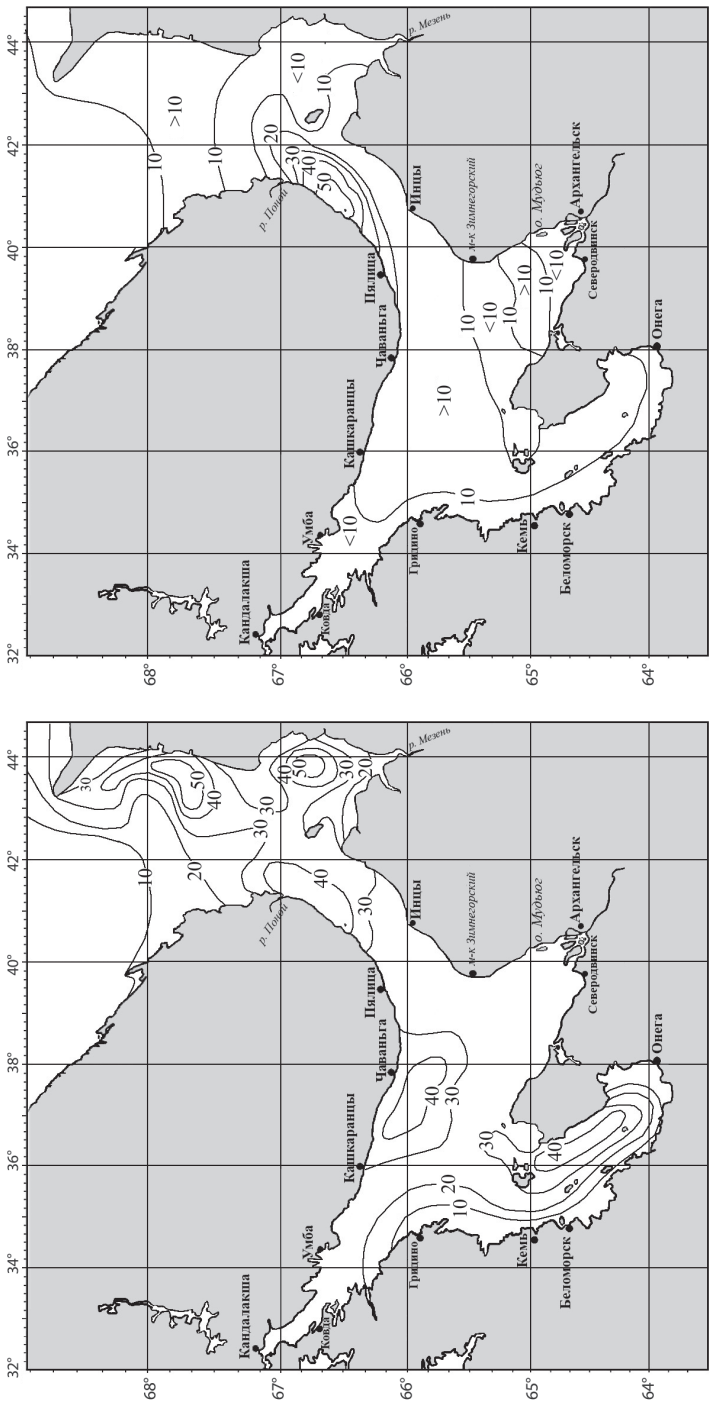


Рис. 3.32. Повторяемость наличия зон 7–10-балльного льда толщиной более 30 см в Белом море на середину месяца, рассчитанная по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века.

Анализ карт на рис. 3.31 и 3.32 подтверждает, что наиболее сложные ледовые условия наблюдаются в Белом море в феврале-марте. В Бассейне и Воронке в это время часть дрейфующего льда достигает стадии тонкого однолетнего (более 30 см). Сплоченность льда почти повсеместно 9–10 баллов. В феврале с большой повторяемостью (больше 40 %) тонкий однолетний лед наблюдался только на северо-востоке Мезенского залива. С повторяемостью 20–40 % такой лед наблюдался в Онежском и Кандалакшском заливах, на севере Бассейна и Горла, в восточных частях Мезенского залива и Воронки (рис. 3.32 в). В середине марта (рис. 3.32 г) значительно выше повторяемость наличия зон тяжелого льда по сравнению с серединой февраля. При этом в западной части моря она составляет менее 25 %, что говорит о начале процессов, предшествующих очищению моря: интенсивность ледообразования идет на спад, а накопление тяжелых льдов в северо-восточной части моря спровоцировано выносом сюда льдов февральского происхождения из южных районов.

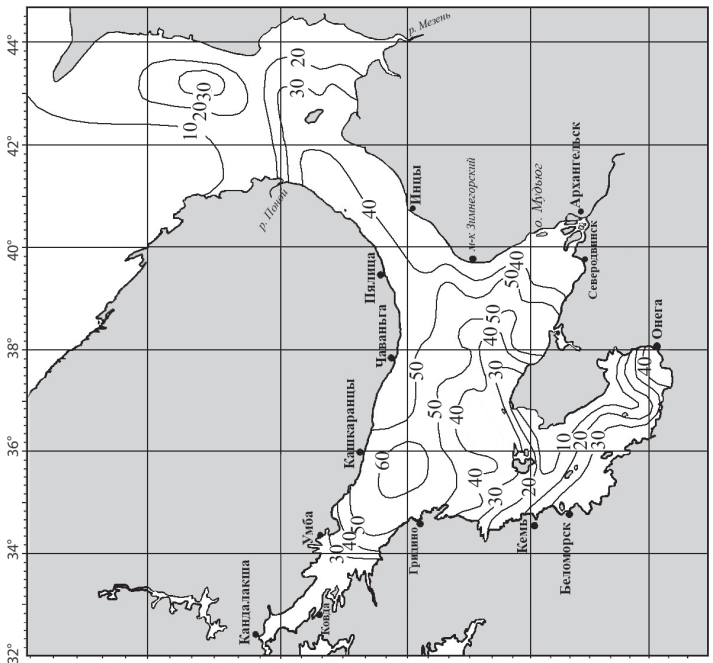
Еще в 30-е гг. XX века один из первых исследователей режима Белого моря А.К. Бурке [16] заметил, что «особенностью ледяного покрова Белого моря является его неспокойное состояние благодаря сильным приливно-отливным течениям». Динамичность районов Белого моря характеризует степень раздробленности дрейфующего льда. Кроме реверсивных приливно-отливных течений на степень раздробленности влияет район нахождения дрейфующего льда (при проталкивании льда через узкое Горло лед интенсивно дробится), ветровой режим, сплоченность льда (дробление и торошение льда происходит преимущественно при сплоченности льда 9–10 баллов), температура воздуха (при более низких температурах образующиеся поля смерзшегося льда более долговечны).

На рис. 3.33 приведены карты распределения повторяемости зон больших и обширных полей в декабре–мае среди присутствующего в это время в море дрейфующего льда.

Анализ карт на рис. 3.33 показывает, что наименее динамичным районом моря по наблюдениям за формами плавучего льда, характеризующими раздробленность ледяного покрова, являются восточная часть Кандалакшского залива, северо-западная часть Бассейна и восточная часть Воронки.

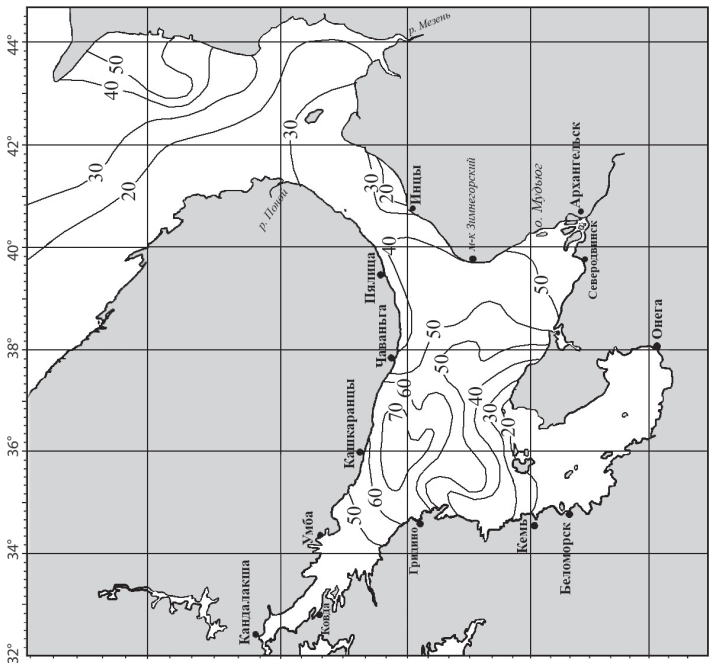
Зоны, соответствующие наименьшей повторяемости (10–30 %) наличия больших полей, – северная часть Онежского залива, Горло, южная часть Воронки, юго-восточная часть Мезенского залива. Эти зоны совпадают с районами максимальной приливной активности. Для них характерны процессы наслоения и торошения льда, а также сжатия, что приводит к проблемам во время ледовых плаваний.

Для мореплавания очень важен учет степени торосистости, поскольку торосистый лед даже на ровных участках более мощный, чем лед при отсутствии торосов. Причем этот эффект проявляется в основном за счет подводных частей торосистых образований.

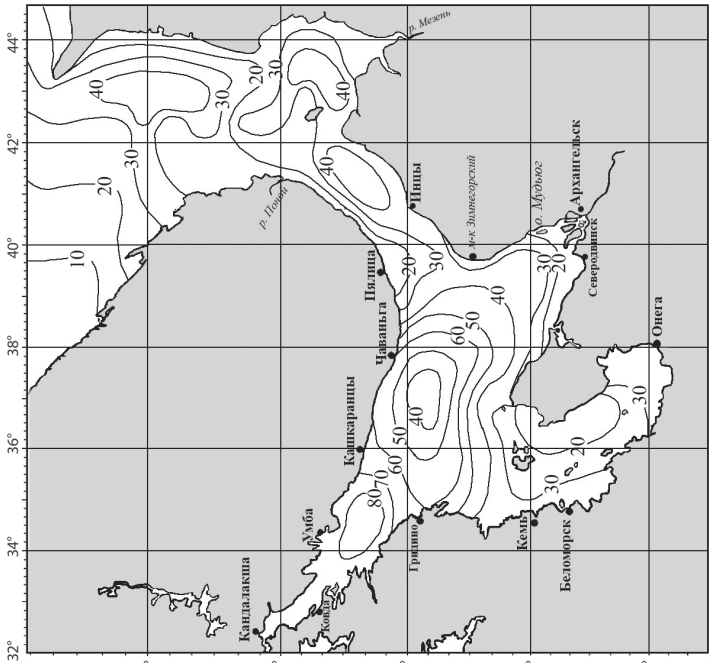


3.33а (декабрь)

3.33б (январь)



3.33г (март)



3.33в (февраль)

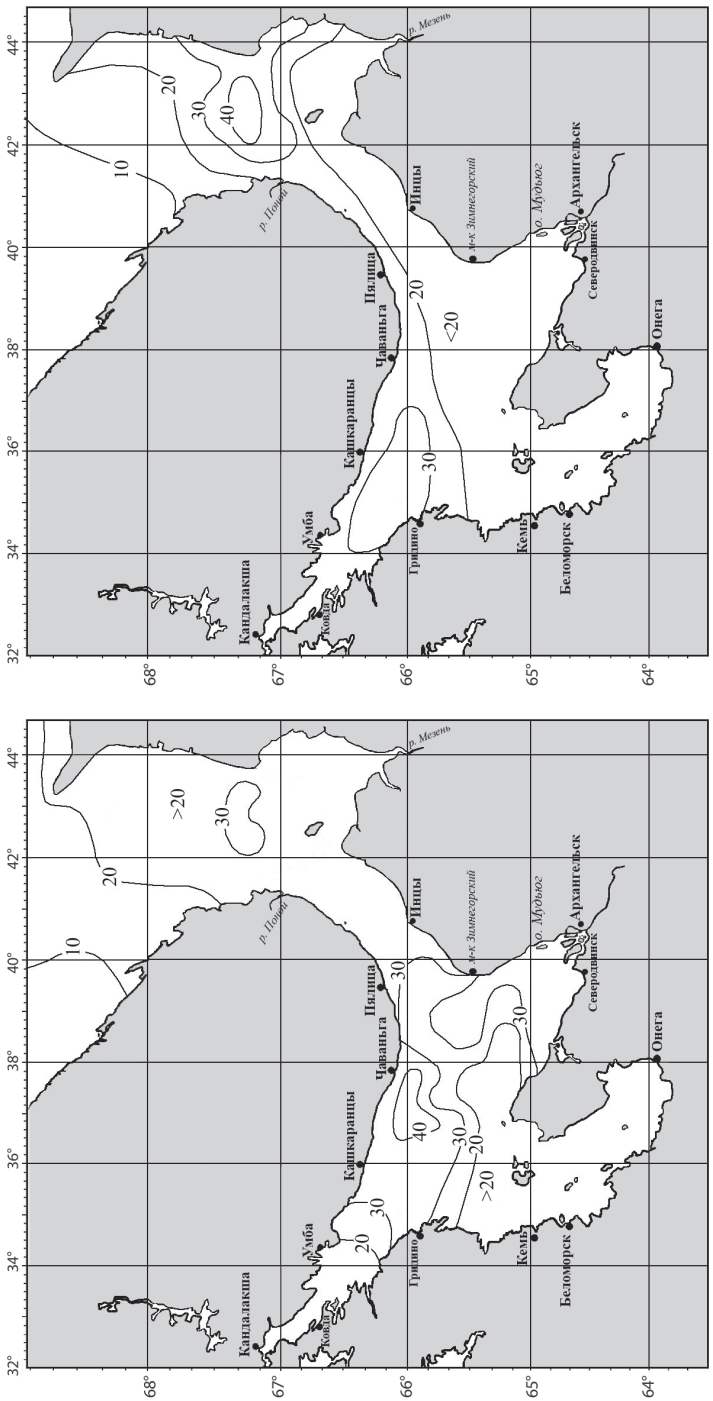
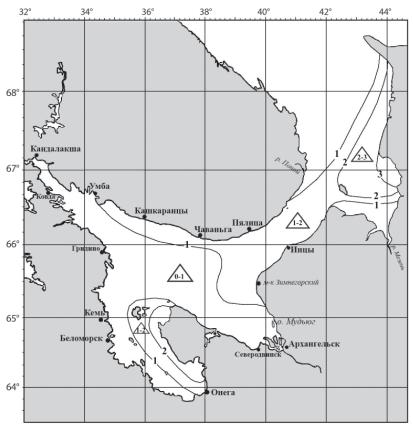


Рис. 3.33. Повторяемость наличия зон больших полей среди дрейфующего льда в Белом море на середину месяца, рассчитанная по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века.

Поскольку для декабря при любом типе зимы в Белом море характерно преобладание начальных видов льда, ниласа и серого льда (толщина льда до 15 см), то есть возрастов льда, не подверженных существенному торошению, то средняя степень торосистости льда в декабре на всей акватории моря не превышает 1 балла. Однако следует иметь в виду, что в зонах льда толщиной менее 15 см под воздействием динамических факторов может происходить наслоение льда, за счет чего толщина льда увеличивается в два раза и более.

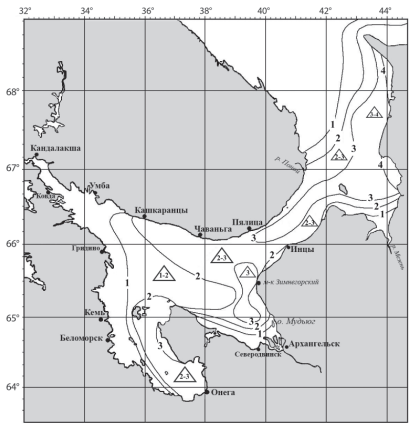
К середине января значительные площади морской акватории заняты серо-белым и тонким однолетним льдом. При достижении сплоченности такого льда – 9–10 баллов начинаются процессы торошения. Ниже приведены карты распределения средних значений степени торосистости в январе–мае в умеренные и мягкие зимы (рис. 3.34).



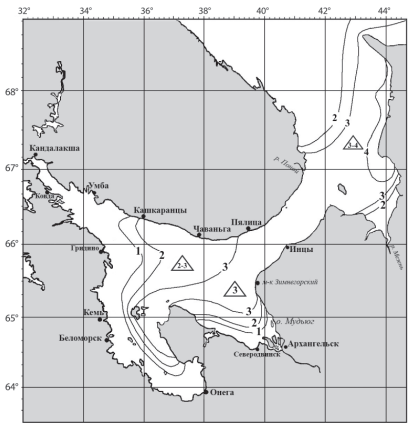
3.34а (январь)



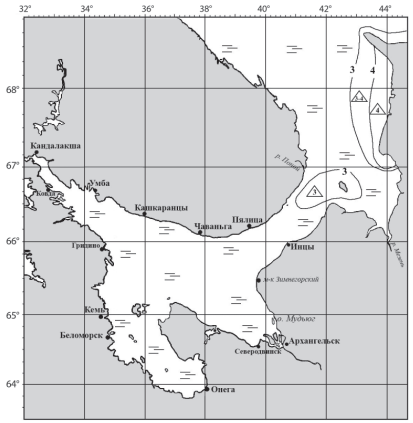
3.34б (февраль)



3.34в (март)



3.34г (апрель)



3.34д (май)

Рис. 3.34. Торосистость льда в Белом море в умеренные и мягкие зимы.

Особенно активно процесс торошения идет на мелководьях, на кромке припая и на стыках больших полей. В декабре–феврале суровых зим среднее месячное распределение значений степени торосистости близко к распределению, представленному на рис. 3.34. В марте зона льда торосистостью 2–3 балла в Воронке сдвигается к северу до параллели 68° 30' вместе с кромкой дрейфующего льда. В апреле несколько увеличивается (по сравнению с рис. 3.34 г) зона льда торосистостью 4 балла в восточной части Воронки, а также наблюдается неширокая зона льда торосистостью 5 баллов в восточной части Мезенского залива (у Конушинского берега). В мае суровых зим (см. рис. 3.20 и 3.21) торосистость в зонах таящего льда в Воронке и на севере Горла моря составляет в среднем 3–4 балла, в Бассейне моря – 2–3 балла.

3.6. Очищение ото льда Белого моря

Процессы разрушения ледяного покрова в Белом море начинаются обычно в начале апреля. Хотя в это время температуры воздуха и воды остаются отрицательными, значительное увеличение поступающей солнечной радиации прекращает процесс ледообразования, и начинаются процессы разрушения льда и очищения моря ото льда. Рис. 3.35 демонстрирует начало очищения Белого моря ото льда в апреле 2010 года.

В апреле ледовитость моря интенсивно уменьшается за счет таяния, появляются зоны разреженного льда, а в мае в нормальные годы образуются обширные зоны чистой воды. Только в Воронке, Мезенском и Кандалакшском заливах к концу мая сохраняется (в виде пятен) дрейфующий лед сплоченностью 4–7 баллов. В отдельные годы ледовитость в мае бывает довольно значительной, а в Воронке, Горле, Мезенском и Кандалакшском заливах лед различной сплоченности сохраняется до июня.

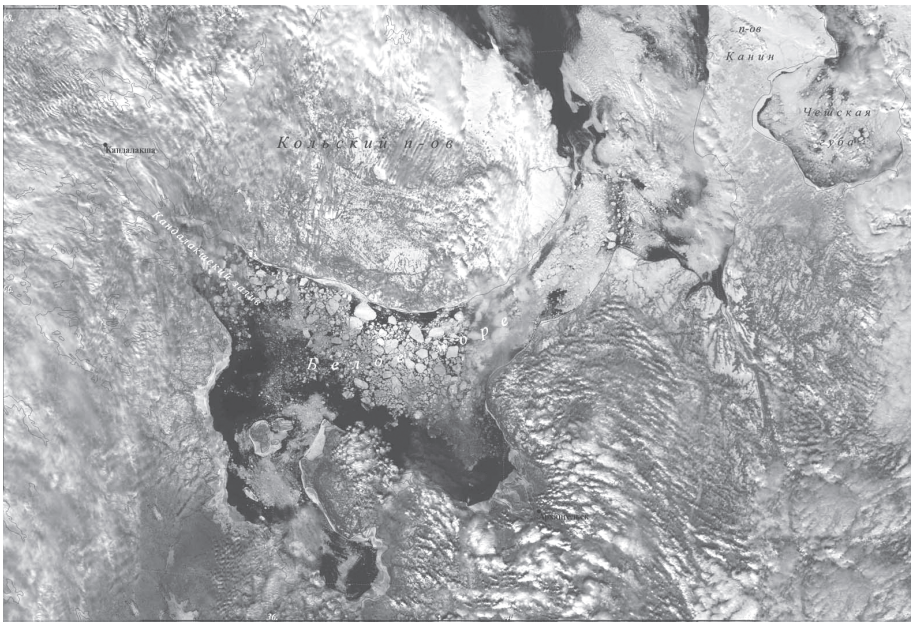


Рис. 3.35. Начало очищения Белого моря ото льда. Апрель 2010 года. Снимок с ИСЗ AQUA (MODIS).

Весенние процессы оказывают влияние не только на уменьшение сплоченности и толщины льда, но и на степень раздробленности. По мере разрежения льда в результате весенних процессов до 5–6 баллов в ледяном покрове начинают преобладать обломки полей и битый лед, а при сплоченности 4 балла и менее преобладает битый лед. В силу того, что при дроблении увеличивается периметр бокового соприкосновения льдин с водой, интенсивность процессов таяния резко повышается.

В конце апреля, как правило, начинает разрушаться припай в Двинском и Онежском заливах. Полное разрушение припая в этих заливах происходит в среднем в первой декаде мая, в вершине Кандалакшского залива – в середине мая. Средние даты окончательного очищения трассовых зон Двинской, Онежский и Кандалакшский заливы – 15–20 мая, Бассейн и Горло моря – 20–25 мая, Воронка – 25–30 мая.

На рис. 3.36–3.38 приведены схемы раннего, среднего и позднего очищения открытых частей Белого моря ото льда.

Раннее очищение моря ото льда происходит в начале мая. При поздних сроках очищения моря ото льда, которым, как правило, предшествует суровая зима, отдельные пятна льда в море могут наблюдаться до конца июня – начала июля.

В апреле на трассе в Горле, Бассейне и Кандалакшском заливе повторяемость наличия льда составляет 60–90 %, а в мае наибольшая повторяемость наличия льда (30–50 %) – в западной части Бассейна, в Кандалакшском и Мезенском

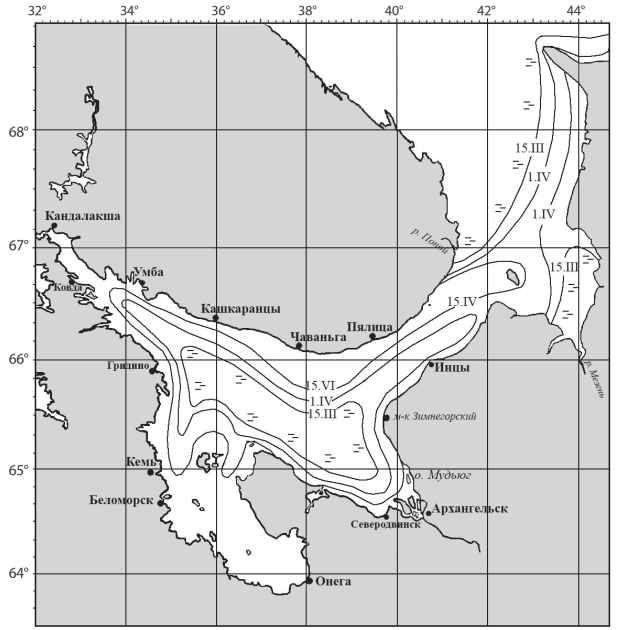


Рис. 3.36. Ранние сроки очищения Белого моря ото льда.

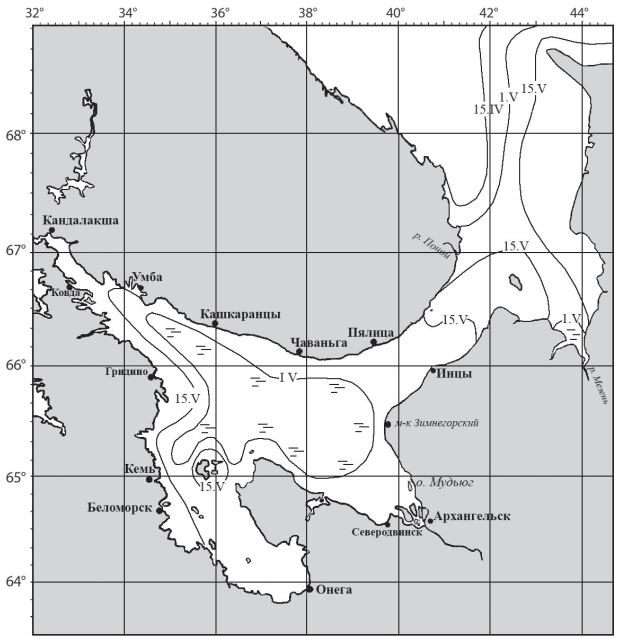


Рис. 3.37. Средние сроки очищения Белого моря ото льда.

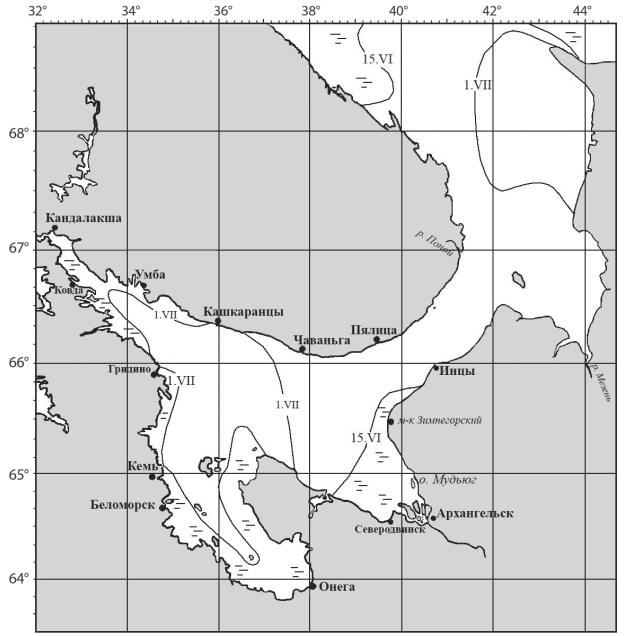


Рис. 3.38. Поздние сроки очищения Белого моря ото льда.

заливах, у Терского берега Горла и в восточной части Бассейна. Предпочтительной для плаванья судов в эти месяцы является обычно восточная часть Горла.

В отдельные годы в Бассейне и в Воронке лед может сохраняться до июня (рис. 3.22 и 3.23). Повторяемость наличия льда 15 июня в районе Соловецкого архипелага составляет 3 %, в районе о. Сосновец в Горле моря – 5 %, в районах о. Моржовец, Абрамовского маяка и м. Канин Нос – 10 %.

3.7. Влияние ледовых процессов на судоходство в Белом море

Дрейфующий ледяной покров является основным фактором, лимитирующим судовождение в этом регионе в зимний период. Учет фактической и ожидаемой ледовой обстановки необходим для обеспечения нормальной работы портов и флота. В связи с этим изучение ледового режима Белого моря приобретает большое научное и прикладное значение. Особое значение учет ледовых условий имеет для решения навигационных вопросов: планирования морских операций в ледовый период, определения сроков начала и конца навигации, прокладки оптимальных курсов плавания с учетом технических возможностей судов и ледоколов. Это приобретает особую актуальность в связи с увеличением грузооборота на судоходных трассах Белого моря, соединяющих Баренцево море (Арктику) с портами Двинского залива (Архангельск, Северодвинск) и Кандалакшского залива (Кандалакша, Витино).

В настоящее время эти порты активно используются в качестве перевалочных пунктов в транспортной системе море – железная дорога как для грузов северного завоза, продукции Норильского комбината, леса из Игарки, так и для углеводородов Тимано-Печоры и Западной Сибири.

Архангельский морской порт работает круглогодично. Ледокольная кампания в порту обычно объявляется в середине ноября, когда активизируется процесс ледообразования на акватории порта. Ледокольная проводка в море начинается в разные сроки: в 2001 г. это произошло 25 января, а в 2002 г. – 5 января.

Ледовая обстановка оказывает серьезное влияние на судоходство в Белом море в зимнее время. Например, в январе 2002 г. под действием ветров северо-западного направления дрейфующим 10-балльным льдом был забит Двинской залив. Особенно тяжелая обстановка сложилась здесь в период с 25 января по 10 февраля, когда десятки судов простаивали в течение нескольких суток в ожидании проводки а/л «Россия».

В январе 2003 г. в Белом море также наблюдалась сложная ледовая ситуация. Ледокол «Диксон» не справлялся с проводкой судов в Архангельск. На кромке в Воронке моря скопилось 9 судов, нуждающихся в ледокольном обеспечении. Только а/л «Советский Союз» справился с данной проблемой. В марте того же года из-за сильного сжатия льдов в Двинском заливе в течение нескольких дней на выход из порта стояли в ожидании проводки 7 судов, а на заход в порт – 4 судна.

В январе-феврале 2006 г. проводками судов в Белом море занимались а/л «Арктика», л/к «Диксон» и л/к «Капитан Драницын». Было проведено более 100 судов, в том числе, ежемесячно проводились 10–12 танкеров с нефтью. В январе-феврале 2011 г. на ледовых трассах Белого моря работал а/л «Ямал».

В режиме круглогодичной навигации работают еще два порта, расположенные в вершине Кандалакшского залива – это порт Кандалакша и порт Витино.

Осуществление зимних операций в настоящее время невозможно без надежного гидрометеорологического и ледового обеспечения судов. В связи с этим особенно важны рекомендации оптимальных маршрутов плаваний по трассам Белого моря, составляемые на основе данных ИСЗ, наблюдений гидрометеорологических станций и климатических представлений, а также оперативные прогнозы погоды и ледовой обстановки в море.

Для планирования морских операций в зимний период важно знать особенности ледового режима моря. Положение трасс различно для разных месяцев ледового периода.

Протяженность ледовой трассы Архангельск – м. Святой Нос в соответствии с традиционным генеральным курсом для февраля-марта составляет 300 морских миль (540 км). Протяженность ледовой трассы Кандалакша – м. Святой Нос составляет 380 миль (684 км).

Карты распределения повторяемости площадных характеристик ледовой обстановки дают возможность уточнить ранее рекомендованные трассы

на основе комплексного учета ледовых условий в море [48, 51]. На примере марта, являющегося для Белого моря наиболее сложным для ледовых плаваний, ниже продемонстрирован принцип прокладки оптимальных курсов с использованием карт повторяемости наличия льда различного возраста и сплоченности (рис. 3.29–3.32).

Основные принципы прокладки вероятностных курсов плавания следующие: ледовое плавание должно осуществляться по зонам наименее толстого и сплоченного льда, при равных ледовых условиях предпочтение отдается кратчайшему маршруту, курс плавания лимитируется глубиной 20 м. Описанные выше карты повторяемости были последовательно совмещены между собой и в соответствии с основными принципами прокладки вероятностных курсов проанализированы на предмет наиболее благоприятных условий плавания в различных районах Белого моря.

На рис. 3.39 представлены традиционные генеральные курсы плавания судов и рекомендации, полученные в результате совмещения карт повторяемости.

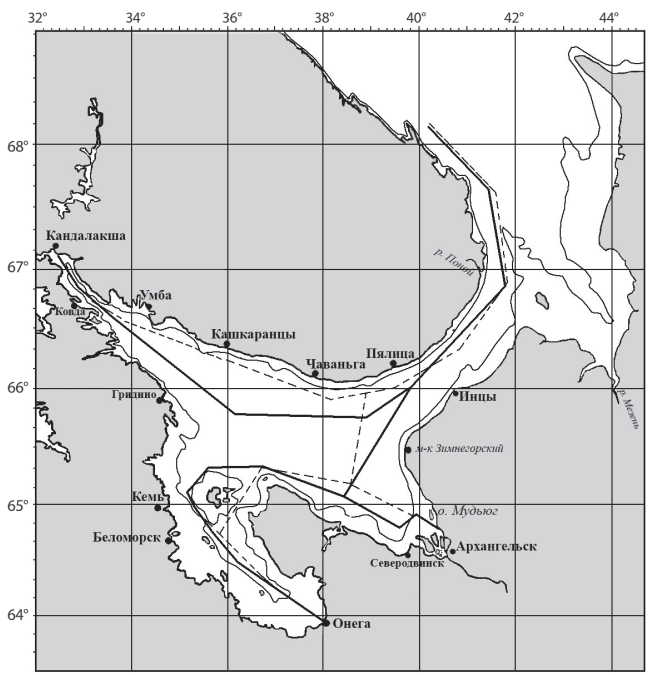
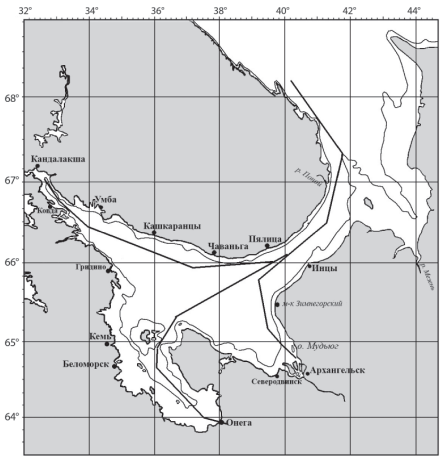
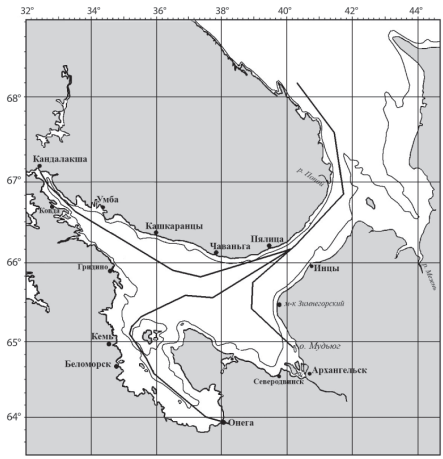


Рис. 3.39. Традиционные генеральные курсы плавания судов (пунктир) и вероятностные рекомендации для судоходства в Белом море в марте (жирная линия): тонкая сплошная линия – изобата 20 м.

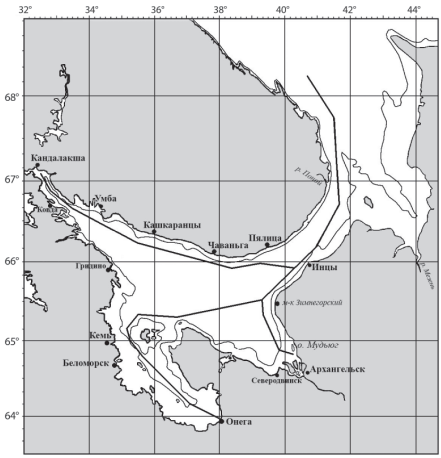
На рис. 3.40 (а–е) – вероятностные рекомендованные курсы для декабря–мая.



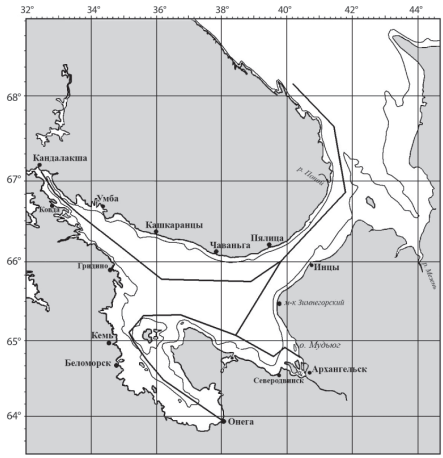
3.40а (декабрь)



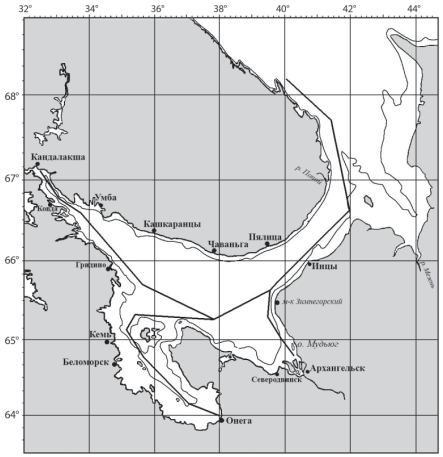
3.40б (январь)



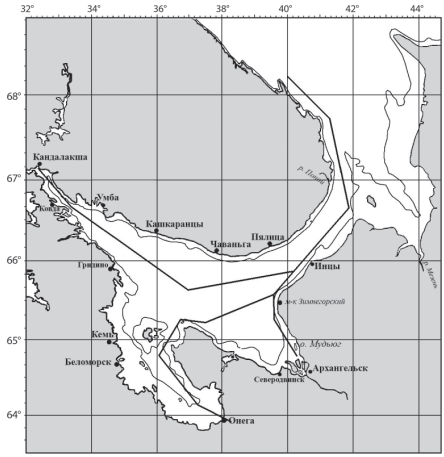
3.40в (февраль)



3.40г (март)



3.40д (апрель)



3.40е (май)

Рис. 3.40. Вероятностные рекомендации для декабря–мая:
тонкая линия – изобата 20 м; жирная линия – вероятностный курс.

В результате прокладки вероятностных курсов для всех месяцев ледового сезона было установлено, что традиционные рекомендованные курсы не отличаются кардинально от вероятностных. И это не удивительно: первые были проложены на основе качественного анализа (практического опыта), а вторые – на основе количественного анализа (повторяемостей ледовых характеристик), при этом и те и другие преследовали одну цель: показать судоводителю наиболее безопасный путь во льдах при условии наименьших затрат времени и горючего. Вероятностные курсы, таким образом, позволяют предложить частные рекомендации по корректировке генеральных курсов.

Следование судов мористее 20-метровой изобаты в ледовый период предпочтительно, поскольку проблемы для движения даже мелкосидящих судов в зоне 20-метровой изобаты могут создать беломорские стамухи (рис. 3.41).

Н.Н. Зубов в монографии «Льды Арктики» упоминает отдельные особенности ледового режима Белого моря, выходя далее на обобщения, касающиеся динамики дрейфующего ледяного покрова Арктики [58]. В частности, именно на примере Белого моря описывается образование приливно-отливных разрежений и сжатий льда, которые, накладываясь на режим течений и преобладающих ветров, провоцируют образование квазипостоянных зон преобладания сплоченных либо разреженных льдов.

Наличие таких зон в 30-е гг. прошлого века определил А.К. Бурке [16]. Зоны очень сплоченных льдов называются (по местному выражению) «колоба» – в случае расположения у берега и «остроги» – в случае расположения в мористых районах. Зоны разрежений называются «разделами». Крупный колоб, по А.К. Бурке, расположен в устье р. Поной (Понойский колоб); остроги – севернее о. Моржовец (Поперечная), между о. Моржовец и устьем р. Поной

(Глубничная), к востоку от м. Городецкий (Панфиловская), к северо-западу от о. Жижгин (Жижгинская); разделы – в центральной части Горла, на северном подходе к Горлу, у м. Конушин (рис. 3.41).

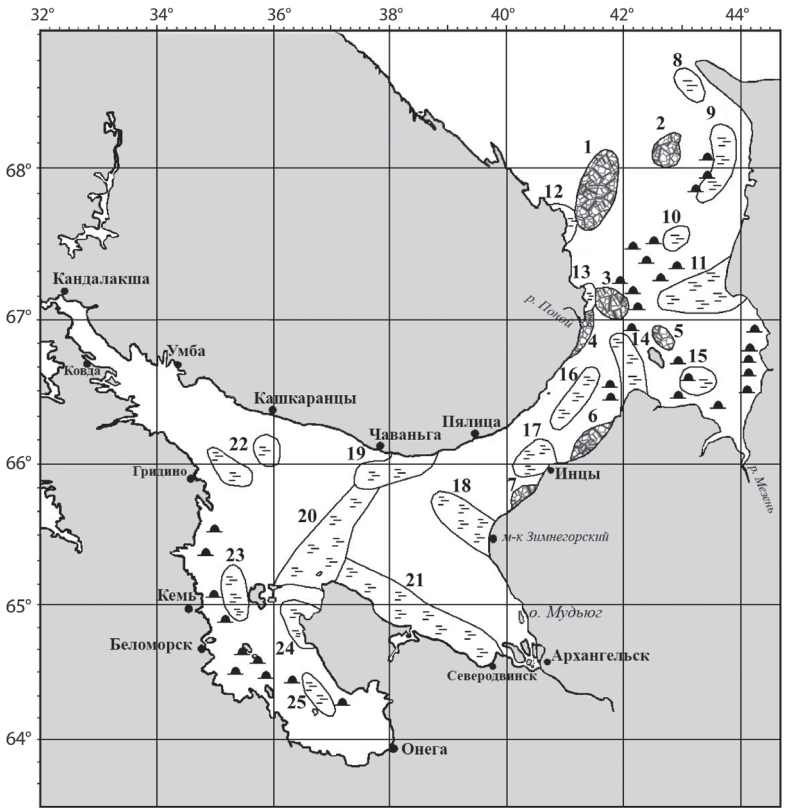
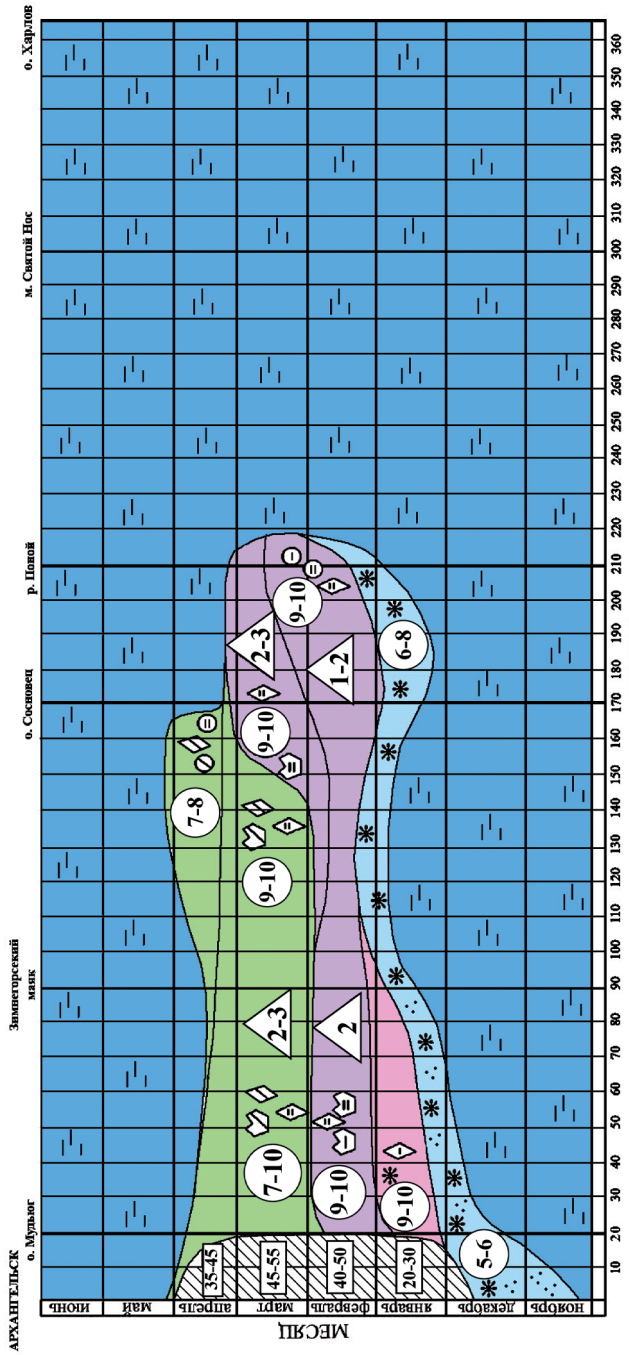
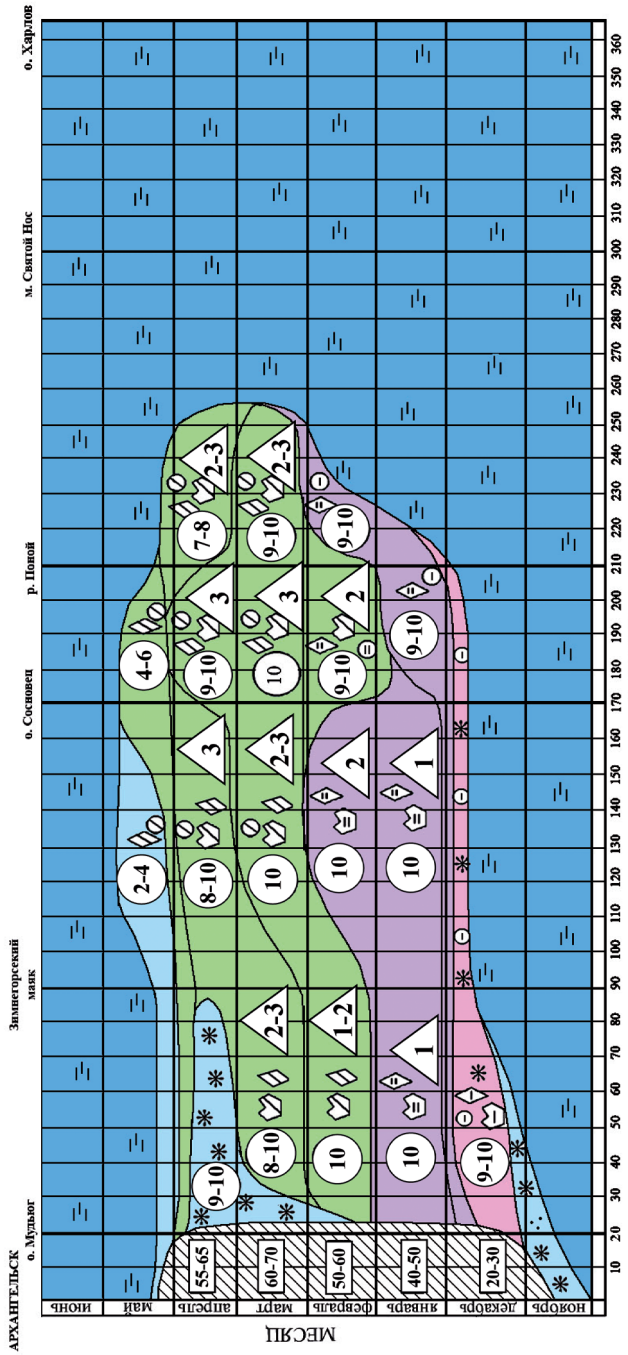


Рис. 3.41. Стамухи, колоба и остроги, разделы и устойчивые разводья:
1 – Панфиловская острога; 2 – Срединная острога; 3 – Глубничная острога; 4 – Понойский колоб; 5 – Поперечная острога; 6 – Мегорская острога; 7 – Золотицкий колоб; 8 – Канинский раздел; 9 – Шойнинский раздел; 10 – Малый Конушинский раздел; 11 – Большой Конушинский раздел; 12 – Городецкий раздел; 13 – Терско-Орловский раздел; 14 – Моржовецкий раздел; 15 – Абрамовские разводья; 16 – Сосновские разводья; 17 – Инецкий раздел; 18 – Поперечный раздел; 19 – Тетринский раздел; 20 – Жижгинские разводья; 21 – Унские разводья; 22 – Нахконицкие разводья; 23 – Соловецкие разводья; 24 – Летне-Орловский раздел; 25 – Лямицкий раздел.

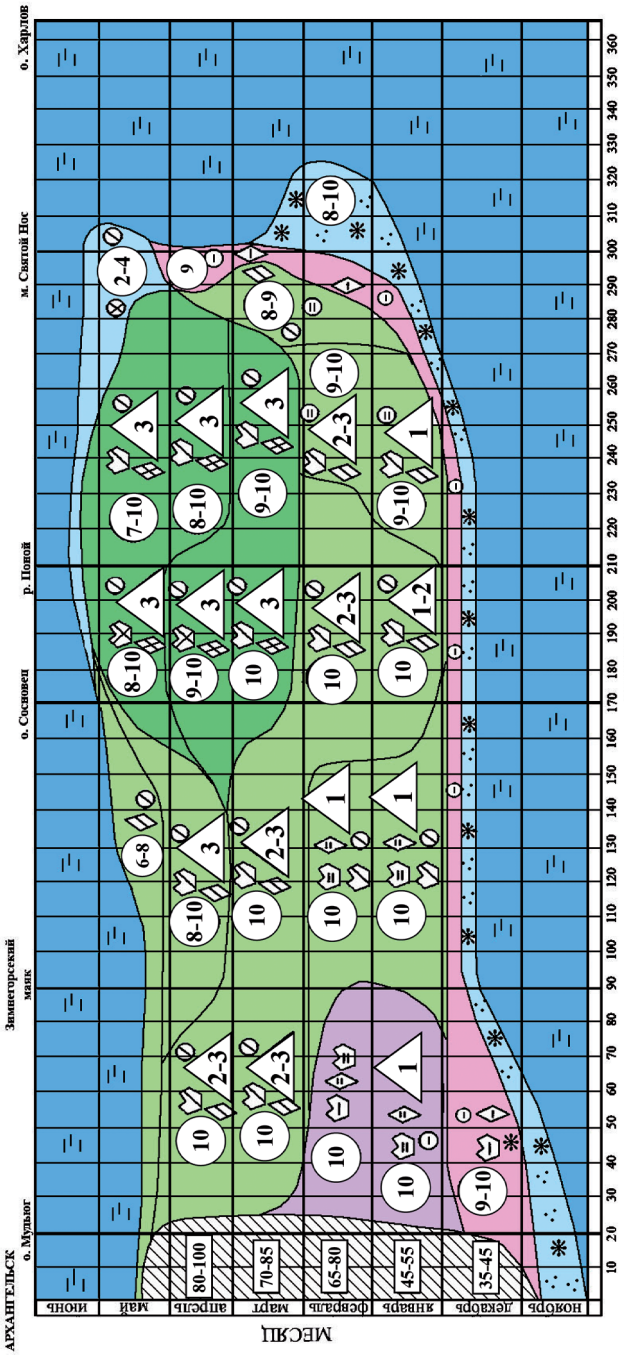
На рис. 3.42 (а–г) представлены графики типичных ледовых условий на трассе Архангельск – Воронка Белого моря в мягкую зиму (а), в умеренную зиму (б), в суровую зиму (в) и в самую суровую зиму 1965/1966 гг. (г). Протяженность трассы – 300 миль.


АРХАНГЕЛЬСК
о. Мудьюг
Зимнеторский маяк
о. Сосновец
р. Поной
м. Святой Нос
о. Харлов
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360
морские мили
МЕСЯЦ
ноябрь
декабрь
январь
февраль
март
апрель
май
июнь
35-45
45-55
40-50
20-30
5-6
9-10
7-10
9-10
2
2-3
9-10
7-8
9-10
1-2
2-3
9-10
6-8

3.42а


АРХАНГЕЛЬСК
о. Мудьюг
Зимнегорский маяк
о. Сосновец
р. Поной
м. Святой Нос
о. Харлов
МЕСЯЦ
июнь
май
апрель
март
февраль
январь
декабрь
ноябрь
55-65
60-70
50-60
40-50
20-30
морские мили
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360

3.426


АРХАНГЕЛЬСК
о. Мудьюг
Зимнегорский маяк
о. Сосновец
р. Поной
м. Святой Нос
о. Харлов
МЕСЯЦ
июнь
май
апрель
март
февраль
январь
декабрь
ноябрь
80-100
70-85
65-80
45-55
35-45
морские мили
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360

3.42в

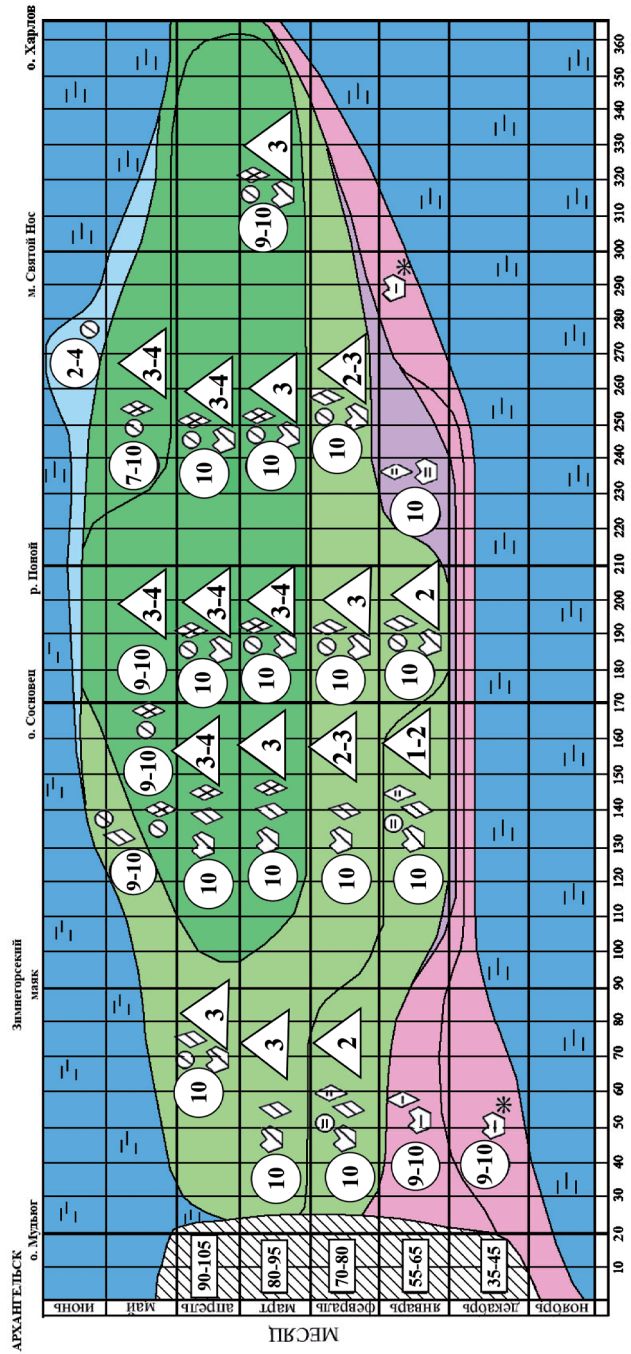


Рис. 3.42. Графики типичных ледовых условий в мягкую зиму (а), в умеренную зиму (б), в суровую зиму (в) и в самую суровую зиму (г) на трассе Архангельск – Воронка Белого моря.

В табл. 3.20 приведена средняя протяженность ледовых зон на трассе Архангельск – Воронка Белого моря (м. Святой Нос). Анализ таблицы показывает, что в момент максимального распространения льда в феврале-марте протяженность ледового плавания на трассе Архангельск – Воронка Белого моря составляет: в мягкую зиму – 220 миль, в умеренную зиму – 250–260 миль, в суровую зиму – 300 миль (вся трасса покрыта льдом). В середине мая протяженность ледового плавания на трассе Архангельск – Воронка Белого моря составляет: после мягких зим – 0 миль, после умеренных зим – 100 миль, после суровых зим – 180 миль, после самой суровой зимы – 220 миль.

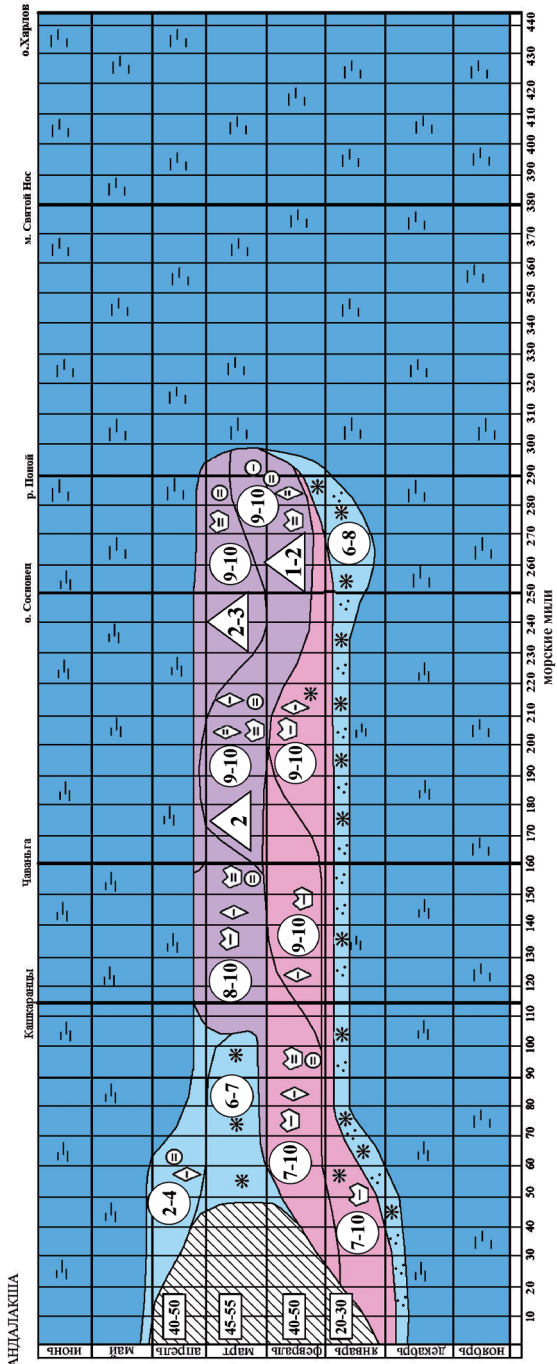
Таблица 3.20

Протяженность ледовых зон на трассе Архангельск – м. Святой Нос (мили)

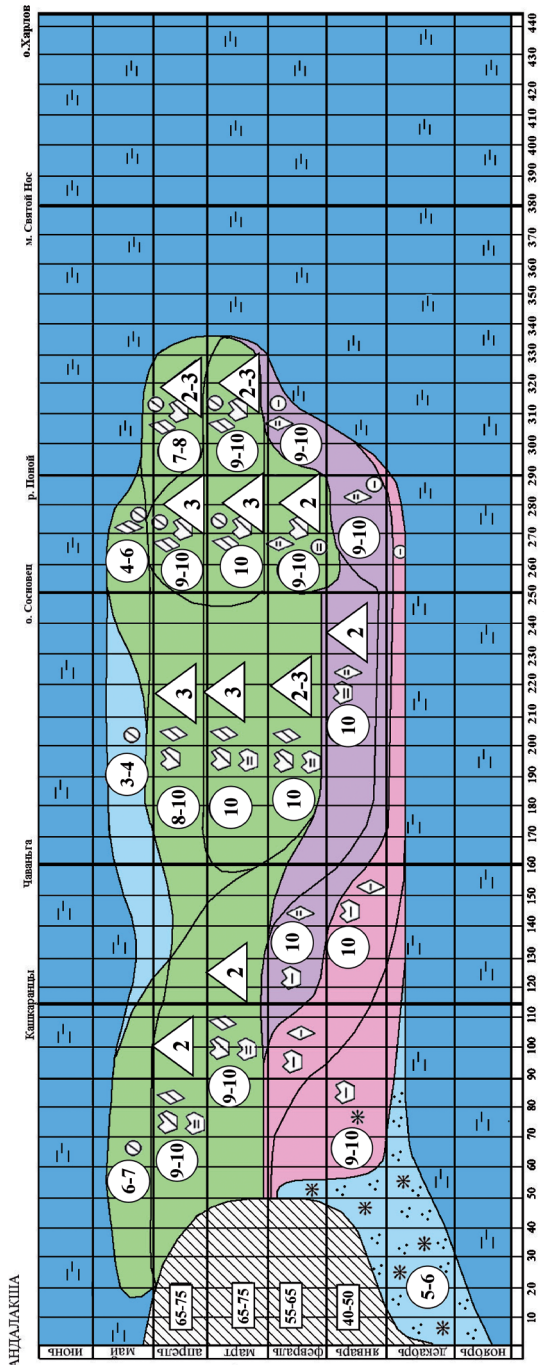
Характеристика зоны	Месяцы									
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
Мягкая зима										
Чистая вода	300	285	275	170	80	80	165	300	300	300
Нилас и начальные виды льда	–	15	25	110	10	–	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Серо-белый и серый лед	–	–	–	–	190	70	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	–	–	130	120	–	–	–
Припай в Двинском заливе	–	–	–	20	20	20	15	–	–	–
Ледовая зона	**0**	**15**	**25**	**130**	**220**	**220**	**135**	**0**	**0**	**0**
Умеренная зима										
Чистая вода	300	280	220	78	48	45	43	200	300	300
Нилас и начальные виды льда	–	20	–	–	–	13	60	–	–	–
Серый лед и нилас	–	–	60	–	–	–	–	–	–	–
Серо-белый и серый лед	–	–	–	40	20	–	–	–	–	–
Серо-белый лед	–		–	160	70	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	–	50	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	–	90	220	175	50	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–	–	50	–	–
Припай в Двинском заливе	–	–	20	22	22	22	22	–	–	–
Ледовая зона	**0**	**20**	**80**	**222**	**252**	**255**	**257**	**100**	**0**	**0**

Характеристика зоны	Месяцы									
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
Суровая зима										
Чистая вода	300	270	210	0	0	0	0	120	250	300
Нилас и начальные виды льда	–	30	10	18	–	–	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	–	60	20	16	6	16	–	–	–
Серо-белый и серый лед	–	–	–	70	70	–	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	120	100	20	–	–	–	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	50	90	130	140	50	–	–
Однолетний лед средней толщины и тонкий однолетний лед	–	–	–	–	–	120	120	100	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–	–	30	50	–
Припай в Двинском заливе	–	–	20	22	24	24	24	–	–	–
Ледовая зона	**0**	**30**	**90**	**300**	**300**	**300**	**300**	**180**	**50**	**0**
Самая суровая зима										
Чистая вода	300	270	210	0	0	0	0	80	210	300
Нилас и начальные виды льда	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	30	70	98	–	–	–	–	–	–
Серо-белый и серый лед	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	–	–	40	6	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	80	60	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	60	210	76	76	40	–	–
Однолетний лед средней толщины и тонкий однолетний лед	–	–	–	–	–	200	200	170	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–	–	10	90	–
Припай в Двинском заливе	–	–	20	22	24	24	24	–	–	–
Ледовая зона	**0**	**30**	**90**	**300**	**300**	**300**	**300**	**220**	**90**	**0**

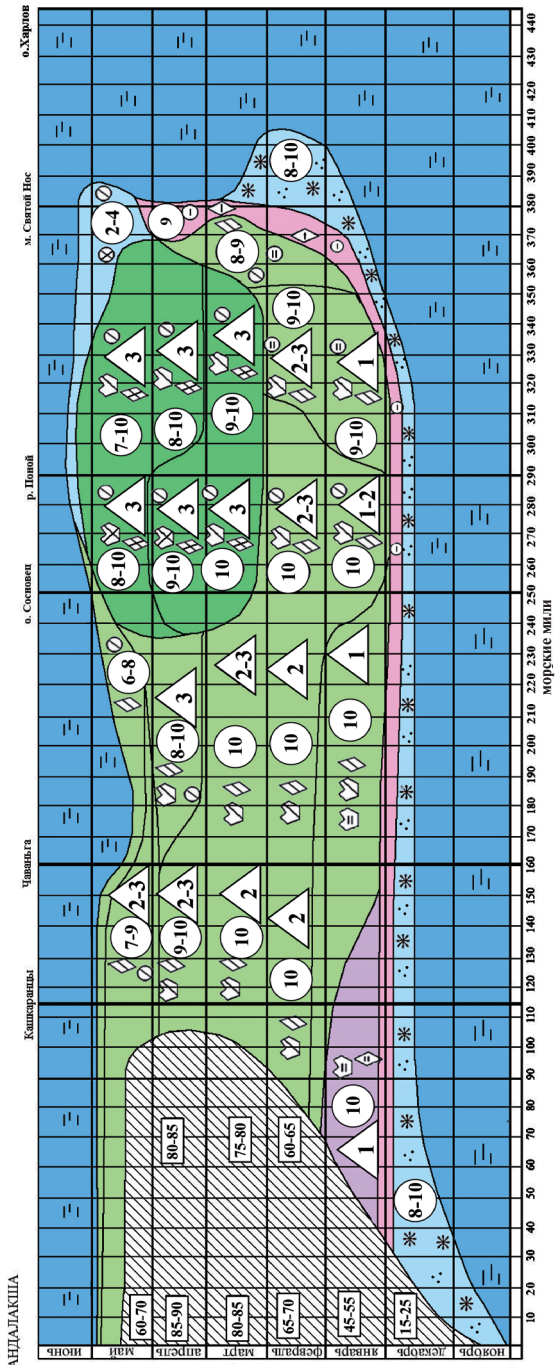
В середине июня после мягкой и умеренной зим на трассе Архангельск – Воронка Белого моря – чистая вода. После суровых зим возможна встреча судов с пятнами льда на участке трассы протяженностью 50–90 миль (в северной части Горла – южной части Воронки моря), на остальных участках трассы – чистая вода. На рис. 3.43 (а–г) представлены графики типичных ледовых условий на трассе Кандалакша – Воронка Белого моря в мягкую зиму (а), в умеренную зиму (б), в суровую зиму (в) и в самую суровую зиму 1965/1966 гг. (г). Протяженность трассы – 380 миль.


КАНДАЛАКША
Кандалакша
Чаванья
о. Сосновец
р. Поной
м. Святой Нос
о.Харлов
МЕСЯЦ
ноябрь
декабрь
январь
февраль
март
апрель
май
июнь
40-50
45-55
40-50
20-30
2-4
6-7
7-10
8-10
2
2-3
1-2
9-10
6-8
морские мили

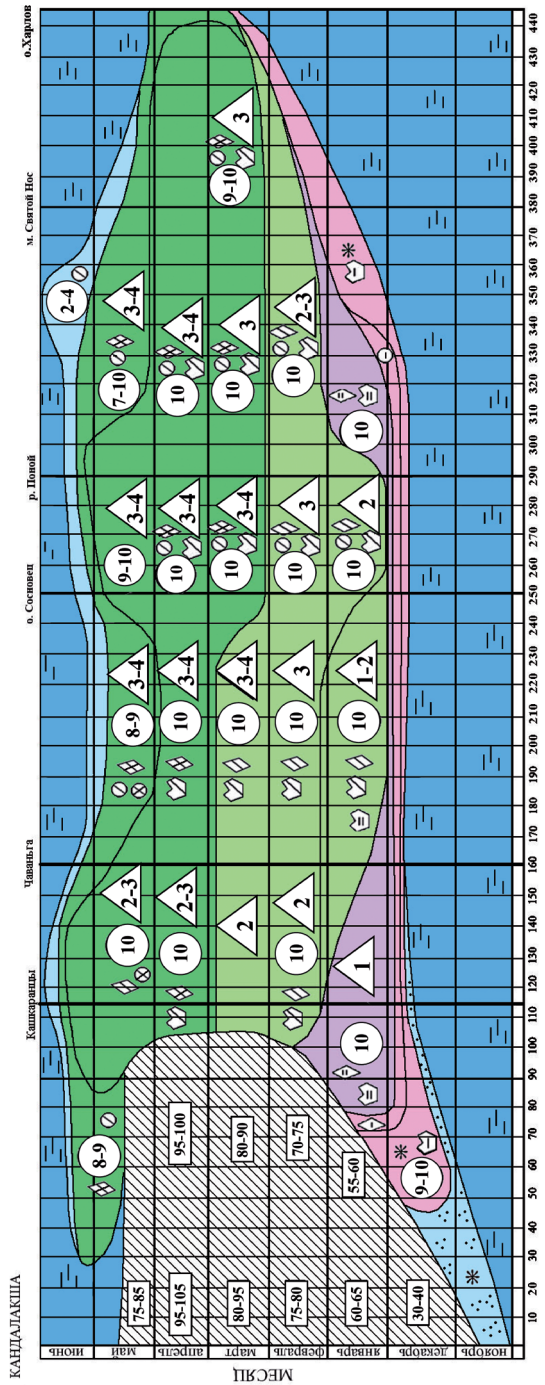
3.43а


КАНДАЛАКША
Кашкаранцы
Чаваньга
о. Сосновец
р. Поной
м. Святой Нос
о.Харлов
МЕСЯЦЫ
ноябрь
декабрь
январь
февраль
март
апрель
май
июнь
65-75
65-75
55-65
40-50
5-6
морские мили
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360 370 380 390 400 410 420 430 440

3.436


КАНДАЛАКША
Кашкаранцы
Чаваньга
о. Сосновец
р. Поной
м. Святой Нос
о.Харлов
МЕСЯЦ
июнь
май
апрель
март
февраль
январь
декабрь
ноябрь
60-70
85-90
80-85
75-80
65-70
60-65
45-55
15-25
морские мили

3.43в



3.43г

Рис. 3.43. График типичных ледовых условий в мягкую зиму (а), в умеренную зиму (б), в суровую зиму (в) и в самую суровую зиму (г) на трассе Кандалакша – Воронка Белого моря.

В табл. 3.21 приведена средняя протяженность ледовых зон на трассе Кандалакша – Воронка Белого моря (м. Святой Нос). Анализ таблицы показывает, что в момент максимального распространения льда в феврале-марте протяженность ледового плавания на трассе Кандалакша – Воронка Белого моря составляет: в мягкую зиму – 300 миль, в умеренную зиму – 330–340 миль, в суровую зиму – 380 миль (вся трасса покрыта льдом).

Таблица 3.21

Протяженность ледовых зон на трассе Кандалакша – Святой Нос (мили)

Характеристика зоны	Месяцы									
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
Мягкая зима										
Чистая вода	380	380	380	275	80	80	300	380	380	380
Нилас и начальные виды льда	–	–	–	50	10	50	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	–	–	40	120	–				–
Серо-белый и серый лед	–	–	–	–	130	130	–	–	–	–
Серо-белый лед	–					70				–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–	50	–	–	–
Припай в Кандалакшском заливе	–	–	–	15	40	50	30	–	–	–
Ледовая зона	**0**	**0**	**0**	**105**	**300**	**300**	**80**	**0**	**0**	**0**
Умеренная зима										
Чистая вода	380	365	310	78	48	45	43	150	380	380
Нилас и начальные виды льда	–	15	–	30	12	–	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	–	60	90	60	–	–	–	–	–
Серо-белый и серый лед	–	–	–	50	60	–	–	–	–	–
Серо-белый лед	–		–	90	30	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	–	120	190	100	–	–	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	–	–	95	200	90	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–	–	140	–	–
Припай в Кандалакшском заливе	–	–	10	42	50	50	37	–	–	–
Ледовая зона	**0**	**15**	**70**	**302**	**332**	**335**	**337**	**230**	**0**	**0**
Суровая зима										
Чистая вода	380	360	310	0	0	0	0	50	330	380
Нилас и начальные виды льда	–	20	50	18	–	–	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	–	–	20	16	6	16	–	–	–

Характеристика зоны	Месяцы									
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
Серо-белый и серый лед	–	–	–	80	–	–	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	–	–	–	–	20	–	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	160	80	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	50	200	130	140	100	–	–
Однолетний лед средней толщины и тонкий однолетний лед	–	–	–	–	–	120	120	105	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–	–	30	50	–
Припай в Кандалакшском заливе	–	–	20	52	84	104	104	95	–	–
Ледовая зона	**0**	**30**	**70**	**380**	**380**	**380**	**380**	**330**	**50**	**0**
Самая суровая зима										
Чистая вода	380	350	285	0	0	0	0	0	270	380
Нилас и начальные виды льда	–	30	30	–	–	–	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–		30	50	–	–	–	–	–	–
Серо-белый и серый лед	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	–	–	110	20	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	90	–	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	60	260	140		–	–	–
Однолетний лед средней толщины и тонкий однолетний лед	–	–	–	–	–	136	276	–	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–	–	285	110	–
Припай в Кандалакшском заливе	–	–	35	70	100	104	104	95	–	–
Ледовая зона	**0**	**30**	**95**	**380**	**380**	**380**	**380**	**380**	**110**	**0**

В середине мая протяженность ледового плавания на трассе Кандалакша – Воронка Белого моря составляет: после мягких зим – 0 миль, после умеренных зим – 230 миль, после суровых зим – 330 миль, после самой суровой зимы – 380 миль.

В середине июня после мягкой и умеренной зим на трассе – чистая вода. После суровых зим в июне возможна встреча судов с пятнами льда на участке трассы протяженностью 50–110 миль (в районе Кашкаранцы – Чаваньга, а также в северной части Горла – южной части Воронки моря), на остальных участках трассы – чистая вода.

3.8. Ледовые условия в портах Белого моря

Архангельск

Географические координаты порта: 64°33′ с.ш., 40°32′ в.д.

Порт Архангельск расположен в дельте реки Северная Двина. Северная Двина судоходна и в период летней навигации служит в качестве водного пути, связывающего Архангельск с внутренними, удаленными от моря, районами России. На речных акваториях, прилегающих к Архангельску, расположены причалы морского торгового, речного, лесного и рыбного портов, нефтяных терминалов, морского и речного пассажирского вокзала, предприятий лесообрабатывающей, целлюлозно-бумажной, судоремонтной и других видов промышленности (всего 123 причала общей протяженностью 17,1 км, расположенных на левом и правом берегах реки Северная Двина). Расстояние от приемного буя до наиболее удаленных причалов составляет около 80 км. К причалам ведет несколько речных фарватеров.

Морской торговый порт состоит из трех удаленных друг от друга погрузочно-разгрузочных районов – Экономия, Левый берег и Бакарица. Общая протяженность его причалов – 3,3 км. На них перегружаются целлюлоза, картон, лесоматериалы, химические грузы, металл, строительные грузы, контейнеры, уголь, продовольственные грузы. Принимаются к обработке суда с осадкой до 7–9 м.

Речной порт включает три грузовых района: центральный («Жаровиха»), левый берег и район минерально-строительных грузов («Сенобаза»). *Лесной порт* расположен на о. Бревенник на правом берегу Корабельного рукава. Он носит название Маймаксанский лесной порт. В его состав входят 5 причалов. *Рыбный порт* расположен в устье протоки реки Соломбалки, на ее правом берегу. В его состав входит один железобетонный причал длиной 100 м, глубина у причала 7 м.

Нефтетерминалы. На акватории, примыкающей к Архангельску, расположены два нефтеналивных терминала: нефтебазы «Новоархангельская» и «Глухое». На них осуществляется налив нефтегрузов в морские и речные танкеры. Принимаются суда с осадкой до 6–9 м.

Объединенный морской – речной вокзал (ОМРВ) расположен в черте города на правом берегу реки Северная Двина на расстоянии 32 миль от приемного буя. Принимает морские и речные пассажирские суда дальнего следования с осадкой до 6,5 м и длиной до 160 м.

С замерзанием р. Северной Двины в Архангельске начинается зимняя навигация. Первое появление льда в районе порта происходит в среднем в конце октября. Самое раннее появление льда в районе порта отмечено 9 октября 1883 г., а самое позднее – 1 декабря 2005 года. Устойчивое ледообразование начинается в среднем 4 ноября. Обычно во второй половине ноября происходит полное замерзание порта.

Максимальной за зиму толщины лед достигает в конце марта (в среднем 60–70 см). Максимальная толщина льда в районе порта – 100–105 см.

Средняя дата взлома льда в районе дельты Северной Двины – 4 мая. Окончательное очищение акватории порта происходит в среднем 9 мая, при экстремальных сроках: раннее очищение в Архангельске – 22 апреля 1951 г., в районе о. Мудьюг – 26 апреля 1921 г.; позднее очищение в Архангельске – 26 мая 1941 г., в районе о. Мудьюг – 8 июня 1918 года. Продолжительность ледового периода на акватории порта от первого появления льда до окончательного очищения в среднем составляет 189 дней в районе Архангельска, изменяясь от 155 дней (2005/2006 гг.) до 223 дней (1883/1884 гг.), и 197 дней в районе о. Мудьюг, изменяясь от 152 дней (2005/2006 гг.) до 230 дней (1977/1978 гг.).

За последнее 30-летие сроки ледообразования и замерзания в порту Архангельск сдвинулись на 6–7 дней в сторону более поздних дат, по сравнению со средними многолетними данными. Сроки разрушения припая и полного очищения акватории порта ото льда сдвинулись на 3–4 дня в сторону более ранних дат. Средняя продолжительность ледового сезона составила 182 дня в районе Архангельска и 187 дней – в районе о. Мудьюг, сократившись, по сравнению со средней многолетней продолжительностью, на 7–10 дней.

Следует отметить, что сроки очищения порта ото льда в последние десятилетия зависят не только от климатических процессов, но и от весенних ледокольных компаний по взлому и спуску льда в устьевом районе р. Северная Двина.

Онега

Географические координаты порта: 63°55′ с.ш., 38°05′ в.д.

Порт Онега – небольшой северный порт России, расположенный в 7 км от устья реки Онега, впадающей в вершину Онежского залива Белого моря. Онежский морской порт был открыт в 1781 г. и считался вплоть до начала XX века самым крупным центром лесопиления. Основу грузооборота составляют пиломатериалы. Переработанный лес отправляется за границу и на внутренний рынок. Возможна перевозка кирпича и железобетонных изделий. Порт является замерзающим, начало и окончание навигации объявляется приказом начальника порта.

К причалам порта ведут подходные каналы и фарватеры протяженностью 12 миль. Входить в реку Онега следует Карельским фарватером. Глубина фарватера реки составляет до 5,2 м. Порт Онега связан с железнодорожной сетью страны. На лесоэкспортных причалах производится погрузка пиломатериалов. На Городском рейде производится погрузка круглого леса. На причале для каботажных судов перерабатываются генеральные грузы местного назначения.

Первое появление льда в районе порта происходит в среднем в первой пятидневке ноября. Самое раннее появление льда в районе порта отмечено 13 октября 1976 г., а самое позднее – 2 декабря 2005 года. Устойчивое ледообразование начинается в среднем 7 ноября. В среднем в начале декабря происходит полное замерзание порта.

Наибольшей за зиму толщины лед достигает в конце марта (в среднем 50–60 см). Максимальная толщина льда в районе порта – 100–103 см.

Средняя дата взлома льда в районе порта Онега – 2 мая. Окончательное очищение акватории порта происходит в среднем 5 мая, при экстремальных сроках: раннее очищение в Онеге – 20 апреля 1921 г.; позднее – 25 мая 1941 года.

Продолжительность ледового периода на акватории порта Онега от первого появления льда до окончательного очищения в среднем составляет 185 дней, изменяясь от 155 дней (2005/2006 гг.) до 210 дней (1977/1978 гг.).

За последнее 30-летие сроки ледообразования и замерзания в порту Онега сдвинулись на 1–2 дня в сторону более поздних дат, по сравнению со средними многолетними данными. Сроки разрушения припая и полного очищения акватории порта ото льда сдвинулись на 2 дня в сторону более ранних дат. Средняя продолжительность ледового сезона составила 181 день, сократившись, по сравнению со средней многолетней продолжительностью, на 4 дня.

Кемь-Порт

Географические координаты порта: 65°00′ с.ш., 34°49′ в.д.

Порт Кемь расположен в проливе Кемская Салма, разделяющем острова Попов и Якостров. Территория порта и его причалы находятся у юго-восточного берега о. Попов. К причалу лесопильного завода могут подходить суда с осадкой до 6,4 м. Длина причала – 240 м, глубины вдоль него – 6–7 м. Между причалами имеются ковши, в которые заходят буксирные суда.

Пролив Кемская Салма доступен для судов с осадкой до 5 м. В средней части пролива пролегает желоб с глубинами 10–12 м. Входить в порт Кемь можно по Корабельному фарватеру, а также по Кузовскому фарватеру. Кроме того, входить в порт можно по Карельскому фарватеру, ведущему с севера от островов Студенцы вдоль берега до северной оконечности о. Попов и далее вдоль восточного берега этого острова. Фарватер извилист, пролегает среди множества опасностей и доступен для судов с осадкой до 4,7 м. Используется в исключительных случаях, когда Корабельный фарватер забит льдом.

Первое появление льда в районе порта происходит в среднем в начале второй декады ноября. Самое раннее появление льда в районе порта отмечено 18 октября 1968 г., а самое позднее 3 января 2008 года. Устойчивое ледообразование начинается в среднем 18 ноября. Обычно в начале января происходит полное замерзание порта.

Наибольшей за зиму толщины лед достигает в конце марта (в среднем 60–70 см). Максимальная толщина льда в районе порта – 100–107 см.

Средняя дата взлома припая в районе порта Кемь-Порт – 14 мая. Окончательное очищение акватории порта происходит в среднем 18 мая, при экстремальных сроках: раннее очищение в Кеми – 23 апреля 2007 г.; позднее – 23 июня 1966 года.

Продолжительность ледового периода на акватории порта Кемь в среднем составляет 188 дней, изменяясь от 118 дней (2007/2008 гг.) до 247 дней (1965/1966 гг.).

За последнее 30-летие сроки ледообразования и замерзания в порту Кемь сдвинулись на 7–9 дней в сторону более поздних дат, по сравнению со средними многолетними данными. Сроки разрушения припая и полного очищения акватории порта ото льда сдвинулись на 3–4 дня в сторону более ранних дат. Средняя продолжительность ледового периода составила 174 дня, сократившись, по сравнению со средней многолетней продолжительностью, на 14 дней.

Порты Витино и Кандалакша

Порт Витино

Географические координаты порта: 67°05′ с.ш., 32°20′ в.д.

Порт Витино расположен в средней части юго-западного берега пролива, пролегающего между берегом материка и о. Олений. Территория порта состоит из прибрежной полосы вдоль четырех причалов. Акватория порта включает в себя внешний рейд, внутренний рейд и судоходный путь от внешнего рейда к внутреннему – подходной канал.

Порт создан в результате реализации проекта по строительству нового терминального комплекса для обслуживания крупнотоннажных танкеров с использованием производственных мощностей Беломорской нефтебазы. Специализируется на хранении и перевалке мазута, сырой нефти и газового конденсата. Перевалка мазута и нефти осуществляется круглогодично.

На акватории морского порта Витино расположено четыре причала, один из которых является глубоководным, для приема морских танкеров водоизмещением до 40 тыс. т, два причала для приема судов типа «река–море». Один из причалов используется для стоянки судов портового флота. Подход к причалам с моря обеспечен по каналу протяженностью 18 миль с глубинами не менее 12,5 м. Порт принимает суда с размерами: длина – 230 м, ширина –32 м, осадка – 10,9 м.

Порт Кандалакша

Географические координаты порта: 67°08′ с.ш., 32°26′ в.д.

Порт Кандалакша находится в 6 километрах к северо-востоку от порта Витино. Глубины на рейде от 20 до 40 м. К порту ведет фарватер, пролегающий по проливу Кибиринская Салма. Глубины на подходных фарватерах протяженностью до 8 миль позволяют заходить на акваторию порта судам с осадкой до 9 м. В порту имеется 5 грузовых причалов общей протяженностью 560 м.

Наибольшие глубины имеют причалы для генеральных грузов – 10,0 м в полную воду. В порту могут перерабатываться такие грузы, как железорудный концентрат, уголь, щебень, соль, металл и металлоконструкции, автотехника, лесные грузы, продовольственные грузы, различные каботажные грузы в пункты побережья Белого моря, в восточную Арктику, на Ямал, в Дудинку, на Шпицберген. С железнодорожной сетью России порт соединен через магистраль Санкт-Петербург – Мурманск.

Первое появление льда в районе портов Витино и Кандалакша происходит в среднем во второй декаде ноября. Самое раннее первое появление льда в районе портов отмечено 6 октября 1928 г., а самое позднее – 6 января 1975 года. Устойчивое ледообразование начинается в среднем 19 ноября. В первой-второй декадах декабря обычно происходит полное замерзание порта. Наибольшей за зиму толщины лед достигает в начале апреля (в среднем 65–70 см). Максимальная толщина льда в районе порта – 95–100 см.

В среднем взлом припая в районе портов Витино и Кандалакша происходит 10–15 мая. Окончательное очищение акватории портов происходит в среднем 12–15 мая, при экстремальных сроках: раннее очищение в Кандалакше – 15 апреля 2007 г.; позднее – 1 июня 1935 года. Продолжительность ледового периода на акватории портов в среднем составляет 180–190 дней, изменяясь в Кандалакше от 103 дней (1974/1975 гг.) до 234 дней (1928/1929 гг.).

За последнее 30-летие сроки ледообразования и замерзания в портах Витино и Кандалакша сдвинулись на 5–8 дней в сторону более поздних дат, по сравнению со средними многолетними данными. Сроки разрушения припая и полного очищения акватории портов ото льда сдвинулись на 10–12 дней в сторону более ранних дат. Средняя продолжительность ледового периода в районе Кандалакши составила 161 день, сократившись, по сравнению со средней многолетней продолжительностью, на 20 дней.

Глава 4

ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ

4.1. Общие сведения о гидрометеорологическом режиме Балтийского моря

Балтийское море принадлежит к бассейну Атлантического океана и омывает берега девяти стран: Дании, Германии, Польши, Литвы, Латвии, Эстонии, России, Финляндии, Швеции. Западная граница моря, через которую осуществляется водообмен с Северным морем, проходит по линии м. Скаген – о. Чёрн (это северная граница пролива Каттегат).

Площадь Балтийского моря с проливами составляет 425 тыс. км^2. Средняя глубина моря 48 м, максимальная – 459 м (Ландсортская впадина, расположенная к северо-западу от о. Готланд). Море имеет три крупных залива: Ботнический, Финский и Рижский. Вдоль изрезанной береговой черты располагаются многочисленные бухты и острова. В Балтийском море несколько тысяч, преимущественно мелких, островов. Некоторые из них собраны в архипелаги. Крупными островами Балтики являются Готланд, Эланд, Рюген, Сааремаа, Хийумаа, Борнхольм, Аланд, а также группа островов, образующих Датские проливы, самый крупный из которых о. Зеландия [32, 77].

Ботнический залив – северная часть Балтийского моря между Швецией и Финляндией. Длина – 668 км, наибольшая ширина – 240 км. Васийскими шхерами и мелководьем делится на две части: северную – Боттенвик (Ботнический залив) и южную – Боттенхав (Ботническое море), которые сообщаются проливом Норра-Кваркен. С Балтийским морем Ботнический пролив соединяется проливом Сёдра-Кваркен, который находится между Аландскими островами и берегом Швеции. К югу от пролива Сёдра-Кваркен условно выделяют Аландское море, а район к востоку от о. Аланд, усыпанный множеством островов, называют Архипелаговым морем. Центральную часть Балтийского моря – центральную Балтику – условно делят на северный район, западный и восточный (готландские) районы, а также южный район.

На рис. 4.1 приведено районирование Балтийского моря по данным материалов Хельсинкской комиссии по охране морской среды Балтийского моря (ХЕЛКОМ) [5].

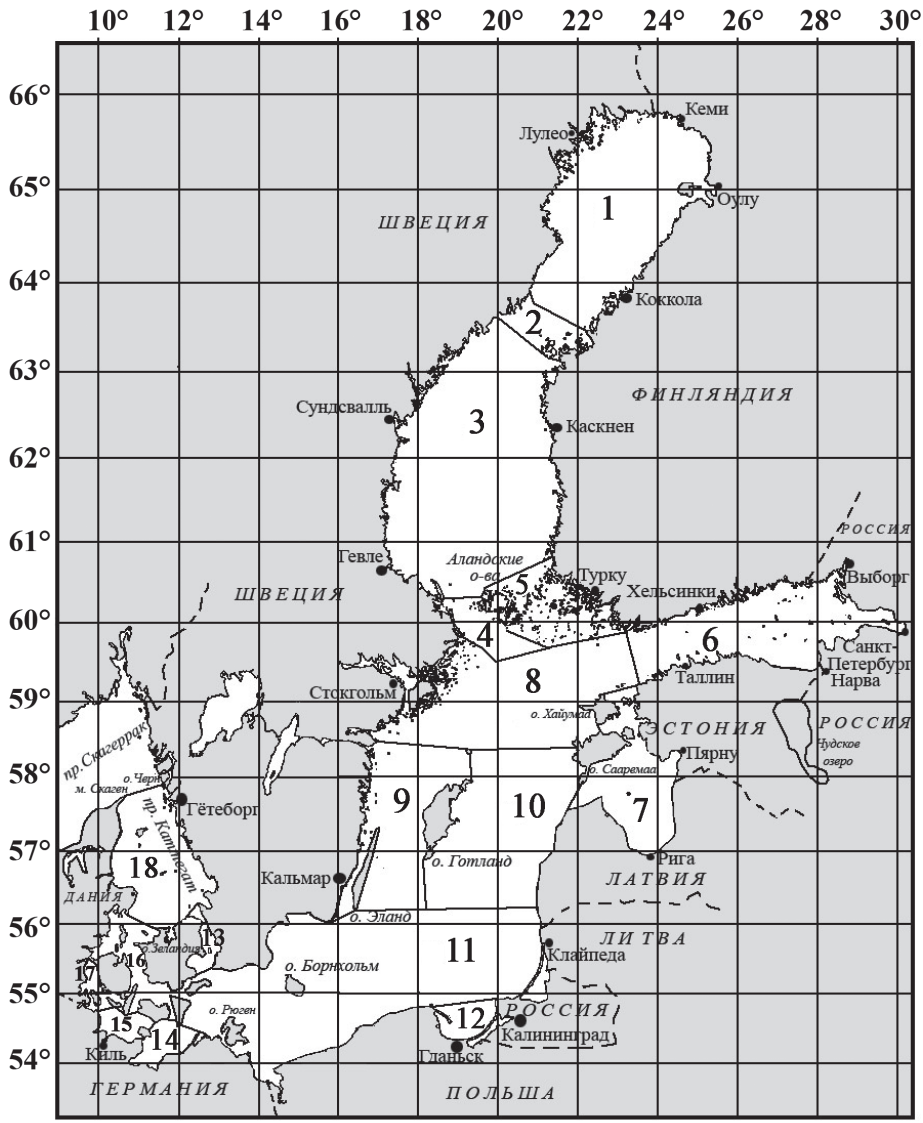


Рис. 4.1. Районирование Балтийского моря:
1 – Ботнический залив; 2 – пролив Норра-Кваркен (Северный Кваркен); 3 – Ботническое море; 4 – Аландское море; 5 – Архипелагово море; 6 – Финский залив; 7 – Рижский залив (с проливами); 8 – северная часть Центральной Балтики; 9–10 – западный и восточный (готландские) районы Центральной Балтики; 11 – южный район Центральной Балтики; 12 – Гданьский залив; 13 – пролив Зунд; 14 – Мекленбургская бухта; 15 – Кильская бухта; 16 – пролив Большой Бельт; 17 – пролив Малый Бельт; 18 – пролив Каттегат.

В Ботническом заливе лед образуется ежегодно. В мягкие зимы он наблюдается на севере района 1. В умеренные зимы основная масса льда сосредоточена в районах 1 и 2. К югу от пролива Норра-Кваркен лед наблюдается в виде полос (шириной 5–15 км) вдоль западного и восточного побережий Ботнического моря (район 3). Нилас и начальные виды льда, как правило, наблюдаются на всей акватории мелководного Архипелагова моря (район 5). Южная кромка этого массива льда уходит на восток и имеет продолжение в Финском заливе. На рис. 4.2 – карта Финского и Рижского заливов Балтийского моря.

Финский залив (район 6) принято делить на восточную и западную части по меридиану о. Гогланд (27° в.д.). Воды Финского залива омывают берега трех стран: Финляндии (на севере), Эстонии (на юге) и России (на востоке). Границей Финского залива на западе считается линия, соединяющая западную оконечность п-ова Ханко (м. Ханкониеми) с м. Пысаспеа. Невская губа ограничена с запада линией Ломоносов – о. Котлин – м. Лисий Нос. Площадь Финского залива 55 тыс. км^2. Залив мелководен. Глубины в нем увеличиваются в направлении с востока на запад (от 3–7 м – в Невской губе до 60–80 м у о. Гогланд и входа в залив).

Финский залив обладает своеобразным и сложным ледовым режимом. Этому способствует очень сильная изрезанность береговой линии, наличие большого числа островов, мелководность, большой объем речного стока. На акватории залива лед образуется ежегодно. В умеренные и суровые зимы, существуя продолжительное время, ледяной покров здесь представляет серьезные трудности для судоходства. Особенно опасен для судов дрейфующий лед при сжатиях и торошении.

Российские порты на Балтике имеют большое значение для северо-западного и других экономических районов страны, из которых осуществляются перевозки как в страны Западной Европы, так и в другие зарубежные страны. До 1962 г. при появлении льда на судоходных трассах порты Финского залива прекращали работу: порт Ленинград (ныне – Санкт-Петербург) – в среднем на 4 месяца. С 1962 г. начались работы по организации круглогодичной навигации в портах Финского залива. В суровые зимы протяженность трассы во льдах от западной кромки льда в Финском заливе составляет около 360 миль в порт Санкт-Петербург, около 340 миль в порт Выборг [32, 81, 93].

Рижский залив (район 7) расположен у берегов Эстонии и Латвии. Залив вдается в сушу на 174 км, его площадь 18,1 тыс. км^2. Залив отделен от открытой части моря Моонзундским архипелагом, сообщается с ней проливами Ирбенским, Соэла-Вяйн, Вяйнамери. Наибольшая глубина залива – 62 м. Значительные острова – Рухну, Кихну. Берега большей частью низменные, песчаные. В залив впадают реки Западная Двина (Даугава), Лиелупе и Гауя. Ледообразование в северной части Рижского залива происходит ежегодно. В южной части залива в мягкие и в отдельные умеренные зимы лед не образовывается, а в суровые зимы весь залив может покрываться неподвижным льдом – припаем.

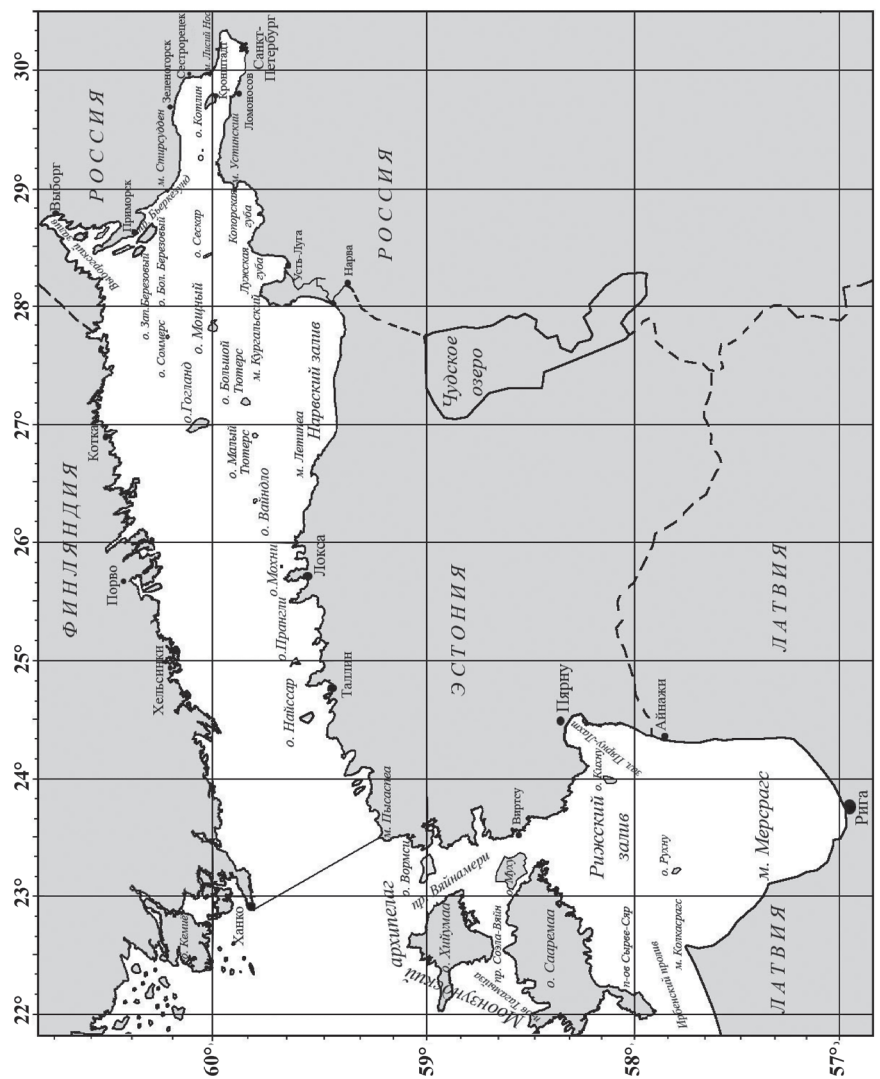


Рис. 4.2. Карта Финского и Рижского заливов Балтийского моря.

В районах **Центральной Балтики** (районы 8, 9, 10, 11) лед образуется преимущественно вдоль побережий моря. Вдоль восточного побережья Швеции севернее 57° с.ш. появление льда происходит ежегодно. В суровые зимы ледообразование может идти на всей акватории районов 8, 9, 10, вдоль побережий района 11, а также в Датских проливах. Минимальна вероятность появления льда на востоке открытой части южного района Центральной Балтики [24, 98].

Вислинский (лагуна Гданьского залива) и Куршский заливы, воды которых омывают побережье Калининградской области, примыкают к южному району Центральной Балтики. Тем не менее лед в них образуется почти ежегодно. Оба залива мелководны: средняя глубина Вислинского залива – 3 м (максимальная – 5 м), средняя глубина Куршского залива – 4 м (максимальная – 6 м).

Ветровой режим. Общий характер циркуляционных процессов в атмосфере над Балтийским морем определяется влиянием переноса воздушных масс с Атлантического океана. В течение года здесь наблюдается преобладание циклонической циркуляции. С ноября по апрель над Балтийским морем преобладает юго-западный перенос, а с апреля по сентябрь – западный и юго-западный. Наиболее редки ветры северных румбов.

В Финском заливе повторяемость ветров западного, юго-западного и южного направлений в среднем за год превышает 50 %. Причем ветры преобладающих направлений являются наиболее сильными.

От весенних и летних месяцев к осенним и зимним месяцам средняя скорость ветра увеличивается, а также увеличивается повторяемость штормовых ветров. Так, в марте повторяемость сильных ветров (со скоростью $\geq$15 м/с) составляет в районах Центральной Балтики 4–5 %, в Финском и Рижском заливах – 1–3 %. Повторяемость сильных ветров в июне: в районах Центральной Балтики – 2–3 %, в Финском и Рижском заливах – 1 % и менее. В октябре повторяемость сильных ветров в Центральной Балтике увеличивается до 5–8 %, а в Финском и Рижском заливах – до 2–4 %, Наибольшая повторяемость сильных ветров наблюдается в декабре и январе. В открытых районах Центральной Балтики она достигает 10 %, в Финском и Рижском заливах – 4–5 %. В Ботническом заливе – более низкая повторяемость сильных ветров.

Средняя месячная скорость ветра, по данным большинства ГМС Балтийского моря, составляет 3–6 м/с. В вершине Ботнического залива средняя месячная скорость около 2 м/с. Наибольшие скорости ветра на Балтике – 25–30 м/с.

Существенно возрастает от зимы к лету повторяемость северо-восточных ветров. Зимой при ветрах юго-западной четверти часто наблюдаются оттепели, с северо-восточными воздушными потоками обычно связано резкое понижение температуры воздуха. Средняя месячная повторяемость северо-восточных ветров в зимние месяцы составляет 5–8 % [5, 9, 32, 81].

Температура воздуха в открытых районах Центральной Балтики и в Датских проливах изменяется в среднем от значений, близких к 0 °С, в январе-феврале до 15...16 °С – в июле-августе. В прибрежных районах средняя месячная температура воздуха зимой более низкая, а летом – более высокая.

В вершинах Финского и Ботнического заливов зимние температуры воздуха наиболее низкие и в феврале составляют в среднем –10...–8 °С. Абсолютный минимум температуры, зафиксированный в Санкт-Петербурге, был равен –35,9 °С (январь 1883 г.). Абсолютный минимум температуры воздуха, зафиксированный на севере Ботнического залива, составил –42 °С. В средней части Финского залива и в Рижском заливе средняя месячная температура в январе-феврале составляет –6...–4 °С, а температура июля составляет 15...17 °С.

В Финском заливе переход температуры воздуха через 0 °С осенью (к отрицательным значениям) обычно происходит во второй декаде ноября, минимальная температура отмечается в январе-феврале. В конце марта – начале апреля происходит переход температуры воздуха через 0 °С к положительным значениям. Характерной особенностью зимнего температурного режима Финского залива является большая межгодовая изменчивость, достигающая в отдельные месяцы 20...25 °С.

Средняя годовая температура воздуха в районе Финского залива по 208-летнему ряду непрерывных наблюдений (с 1805 по 2012 г.) в районе Санкт-Петербург составляет 4,3 °С. При этом, как следует из анализа графика межгодовой изменчивости температуры воздуха на рис. 4.3, средняя годовая температура воздуха в XIX веке составляла 4 °С, в XX веке – 5 °С, а в первые 12 лет XXI века – 5,5 °С.

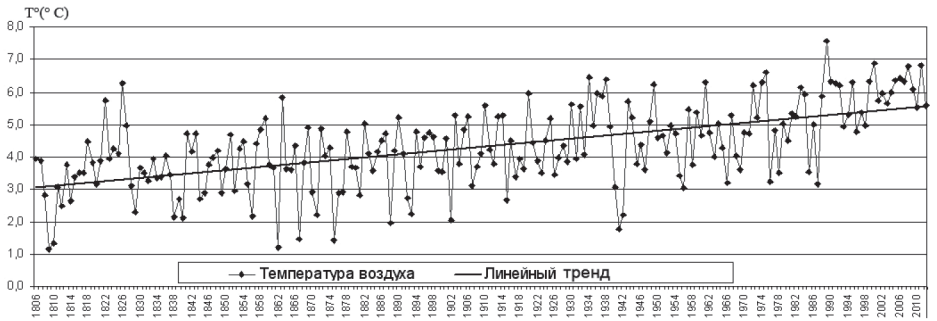


Рис. 4.3. Межгодовая изменчивость средней годовой температуры в районе ГМС Санкт-Петербург.

Температура воды. Годовой ход температуры воды на поверхности Балтийского моря имеет большой размах, который прежде всего зависит от интенсивности прогрева поверхностного слоя в летний период.

В апреле начинается активный прогрев поверхностного слоя Балтики. Прогрев продолжается до конца июля – начала августа. В это время наблюдается максимум поверхностной температуры воды, который составляет в среднем 15...18 °С в открытых частях Центральной Балтики, а также Финского и Рижского заливов. В Ботническом заливе поверхностный слой прогревается меньше – до 10...14 °С. Весенний прогрев воды в прибрежных

районах происходит быстрее, чем в открытых частях моря, и вода у берега в среднем на 2–3 °С теплее, чем в открытом море. Абсолютный максимум температуры воды в Финском заливе, по данным наблюдений прибрежных станций, равен 24…26 °С.

В летний сезон в толще балтийских вод формируется термоклин на глубине 20–40 м, в котором возникает большой вертикальный градиент температуры воды (до 2,5 °С/м), происходит резкое понижение температуры в придонном слое до 1,5...2,5 °С. Термоклин формируется как в Центральной Балтике, так и в Ботническом, Финском, Рижском заливах. Начиная с 60–70 м, в более глубоководной Центральной Балтике, температура воды вновь повышается.

Осенью в открытой части заливов под действием ветрового и конвективного перемешивания температура воды верхнего и придонного слоев выравнивается. В Центральной Балтике перемешивание, а вместе с ним сезонный ход температуры воды достигают глубины 50–70 м, ниже этой глубины температура воды меняется очень мало.

В осенний период переход температуры воды через 10 °С в районах 1–8 (северная половина Балтийского моря) происходит в среднем во второй-третьей декадах октября. В южной половине Балтийского моря (районы 9–18) переход температуры воды через 10 °С происходит в среднем в первой декаде ноября. Выхолаживание прибрежных водных масс происходит быстрее, чем в открытых районах заливов.

Достижение температурой воды 0 °С осенью наблюдается обычно только в северной части Балтийского моря и происходит в среднем в вершинах Ботнического и Финского заливов во второй-третьей декадах ноября, у северо-восточного побережья Рижского залива – в третьей декаде ноября – первой декаде декабря.

В зимний период в открытой части Балтийского моря до глубины 50–70 м, а также в Ботническом, Финском и Рижского заливах распределение температуры воды достаточно однородно. С декабря по март, когда часть акваторий Финского, Ботнического и Рижского заливов покрыта льдом, температура воды в пределах ледовых зон и вблизи кромок льда близка к 0 °С, а в свободных ото льда частях заливов составляет 0,5...2,0 °С.

Температура воды в придонном слое относительно глубоководной Центральной Балтики составляет, как зимой, так и летом, 3,0...5,5 °С [81, 100].

Соленость воды Балтийского моря довольно низкая, что объясняется ограниченным водообменом с Северным морем и значительным речным стоком. Соленость поверхностного слоя воды в Датских проливах составляет 10–12 ‰, в Центральной Балтике – 7–9 ‰. Пространственное распределение солености на поверхности Финского залива характеризуется уменьшением ее с запада на восток от 5–6 до 1–3 ‰. В Рижском заливе соленость поверхностного слоя также уменьшается с запада на восток от 6 до 3–4 ‰. В Ботническом заливе соленость уменьшается с юга на север, изменяясь от 4–5 до 1–3 ‰.

С глубиной соленость увеличивается. Приток соленой воды из Северного моря осуществляется через Датские проливы, в придонном слое которых соленость составляет 15–20 ‰.

На глубине 60–90 м в Центральной Балтике наблюдается резкий скачок значений солености – это постоянный галоклин (располагающийся ниже термоклина на 40–50 м). В Бронхольмской впадине, например, соленость на поверхности равна 7 ‰, а в придонном слое – 15–20 ‰.

В Финском заливе галоклин образуется при проникновении более соленых вод центральной части Балтийского моря в глубоководные (более 60 м) котловины залива. В восточной части Финского залива в весенний и летний периоды соленость воды на поверхности составляет 1–3 ‰, на глубине 20 м – 4–5 ‰, на глубине более 60 м – 7–8 ‰. Осенью в результате ветрового перемешивания соленость несколько увеличивается на поверхности (до 3–4 ‰) и уменьшается на глубине (до 6–7 ‰). В северной части Ботнического залива галоклин отсутствует, и соленость лишь незначительно повышается от поверхности ко дну.

Течения. В целом циркуляция воды в Балтийском море носит циклонический характер. Выделяются следующие течения: ветровые, стоковые (обусловленные речным стоком), градиентные (вызванные колебанием уровенной поверхности), плотностные (вызванные плотностной неоднородностью водных масс) и компенсационные, развивающиеся в глубинных слоях. Приливные течения на Балтике незначительны. Скорость этих течений не превышает 5–8 см/с.

На рис. 4.4 приведена схема квазипостоянных поверхностных течений в Балтийском море [5, 32].

Квазипостоянное поверхностное течение в Центральной Балтике формируется в результате слияния двух течений, выходящих из Финского и Ботнического заливов. Общий поток движется на юго-запад, огибая с двух сторон о. Готланд, через проливы он выходит в Северное море. Вдоль южного берега Балтийского моря движется поток, направленный из Северного моря в район Гданьского залива, далее он поворачивает на север и идет вдоль восточного берега моря до Ирбенского пролива. Здесь течение разделяется на две ветви. Одна ветвь входит в Рижский залив, где образует циклонический круговорот. Другая ветвь огибает Моонзундский архипелаг с запада и входит в Финский залив, обходит его береговую черту против часовой стрелки и продолжает движение на север вдоль побережья Финляндии в Ботническом заливе.

Поверхностные течения в Балтийском море слабые и неустойчивые, на их режим большое влияние оказывает циклонический характер преобладающей циркуляции воздушных масс. Ветровые течения в Балтийском море наиболее сильные. Направление их совпадает с направлением преобладающих ветров, а у берегов на направление ветровых течений влияет конфигурация береговой линии. Скорость ветровых течений зависит от силы ветра. В открытом море скорость ветровых течений достигает 50–100 см/с, а при штормовых ветрах 150 см/с. В проливах, бухтах и узкостях скорость течений существенно

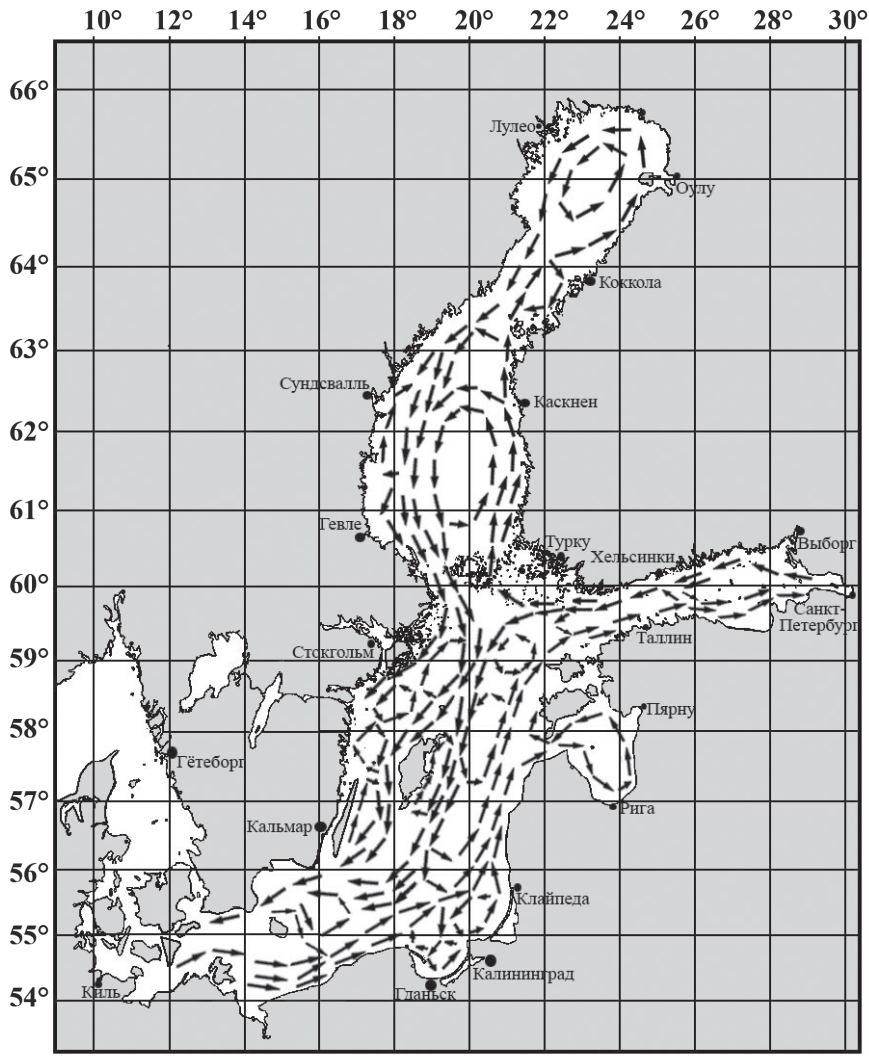


Рис. 4.4. Схема поверхностных течений в Балтийском море.

возрастает и может достигать 200 см/с и более. В Ботническом заливе в районе пролива Сёдра-Кваркен (соединяющего Ботнический залив с Аландским морем) в осенний период скорость течения может достигать 250 см/с и более.

В Финском заливе в период штормов скорости ветровых течений могут достигать 150 см/с. Тем не менее обычно скорость ветрового течения не превышает 20–25 см/с в открытой части залива и 15–20 см/с – в прибрежной. Соответствие системы ветровых течений направлению ветрового потока наступает через 2–4 часа после начала работы ветра и затухает примерно через 3 часа после его прекращения.

Высокие скорости течений наблюдаются в проливах Зунд и Большой Бельт (Датские проливы): средние – 50 см/с, максимальные – 250 см/с и более.

Уровень моря. Средний уровень Балтийского моря плавно повышается от Датских проливов к вершинам Ботнического и Финского заливов. Это повышение в среднем составляет 1 см на 70–80 км.

Годовой ход колебаний уровня Финского залива имеет два максимума (осенний и зимний) и два минимума (весенний и осенний). Амплитуда колебаний уровня внутри года в среднем составляет 30 см, но в отдельные годы может достигать 90–120 см и более. Осенний максимум, который для Финского залива является главным, наблюдается обычно в октябре и реже – в сентябре. Второстепенный зимний максимум приходится на декабрь. Наиболее глубокий весенний минимум наступает обычно в марте-апреле, а второстепенный осенний минимум – в ноябре.

Характер приливных колебаний суточный и полусуточный, амплитуда не превышает 10–12 см для большинства районов Балтики. Исключение составляет только западное побережье пролива Каттегат, где характер прилива определяется волной, идущей их Северного моря: здесь возможны приливные колебания уровня до 20 см.

Сейшевые колебания характерны для системы Западная Балтика – Финский залив как для любого замкнутого или полузамкнутого бассейна. Они вызываются при существенной разнице давления над различными районами моря. Сейшевые колебания уровня затухают уже через 2–3 периода, их амплитуда быстро уменьшается от одного периода к другому. Сейши Финского залива имеют период 7–9 часов, вызывая подъем уровня у берега до 100 см.

Наибольшие колебания уровня в Финском заливе связаны со штормовыми нагонами, возникающими при прохождении мощных циклонов с запада над акваторией Балтики. Уменьшение глубин в восточной части залива и его резкое сужение к устью Невы способствуют сильному повышению уровня при действии западных штормовых ветров. Опасным уровнем, при котором возможно наводнение в Санкт-Петербурге, считается уровень выше 160 см над ординаром (средний многолетний уровень поста Горного института). Максимальный подъем уровня наблюдался 19 ноября 1924 г. (421 см) [32, 81].

Волнение моря. Вероятность появления волн более 5 м в Балтийском море составляет не более 3 %. Наиболее сильное волнение на Балтике наблюдается в осенне-зимний период. Высота волны во время шторма в Центральной Балтике и у западного входа в Финский залив может составлять 7–8 м. Крайне редко высота волны в северной и центральной частях моря может достигать 10–12 м.

Под воздействием ветра в Финском заливе возможно развитие волн, высота которых в исключительных случаях может достигать на западе залива 5 м и более. В 75 % случаев высота волн в Финском заливе не превышает 2 м, в 92 % случаев не превышает 3 м [32, 81].

4.2. Факторы, обусловливающие состояние ледяного покрова Балтийского моря

На ледовый режим Балтийского моря оказывает влияние его географическое положение. В северные и восточные районы происходит более частое вторжение холодных воздушных масс – и здесь наблюдаются более суровые ледовые условия. В южных и западных районах сказывается влияние теплых воздушных масс из Атлантики – и здесь лед наблюдается только в суровые зимы.

Причиной образования ледяного покрова является охлаждение поверхности моря, которое происходит за счет излучения тепла в атмосферу (при увеличении продолжительности ночи и одновременном уменьшении поглощения морем радиационного тепла), а также за счет выноса на акваторию моря холодных масс воздуха. На этот фоновый процесс накладывается влияние глубины моря, берегового стока, а также водообмена и ледообмена с соседними районами моря.

При одной и той же сумме градусодней мороза, накопленной за зиму, максимальная за ледовый сезон площадь, занятая льдом, (ледовитость Балтийского моря) может быть различной. Так, В.В. Бетин и Ю.В. Преображенский отмечают в [12], что в суровые зимы 1921/1922 и 1928/1929 гг. при близких суммах градусодней мороза значения ледовитости моря в момент максимально развития ледового покрова составляли, соответственно, 260 и 390 тыс. км^2, отличаясь друг от друга в полтора раза. Наибольшее распространение льда, как показывает анализ подобных ситуаций, происходит при морозах, которые наступают в середине февраля – начале марта, когда теплозапас поверхностного слоя моря минимален. В таких условиях даже сравнительно непродолжительное похолодание может вызвать ледообразование на больших площадях моря.

У берегов на мелководьях лед одной и той же толщины образуется при значительно меньшей сумме градусодней мороза, чем на глубоких местах. А.А. Пасторс в [80] показывает, что для образования льда толщиной 20 см в районах с глубинами порядка 5 м в Рижском заливе в среднем необходима сумма градусодней мороза, равная 280 °С. Но для того, чтобы лед такой толщины образовался в районах с глубинами 30 м, необходимо уже 600 °С. Для образования льда толщиной 50 см в районе тех же глубин необходимо, соответственно, 720 и 1300 °С.

Конфигурация далеко вдающихся в сушу заливов обусловливает увеличение континентальности ледовых условий при приближении от центральных районов моря к вершинам заливов: в вершинах Ботнического и Финского заливов наблюдаются наиболее тяжелые ледовые условия.

Ветер перераспределяет лед по площади моря: уменьшая сплоченность отдельных ледовых зон, он увеличивает общую ледовитость моря.

Среди многообразия атмосферных процессов, влияющих на характер развития ледяного покрова в Балтийском море, можно выделить следующие три основных типа:

– западный тип, когда зимой преобладают западные переносы теплых и влажных атлантических воздушных масс, ледовая обстановка нестабильна, увеличивается динамическая активность льдов, замедляется процесс ледообразования осенью, активизируется процесс таяния весной;

– восточный тип, когда сильно развит отрог сибирского антициклона, поступает холодный воздух с континента, что приводит к быстрому развитию ледяного покрова;

– северный тип, когда происходит глубокий межширотный воздухообмен, на акваторию Финского залива поступает арктический воздух, наблюдаются суровые зимы и тяжелые ледовые условия на судоходных трассах [32, 81, 93].

4.3. Типизация зим по степени суровости в Балтийском море

Для Финского залива Балтийского моря по 100-летнему периоду наблюдений в XX веке (с сезона 1900/1901 гг. по сезон 1999/2000 гг.) рассчитаны интервалы критериев суровости зим по суммам градусодней мороза (в °С) для Санкт-Петербурга (Ленинграда):

– мягкая зима <480;
– умеренная зима 480–940;
– суровая зима >940.

Средняя за столетний период наблюдений (XX век) сумма градусодней мороза составила 700 °С. При этом средняя СГДМ в XIX веке составляла 900 °С, а средняя СГДМ для первых 12 лет XXI века – 600 °С. Средняя СГДМ за весь период наблюдений – 793 °С.

На рис. 4.5 приведена межгодовая изменчивость СГДМ и линейный тренд СГДМ за 207-летний период наблюдений в районе ГМС Санкт-Петербург. Явно прослеживается существенное уменьшение СГДМ в течение периода наблюдений.

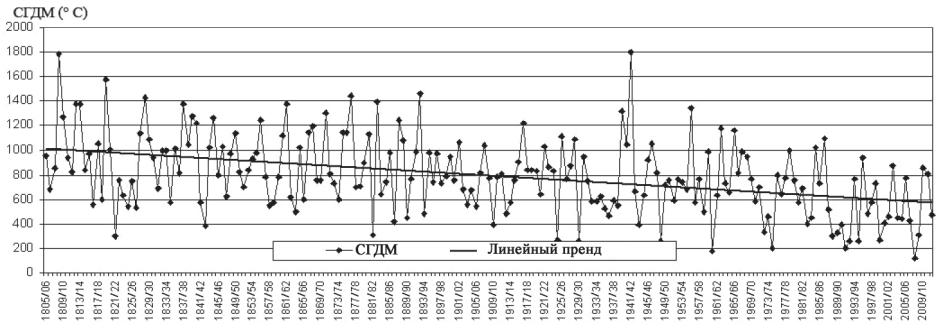


Рис. 4.5. Межгодовая изменчивость СГДМ в районе ГМС Санкт-Петербург.

В табл. 4.1 представлены результаты типизации зим по суровости в Санкт-Петербурге за 207-летний период. За 100-летний период (в XX веке)

в Санкт-Петербурге были выявлены 20 мягких и 20 суровых зим (20 и 20 % соответственно). В XIX веке пропорция между количеством мягких и суровых зим (по критериям XX века) была иной – 5 % мягких зим и 47 % суровых зим. За последний 30-летний период (с зимнего сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг.) наблюдалось 18 мягких и 2 суровые зимы (60 и 7 % соответственно), а за первые 12 лет XXI века наблюдалось 58 % мягких зим и не наблюдалось ни одной суровой зимы (по критериям XX века).

Таблица 4.1

Типизация зим в Санкт-Петербурге
(М – мягкая зима, У – умеренная зима, С – суровая зима)

Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы
1805/06	С	1835/36	С	1865/66	У	1895/96	У
1806/07	У	1836/37	У	1866/67	С	1896/97	С
1807/08	У	1837/38	С	1867/68	С	1897/98	У
1808/09	С	1838/39	С	1868/69	У	1898/99	У
1809/10	С	1839/40	С	1869/70	У	1899/00	С
1810/11	У	1840/41	С	1870/71	С	1900/01	У
1811/12	У	1841/42	У	1871/72	У	1901/02	С
1812/13	С	1842/43	М	1872/73	У	1902/03	У
1813/14	С	1843/44	С	1873/74	У	1903/04	У
1814/15	У	1844/45	С	1874/75	С	1904/05	У
1815/16	С	1845/46	У	1875/76	С	1905/06	У
1816/17	У	1846/47	С	1876/77	С	1906/07	У
1817/18	С	1847/48	У	1877/78	У	1907/08	С
1818/19	У	1848/49	С	1878/79	У	1908/09	У
1819/20	С	1849/50	С	1879/80	У	1909/10	М
1820/21	С	1850/51	У	1880/81	С	1910/11	У
1821/22	М	1851/52	У	1881/82	М	1911/12	У
1822/23	У	1852/53	У	1882/83	С	1912/13	У
1823/24	У	1853/54	У	1883/84	У	1913/14	У
1824/25	У	1854/55	С	1884/85	У	1914/15	У
1825/26	У	1855/56	С	1885/86	С	1915/16	У
1826/27	У	1856/57	У	1886/87	М	1916/17	С
1827/28	С	1857/58	У	1887/88	С	1917/18	У
1828/29	С	1858/59	У	1888/89	С	1918/19	У
1829/30	С	1859/60	У	1889/90	М	1919/20	У
1830/31	У	1860/61	С	1890/91	У	1920/21	У
1831/32	У	1861/62	С	1891/92	С	1921/22	С
1832/33	С	1862/63	У	1892/93	С	1922/23	У
1833/34	С	1863/64	У	1893/94	У	1923/24	У
1834/35	У	1864/65	С	1894/95	С	1924/25	М

Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы
1925/26	С	1947/48	У	1969/70	У	1991/92	М
1926/27	У	1948/49	М	1970/71	У	1992/93	М
1927/28	У	1949/50	У	1971/72	У	1993/94	У
1928/29	С	1950/51	У	1972/73	М	1994/95	М
1929/30	М	1951/52	У	1973/74	М	1995/96	У
1930/31	С	1952/53	У	1974/75	М	1996/97	М
1931/32	У	1953/54	У	1975/76	У	1997/98	У
1932/33	У	1954/55	У	1976/77	У	1998/99	У
1933/34	У	1955/56	С	1977/78	У	1999/00	М
1934/35	У	1956/57	У	1978/79	С	2000/01	М
1935/36	У	1957/58	У	1979/80	У	2001/02	М
1936/37	М	1958/59	У	1980/81	У	2002/03	У
1937/38	У	1959/60	С	1981/82	У	2003/04	М
1938/39	У	1960/61	М	1982/83	М	2004/05	М
1939/40	С	1961/62	У	1983/84	М	2005/06	У
1940/41	С	1962/63	С	1984/85	С	2006/07	М
1941/42	С	1963/64	У	1985/86	У	2007/08	М
1942/43	У	1964/65	У	1986/87	С	2008/09	М
1943/44	М	1965/66	С	1987/88	У	2009/10	У
1944/45	У	1966/67	У	1988/89	М	2010/11	У
1945/46	У	1967/68	С	1989/90	М	2011/12	М
1946/47	С	1968/69	С	1990/91	М		

Самым холодным за весь период наблюдений был зимний сезон 1941/1942 гг., когда СГДМ в Ленинграде составила 1800 °С. В этот ледовый сезон (а также в суровые зимы 1939/1940 гг. и 1946/1947 гг.) Балтийское море было покрыто льдом полностью, его ледовитость составляла 100 %. В Финском заливе в феврале 1942 г. припай в трассовой зоне простирался до 26° в.д., а толщина припайного льда составляла 80–90 см. Самым теплым за весь период наблюдений был сезон 2007/2008 гг., когда СГДМ составила 113 °С.

По данным ГМС Санкт-Петербург, для мягкой зимы в большой степени соответствующим типовым характеристикам оказался ледовый сезон 2008/2009 гг., для умеренной зимы – 1993/1994 гг., для суровой зимы – 1984/1985 годов. Для иллюстрации самой сложной за весь период наблюдений ледовой обстановки осуществлена реконструкция ледовых условий на середину февраля с использованием шведских схем ледовой обстановки на Балтике зимой 1941/1942 гг., опубликованных в [5], и данных ГМС (рис. 4.15).

На рис. 4.6–4.8 представлена ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине декабря 2008, 1993 и 1984 гг. в Балтийском море. Раскраска на рис. 4.6–4.21 соответствует зимней шкале – по преобладающей возрастной характеристике дрейфующего льда [76].

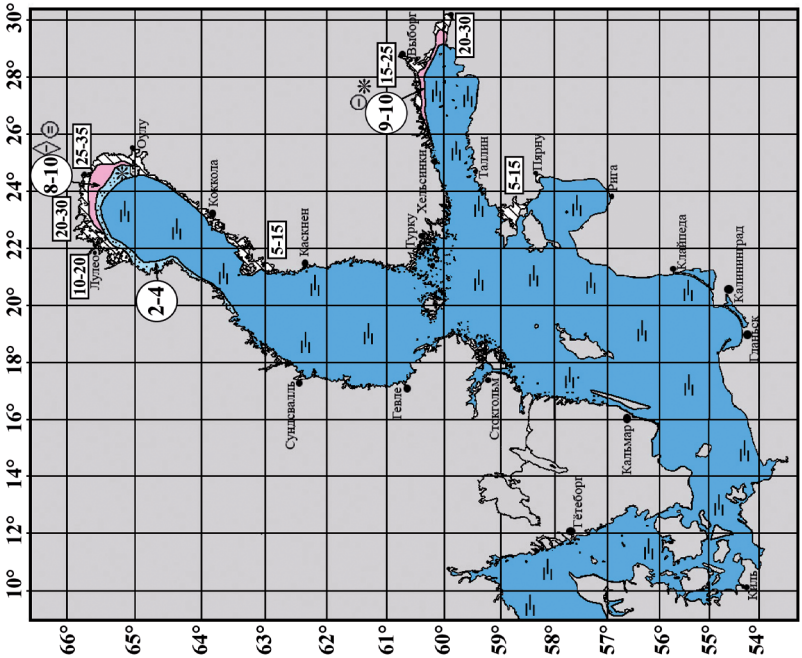


Рис. 4.7. Ледовая обстановка в Балтийском море в декабре 1993 года. Умеренная зима.

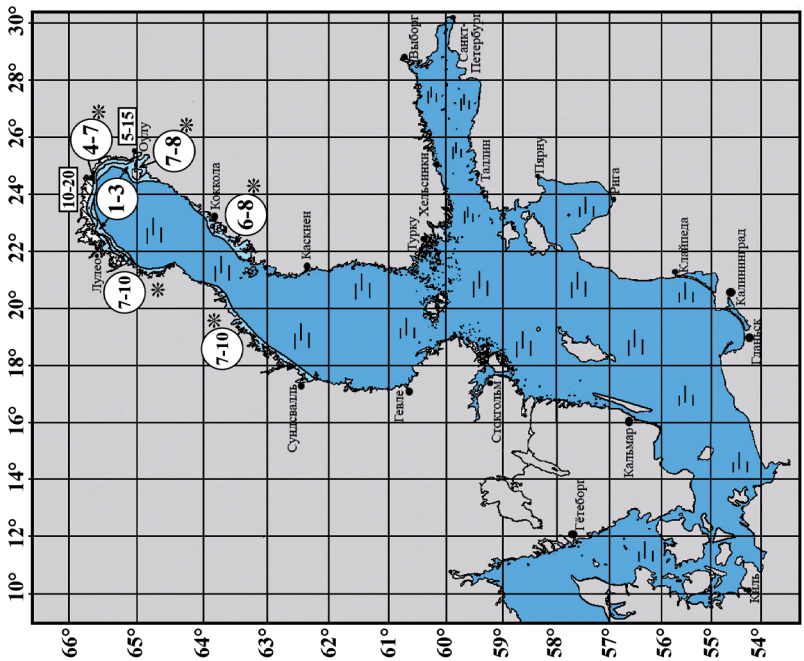


Рис. 4.6. Ледовая обстановка в Балтийском море в декабре 2008 года. Мягкая зима.

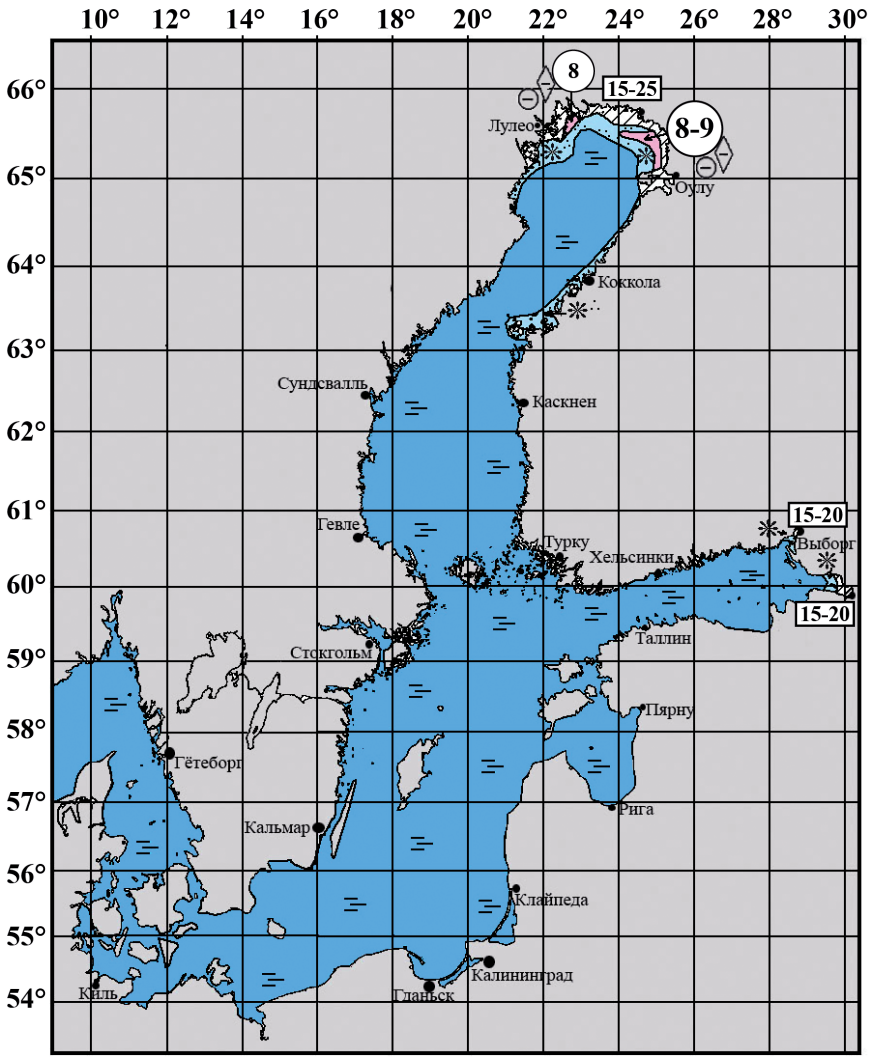


Рис. 4.8. Ледовая обстановка в Балтийском море в декабре 1984 года. Суровая зима.

В табл. 4.2 приведена информация о преобладающих характеристиках ледовой обстановки на трассе устье Финского залива (22°20' в.д.) – Санкт-Петербург в декабре. Следует заметить, что в декабре будущую суровость зимы определить практически невозможно.

На рис. 4.9–4.21 – ледовая обстановка в середине января–апреля 2009, 1994 и 1985 гг., а также в феврале экстремально суровой зимы 1942 г. в Балтийском море.

Таблица 4.2

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе устье Финского залива (22° 20' в.д.) – Санкт-Петербург в декабре

Участок трассы	22°20' в.д. – Таллинн	Таллинн – о. Гогланд	о. Гогланд – м. Стирсудден	м. Стирсудден – о. Котлин	о. Котлин – Санкт-Петербург
Мягкая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	чисто	чисто	чисто
Умеренная зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	15–30
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0	9–10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	чисто	серый, нилас	–
Суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	15–30
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0	9–10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	чисто	серый, нилас	–
Самая суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	20–30	30–40
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	7–8 (от о. Мощный)	–	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	серый, нилас	–	–

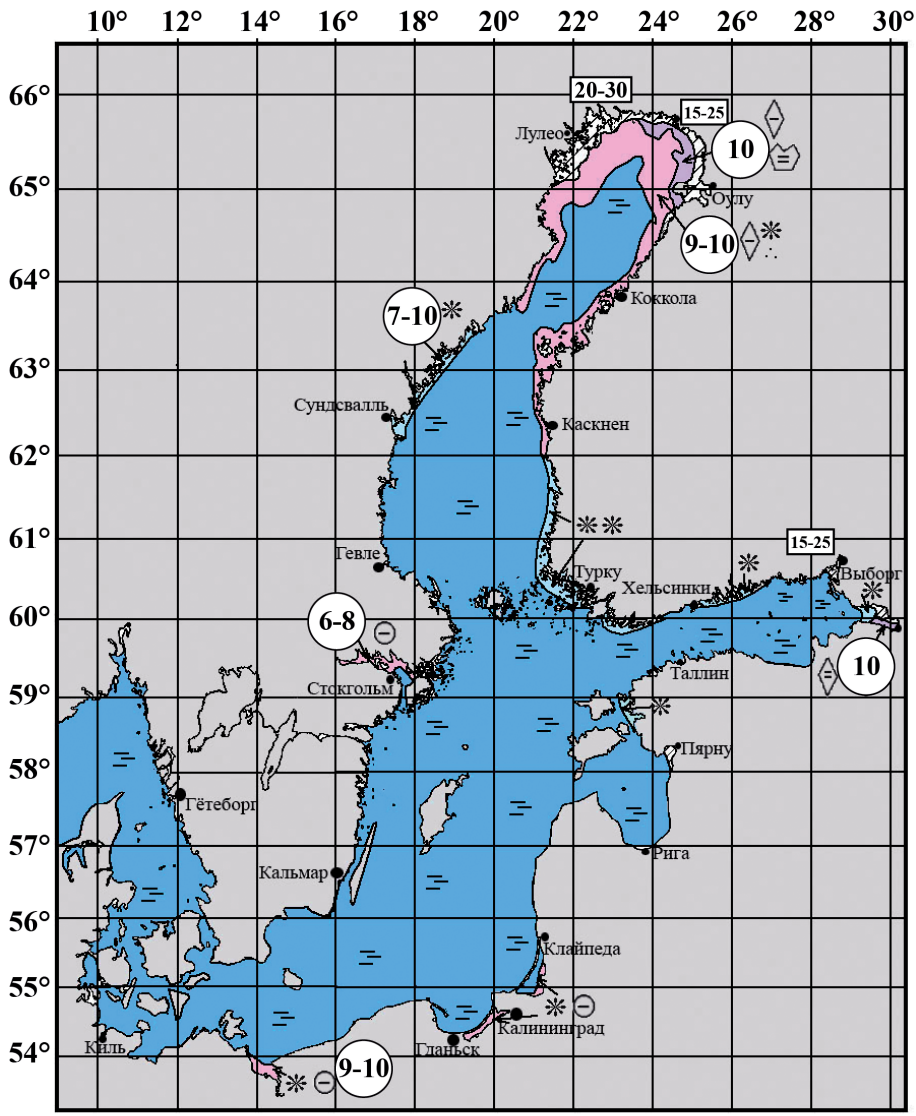


Рис. 4.9. Ледовая обстановка в Балтийском море в январе 2009 года. Мягкая зима.

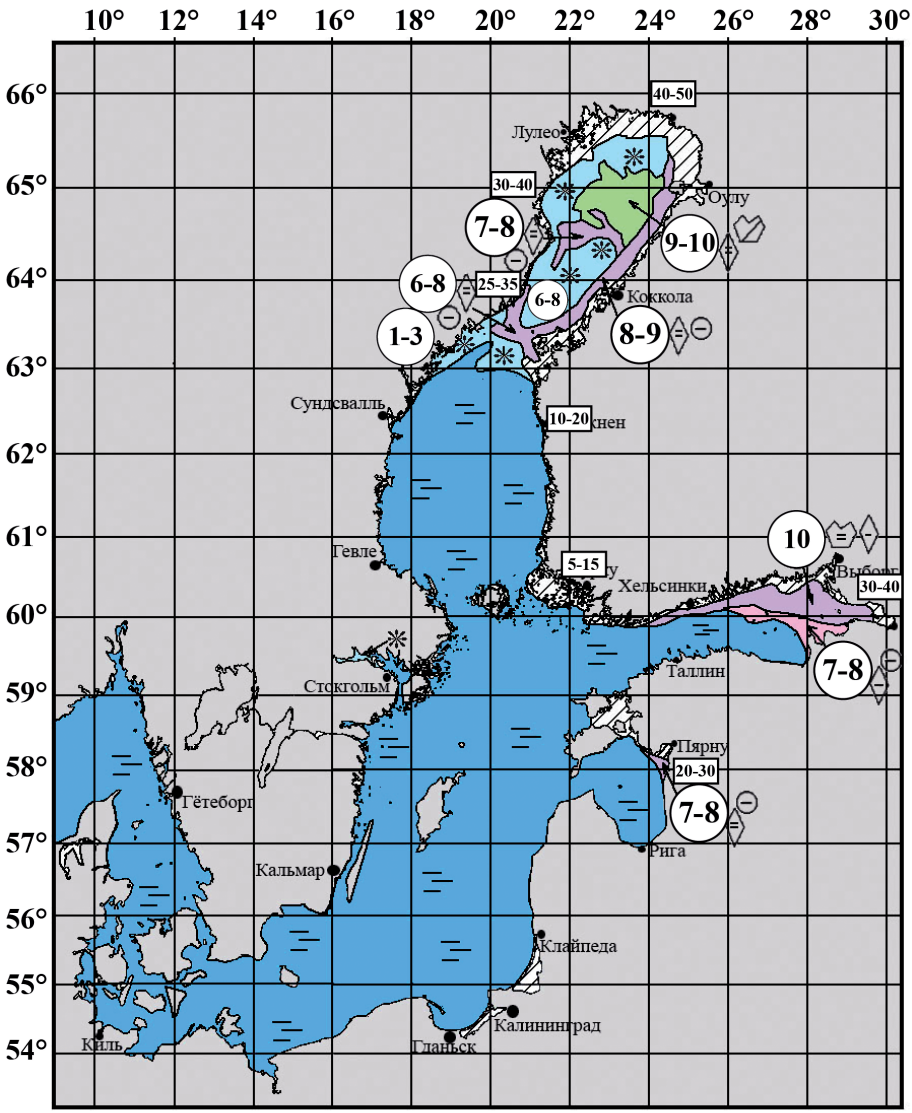


Рис. 4.10. Ледовая обстановка в Балтийском море в январе 1994 года. Умеренная зима.

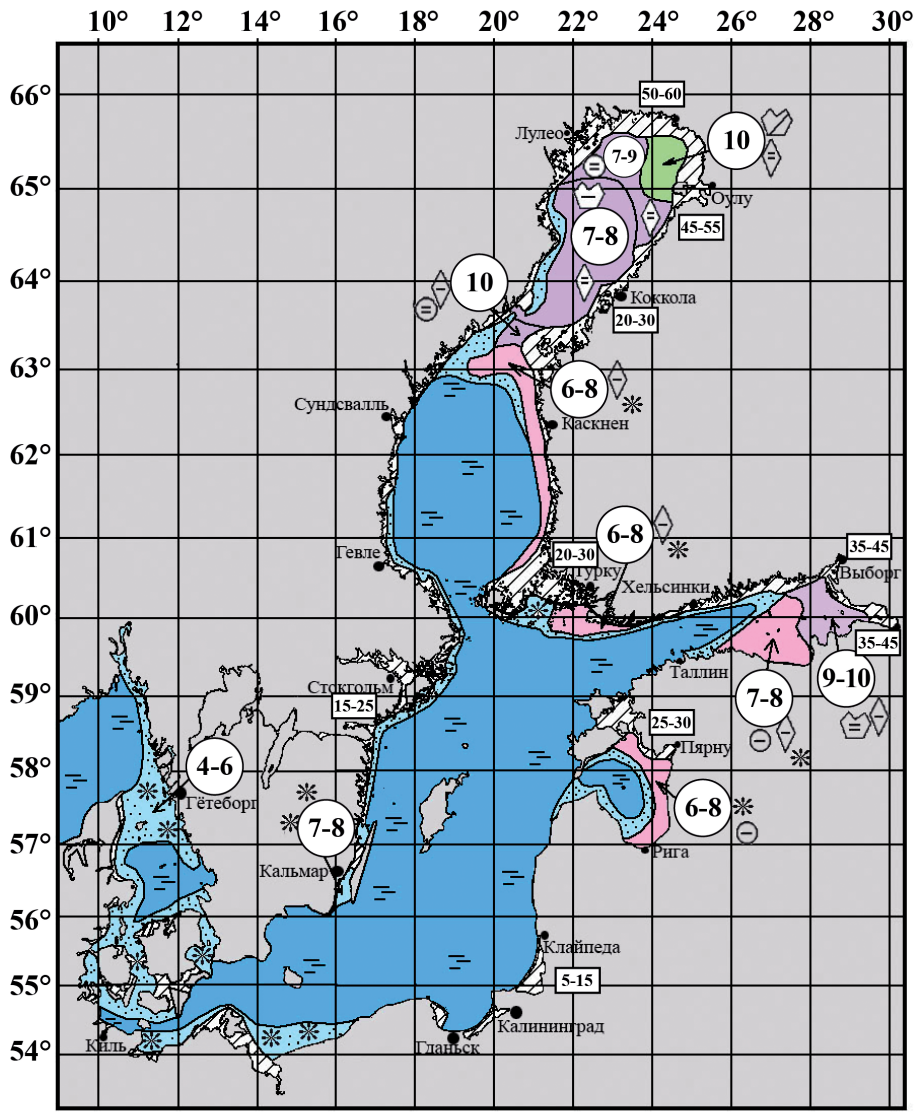


Рис. 4.11. Ледовая обстановка в Балтийском море в январе 1985 года. Суровая зима.

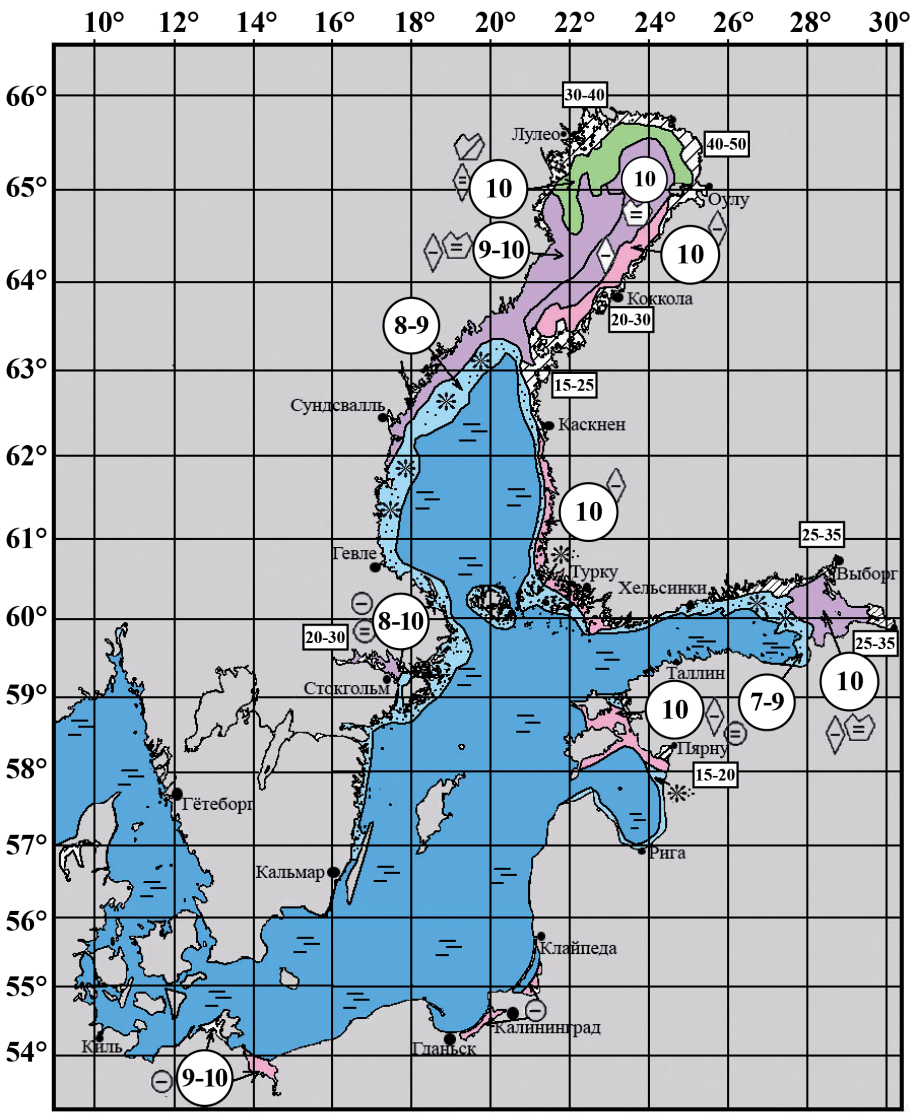


Рис. 4.12. Ледовая обстановка в Балтийском море в феврале 2009 года. Мягкая зима.

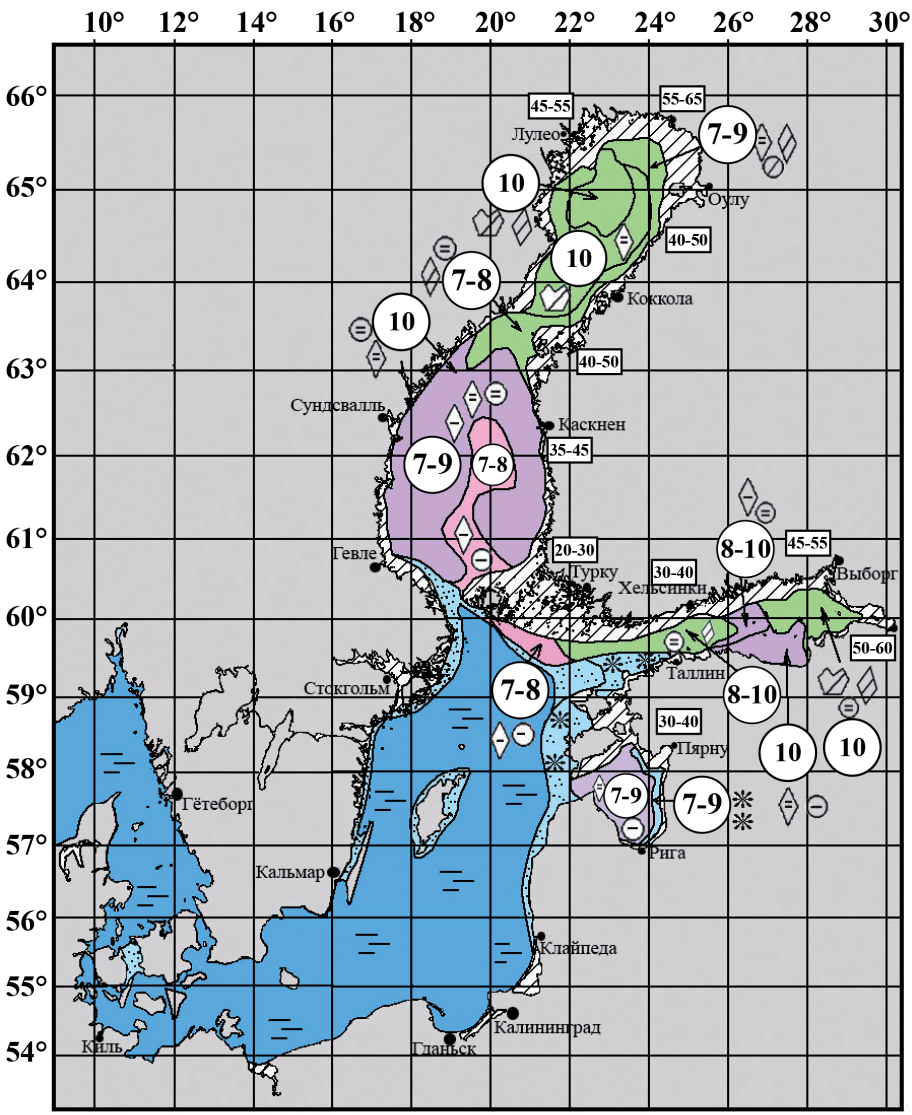


Рис. 4.13. Ледовая обстановка в Балтийском море в феврале 1994 года. Умеренная зима.

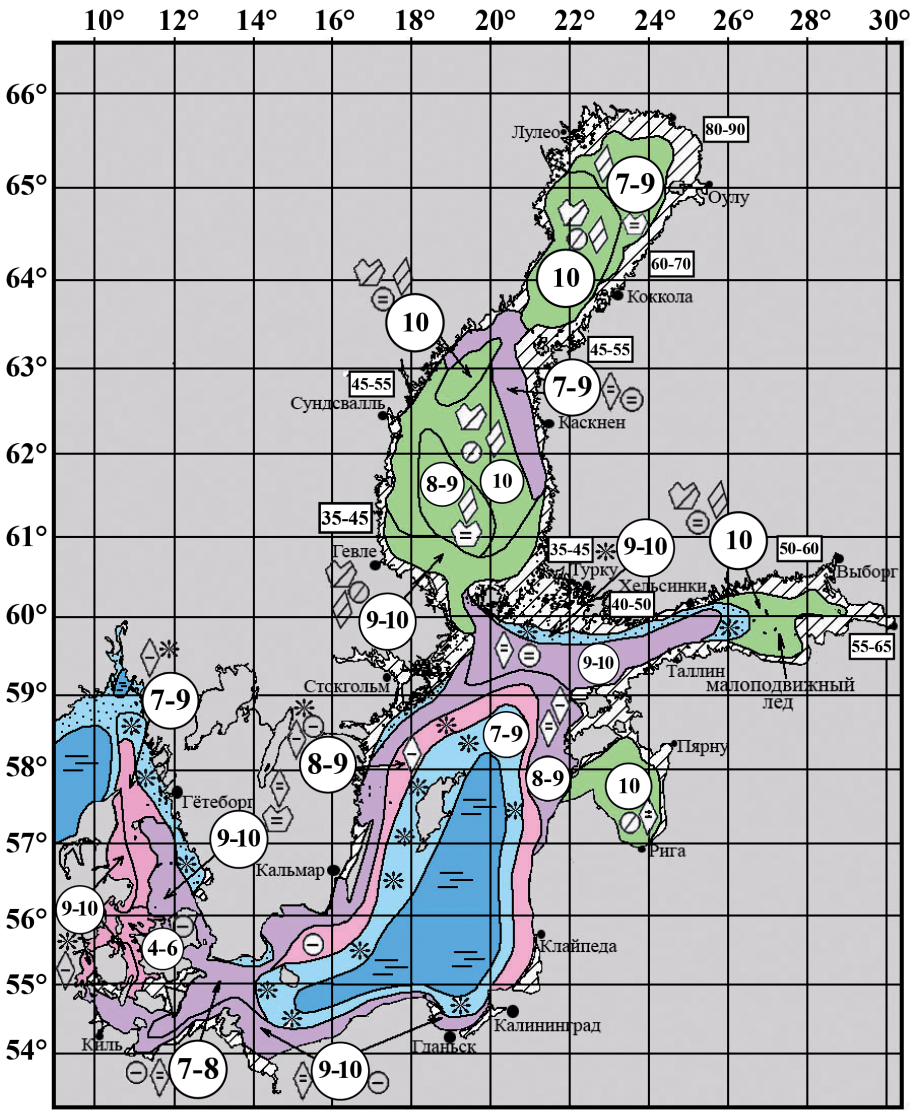


Рис. 4.14. Ледовая обстановка в Балтийском море в феврале 1985 года. Суровая зима.

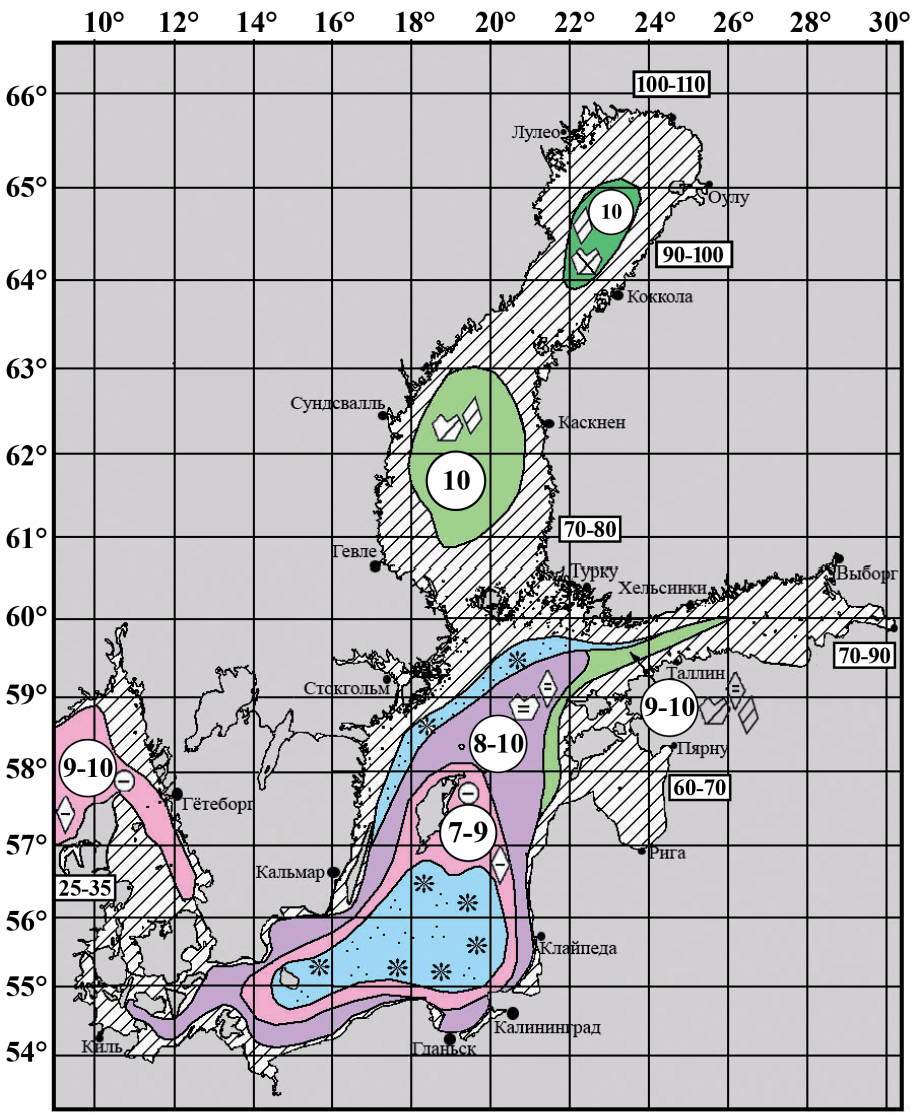


Рис. 4.15. Ледовая обстановка в Балтийском море в феврале 1942 года. Самая суровая зима (за 200-летний период).

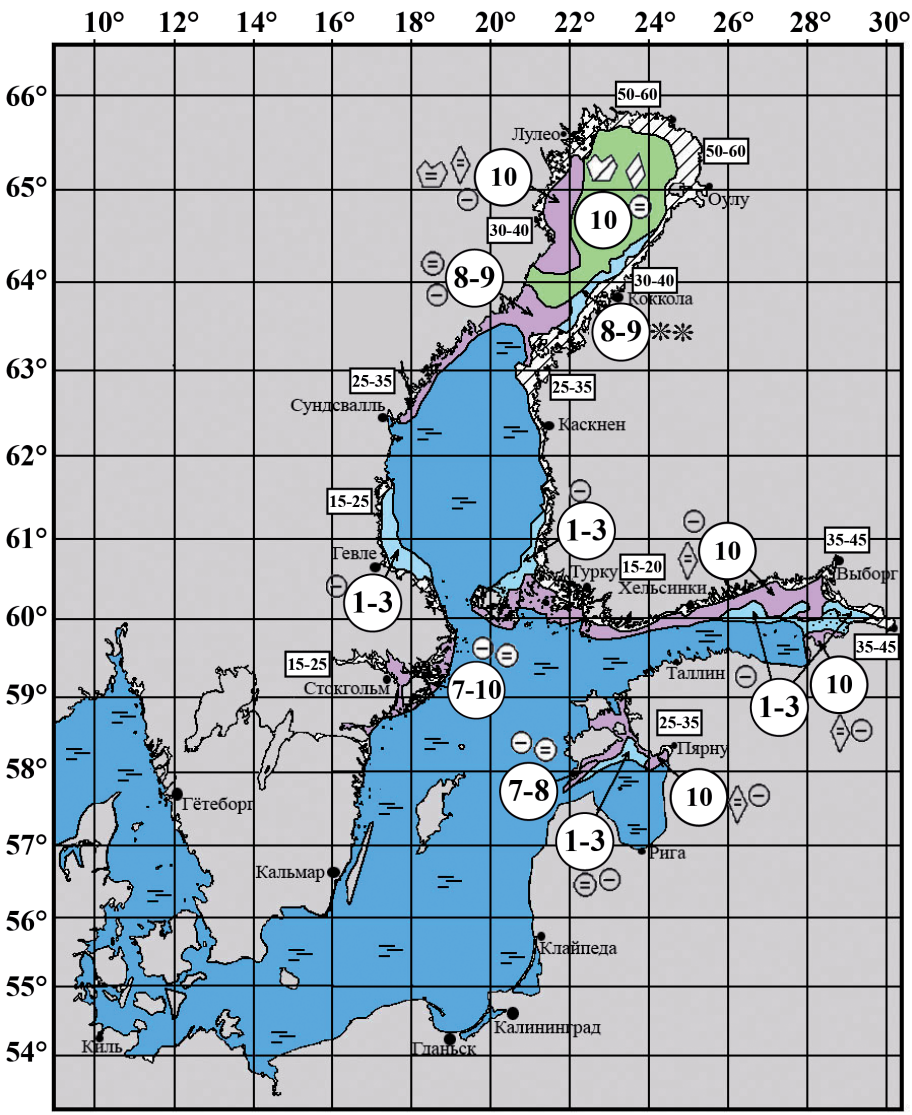


Рис. 4.16. Ледовая обстановка в Балтийском море в марте 2009 года. Мягкая зима.

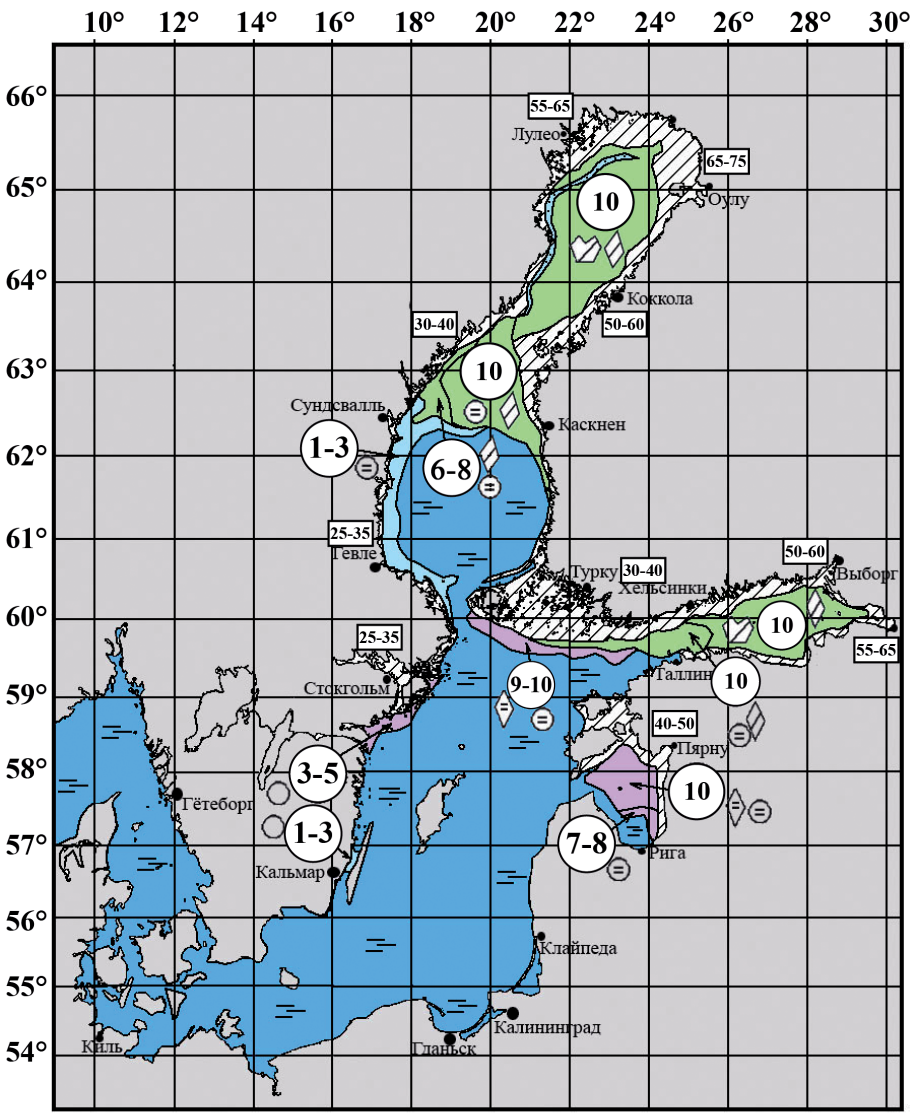


Рис. 4.17. Ледовая обстановка в Балтийском море в марте 1994 года. Умеренная зима.

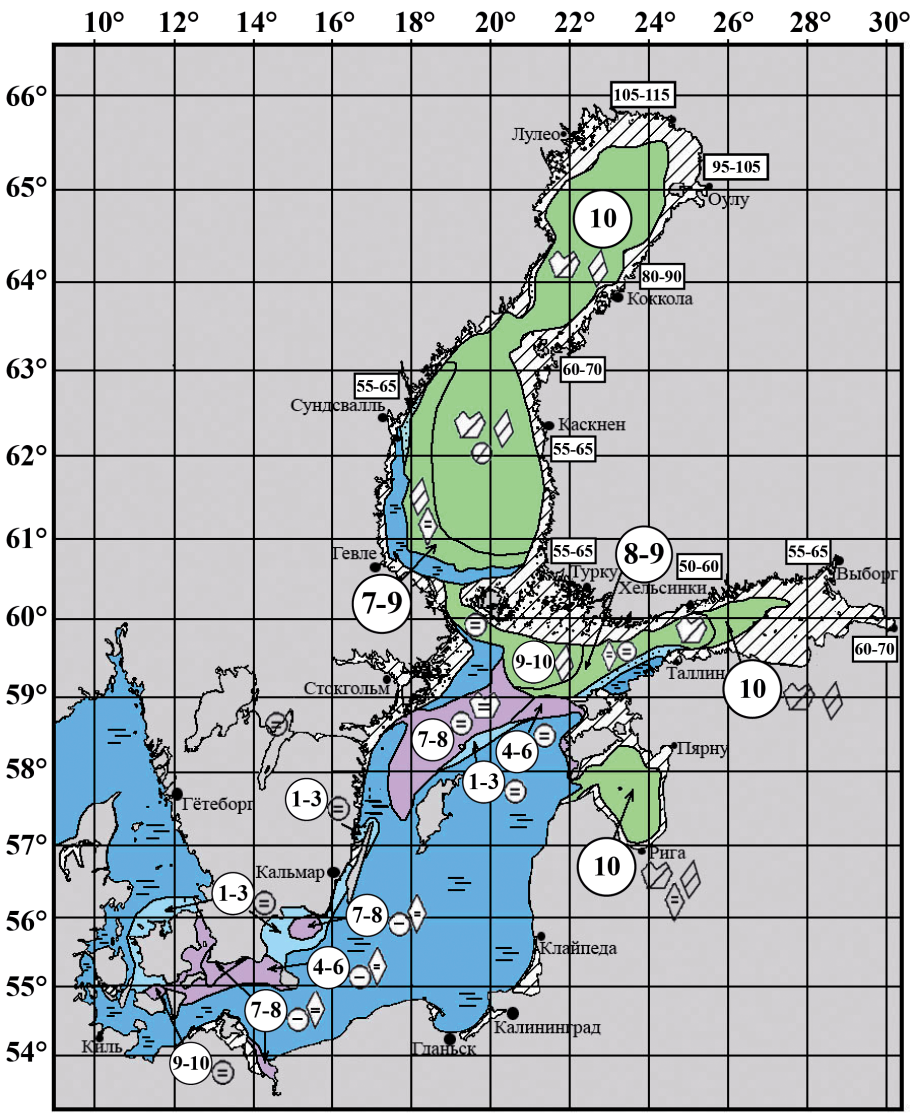


Рис. 4.18. Ледовая обстановка в Балтийском море в марте 1985 года. Суровая зима.

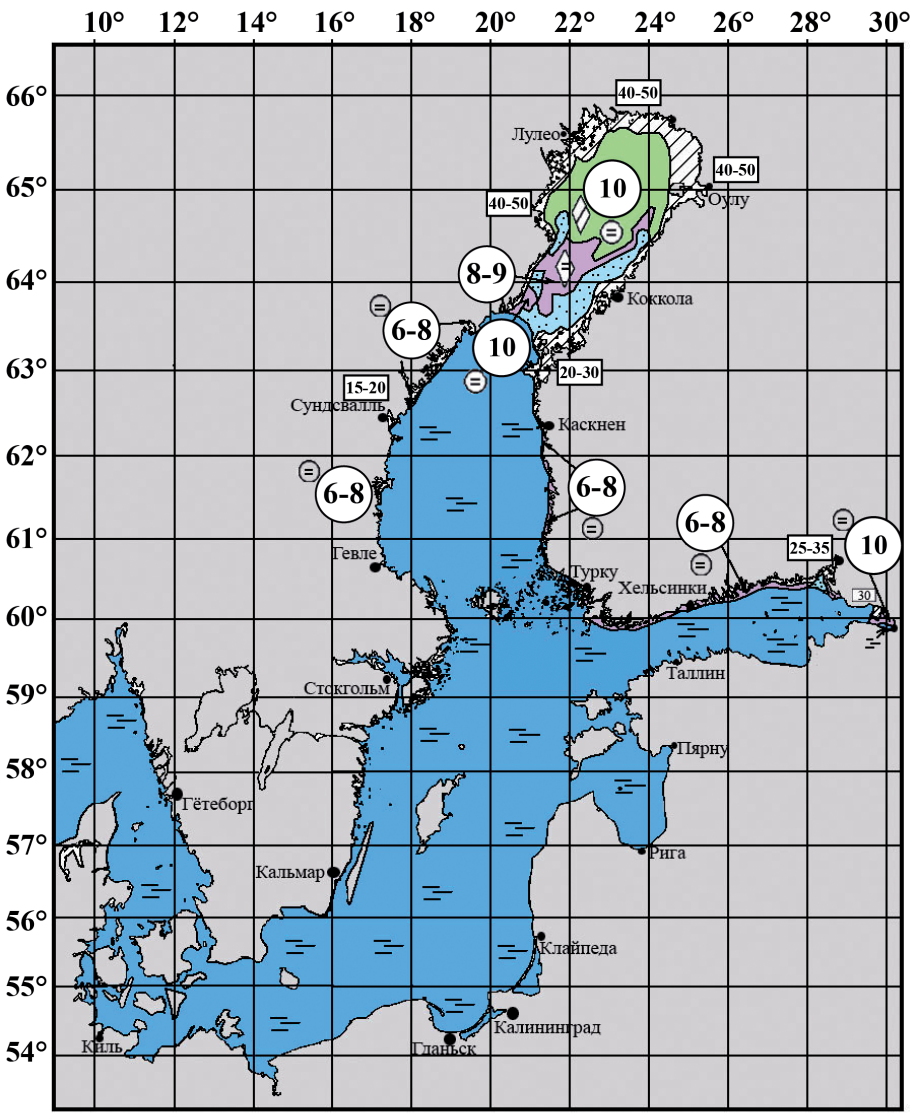


Рис. 4.19. Ледовая обстановка в Балтийском море в апреле 2009 года. После мягкой зимы.

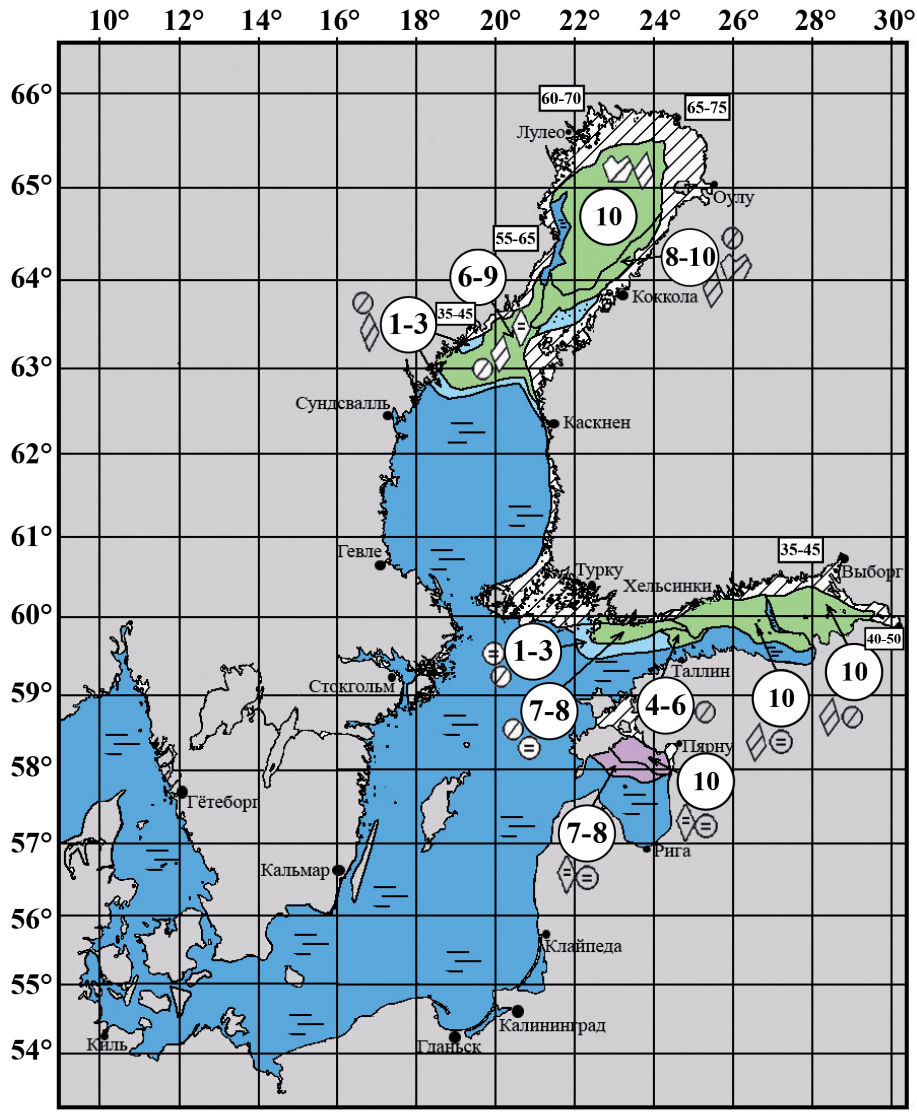


Рис. 4.20. Ледовая обстановка в Балтийском море в апреле 1994 года. После умеренной зимы.

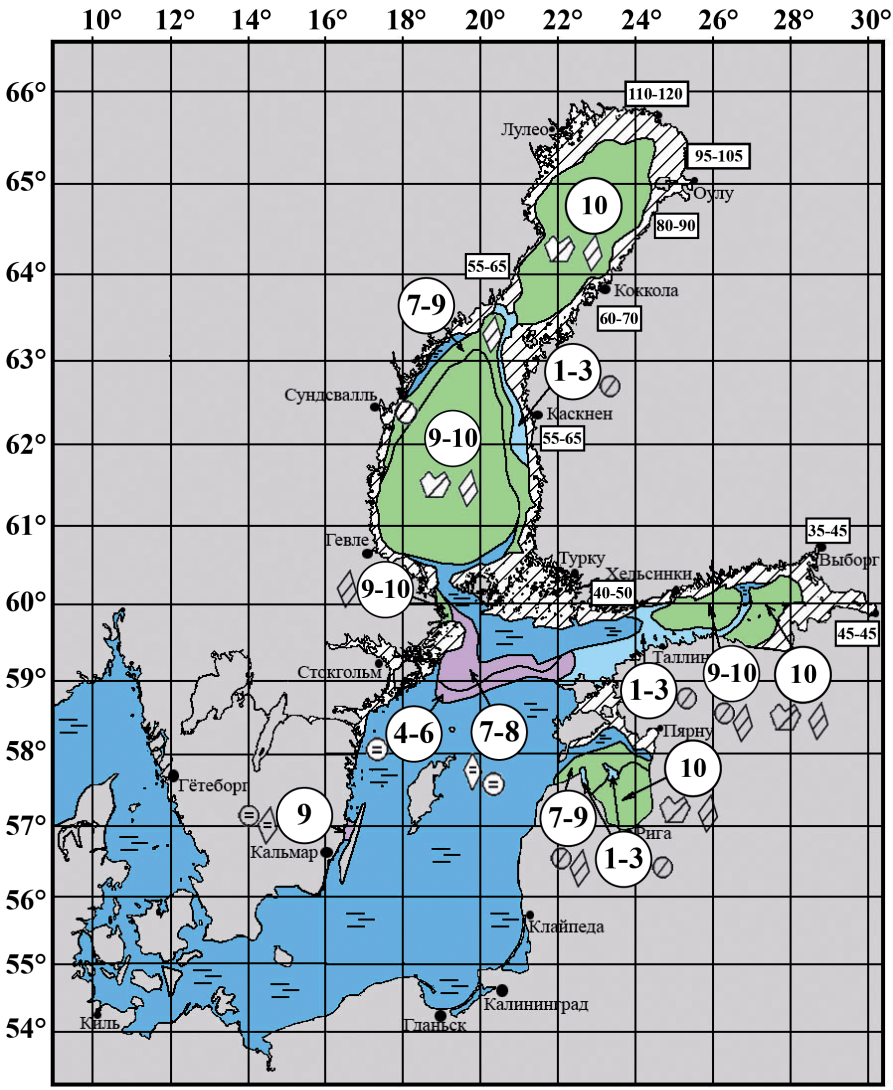


Рис. 4.21. Ледовая обстановка в Балтийском море в апреле 1985 года. После суровой зимы.

В табл. 4.3–4.7 приведена информация о преобладающих характеристиках ледовой обстановки на трассе устье Финского залива (22°20' в.д.) – Санкт-Петербург в январе–мае.

На рис. 4.22–4.24 – ледовая обстановка в середине мая 2009, 1994 и 1985 гг. (раскраска – по летней шкале – по преобладающей сплоченности дрейфующего льда [76]).

Таблица 4.3

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе устье Финского залива (22° 20' в.д.) – Санкт-Петербург в январе

Участок трассы	22° 20' в.д. – Таллинн	Таллинн – о. Гогланд	о. Гогланд – м. Стирсудден	м. Стирсудден – о. Котлин	о. Котлин – Санкт-Петербург
Мягкая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	10–20 (в вершине Невской губы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0	0	9–10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	чисто	чисто	серый, нилас
Умеренная зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	30–40
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	7–8	9–10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	серо-белый, серый	серо-белый, серый	–
Суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	30–40	35–45
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	7–8 (от о. Вайндло)	9–10	–	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	серый, нилас	серо-белый, серый	–	–
Самая суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	35–45 (от о. Мощный)	40–50	55–65
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	9–10 (от о. Вайндло)	9–10	–	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	серый, нилас	серо-белый, серый	–	–

Таблица 4.4

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе устье Финского залива (22°20' в.д.) – Санкт-Петербург в феврале

Участок трассы	22°20' в.д. – Таллинн	Таллинн – о. Гогланд	о. Гогланд – м. Стирсудден	м. Стирсудден – о. Котлин	о. Котлин – Санкт-Петербург
Мягкая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	25–35
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	7–10	9–10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	серо-белый, серый	серо-белый, серый	–
Умеренная зима					
Толщина припая, см	–	–	–	45–55	50–60
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	6–8	8–10	10	–	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	начальные виды	серо-белый	тонкий однолетний (до 40 см), серо-белый	–	–
Суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	50–60	55–65
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	9–10	10 (мало-подвижный)	–	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый	серо-белый	тонкий однолетний (до45 см), серо-белый	–	–
Самая суровая зима					
Толщина припая, см	–	40–50 (от о. Вайндло)	55–65	65–75	70–90
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	9–10	–	–	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 50 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 60 см), серо-белый	=	–	–

Таблица 4.5

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе устье Финского залива (22°20' в.д.) – Санкт-Петербург в марте

Участок трассы	22°20' в.д. – Таллинн	Таллинн – о. Гогланд	о. Гогланд – м. Стирсудден	м. Стирсудден – о. Котлин	о. Котлин – Санкт-Петербург
Мягкая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	35–45
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	7–10	9–10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	серо-белый, серый	серо-белый, серый	–
Умеренная зима					
Толщина припая, см	–	–	–	50–60	55–65
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	9–10	10	–	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	тонкий однолетний (до 40 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 45 см)	–	–
Суровая зима					
Толщина припая, см	–	45–55 (от о. Вайндло)	45–55	55–65	60–70
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	7–9	9–10	–	–	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 40 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 45 см)	–	–	–
Самая суровая зима					
Толщина припая, см	–	55–65	60–70	70–80	80–90
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	–	–	–	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 50 см), серо-белый	–	–	–	–

Таблица 4.6

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе устье Финского залива (22°20' в.д.) – Санкт-Петербург в апреле

Участок трассы	22°20' в.д. – Таллинн	Таллинн – о. Гогланд	о. Гогланд – м. Стирсудден	м. Стирсудден – о. Котлин	о. Котлин – Санкт-Петербург
Мягкая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0	0	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	чисто	чисто	серо-белый
Умеренная зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	40–50
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	9–10	10	10	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	тонкий однолетний (до 40 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 40 см)	тонкий однолетний (до 40 см)	–
Суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	35–45 (от о. Мощный)	40–50	45–55
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	1–3	9–10	10	–	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 40 см)	тонкий однолетний (до 50 см)	тонкий однолетний (до 50 см)	–	–
Самая суровая зима					
Толщина припая, см	–	45–50 (в стадии взлома)	50–60	55–65	65–75
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	–	–	–	–
Возрастная характеристика дрейфующего льда	тонкий однолетний (до 50 см), серо-белый	–	–	–	–

Таблица 4.7

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе устье Финского залива (22° 20' в.д.) – Санкт-Петербург в мае

Участок трассы	22° 20' в.д. – Таллинн	Таллинн – о. Гогланд	о. Гогланд – м. Стирсудден	м. Стирсудден – о. Котлин	о. Котлин – Санкт-Петербург
Мягкая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	чисто	чисто	чисто
Умеренная зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	чисто	чисто	чисто
Суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	1–3 (пятна)	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	тонкий однолетний (до 45 см)	чисто	чисто
Самая суровая зима					
Толщина припая, см	–	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	2–4	5–6	1–3	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	тонкий одно-летний (до 45 см)	тонкий однолетний (до 50 см)	тонкий однолетний (до 45 см)	чисто

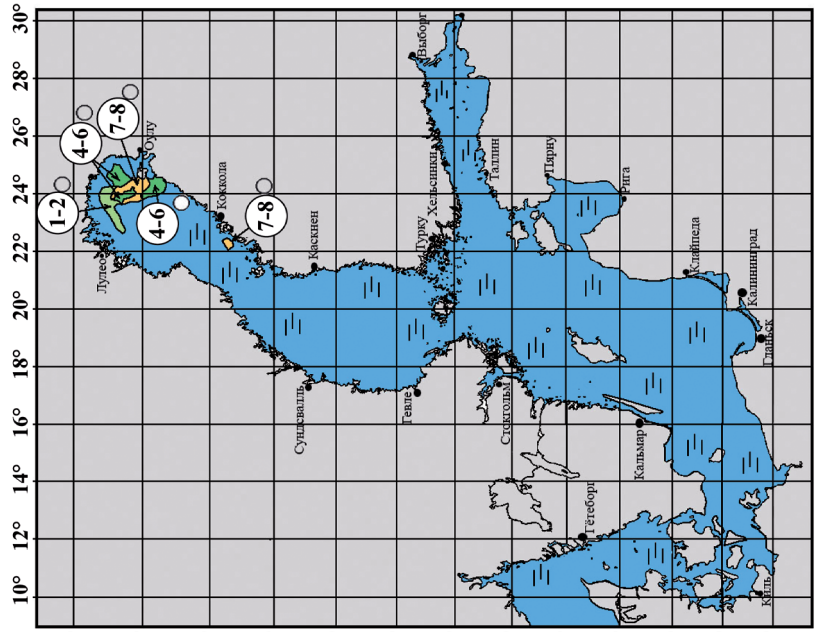


Рис. 4.23. Ледовая обстановка в Балтийском море в мае 1994 года. После умеренной зимы.

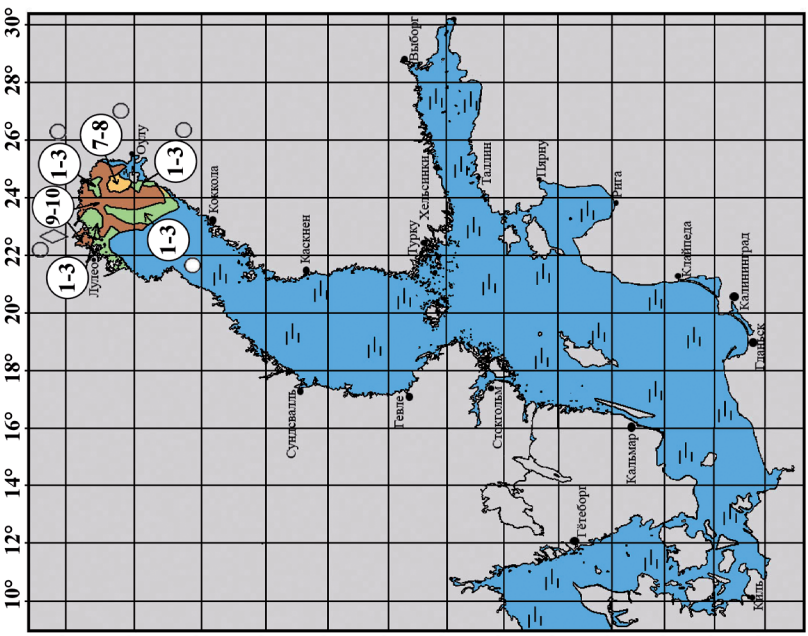


Рис. 4.22. Ледовая обстановка в Балтийском море в мае 2009 года. После мягкой зимы.

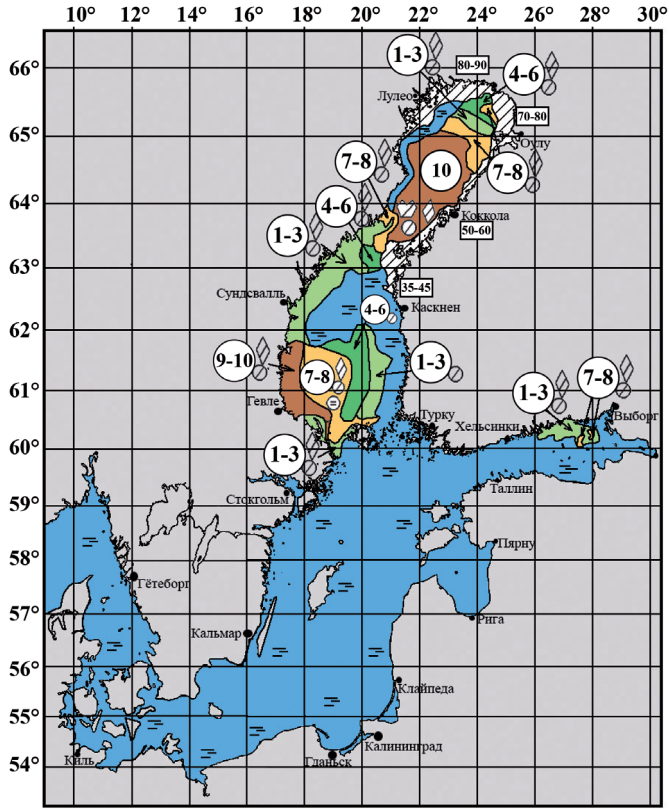


Рис. 4.24. Ледовая обстановка в Балтийском море в мае 1985 года. После суровой зимы.

4.4. Ледообразование в Балтийском море

В настоящем издании для характеристики ледового режима Балтийского моря использованы материалы наблюдений на гидрометеорологических станциях, данные ледовых авиаразведок (выполненные специалистами России, Швеции, Финляндии, Германии) за ряд лет – с 1929 по 1992 г., данные ИСЗ с конца 80-х гг. XX века по настоящее время. Кроме того, для характеристики ледового режима Балтийского моря было привлечено ряд аналитических российских и зарубежных работ [6, 7, 79, 80, 98].

В табл. 4.8 приведены даты наступления ледовых фаз по данным ГМС Финского залива. Анализ осуществлен за полный ряд наблюдений по станциям (62–124 года) и за последние 30 лет. В табл. 4.9 – даты первого появления льда, окончательного очищения моря ото льда и продолжительности ледового периода для первых 12 лет XXI века.

Таблица 4.8

Даты наступления основных ледовых фаз в Финском заливе

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Первое полное замерзание	Первый взлом припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ (с сезона 1920/1921 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 92 года)						
Средняя	22.11	27.11	11.12	4.04	23.04	151
Ранняя	29.10 (1920)	30.10 (1992)	9.11 (1921)	18.01 (1989)	24.03 (1989)	95 (2006/07)
Поздняя	2.01 (2012)	6.01 (1933)	10.02 (2005)	30.04 (1956)	19.05 (1926)	194 (1941/42)
СКО	13	15	21	18	11	19
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	25.11	27.11	25.12	22.03	16.04	143
Ранняя	30.10 (1992)	30.10 (1992)	20.11 (1993)	18.01 (1989)	24.03 (1989)	95 (2006/07)
Поздняя	2.01 (2012)	2.01 (2012)	10.02 (2005)	17.04 (1998)	4.05 (1996)	173 (1995/96)
СКО	15	14	22	23	11	18
ЛИСИЙ НОС (с сезона 1922/1923 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 90 лет)						
Средняя	13.11	21.11	9.12	11.04	25.04	164
Ранняя	15.10 (1927)	20.10 (1976)	6.11 (1941)	26.01 (2002)	23.03 (1989)	115 (2011/12)
Поздняя	2.01 (2012)	2.01 (2012)	9.02 (2005)	10.05 (1926)	17.05 (1942)	213 (1941/42)
СКО	15	13	20	19	10	20
ЛИСИЙ НОС (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	21.11	24.11	25.12	25.03	19.04	149
Ранняя	26.10 (1992)	26.10 (1992)	20.11 (1993)	26.01 (2002)	23.03 (1989)	115 (2011/12)
Поздняя	2.01 (2012)	2.01 (2012)	9.02 (2005)	19.04 (1998)	5.05 (1996)	177 (1992/93, 1997/98)
СКО	15	16	21	22	10	17
КРОНШТАДТ (с сезона 1888/1889 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 124 года)						
Средняя	19.11	27.11	18.12	9.04	28.04	160
Ранняя	16.10 (1976)	3.11 (1988)	9.11 (1956)	29.02 (2000)	21.03 (1989)	103 (2006/07)
Поздняя	2.01 (2012)	22.01 (1930)	14.03 (2005)	11.05 (1902)	23.05 (1942)	203 (1894/95)
СКО	15	16	24	15	11	20

Продолжение табл. 4.8

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Первое полное замерзание	Первый взлом припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
КРОНШТАДТ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	25.11	27.11	3.01	27.03	20.04	146
Ранняя	26.10 (1992)	3.11 (1988)	20.11 (1993)	29.02 (2000)	21.03 (1989)	103 (2006/07)
Поздняя	2.01 (2012)	21.01 (2007)	14.03 (2005)	19.04 (1998)	6.05 (1996)	179 (1995/96)
СКО	16	17	25	13	9	19
УСТЬ-ЛУГА (с сезона 1920/1921 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 92 года)						
Средняя	23.11	11.12	14.01	10.04	22.04	149
Ранняя	15.10 (1976)	15.10 (1976)	1.12 (1973)	7.01 (1989)	25.02 (1989)	64 (2007/08)
Поздняя	22.01 (2007)	18.02 (1925)	10.03 (1925)	7.05 (1956)	20.05 (1923)	191 (1925/26)
СКО	18	25	22	21	14	26
УСТЬ-ЛУГА (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	4.12	14.12	25.01	28.03	13.04	129
Ранняя	26.10 (1992)	12.11 (1983)	23.12 (1987)	7.01 (1989)	25.02 (1989)	64 (2007/08)
Поздняя	22.01 (2007)	16.02 (2008)	28.02 (2005)	29.04 (1998)	5.05 (2003)	175 (1992/93)
СКО	19	25	22	28	17	29
ВЫБОРГ (с сезона 1945/1946 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 67 лет)						
Средняя	20.11	25.11	1.12	21.04	29.04	161
Ранняя	25.10 (1992)	25.10 (1992)	4.11 (1976)	26.03 (1990)	6.04 (2007)	120 (2011/12)
Поздняя	1.01 (2012)	1.01 (2012)	23.01 (2007)	6.05 (1947)	16.05 (1956)	186 (1956/57)
СКО	13	15	16	8	8	16
ВЫБОРГ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	22.11	25.11	6.12	20.04	26.04	155
Ранняя	25.10 (1992)	25.10 (1992)	15.11 (1998)	26.03 (1990)	6.04 (2007)	120 (2011/12)
Поздняя	1.01 (2012)	1.01 (2012)	23.01 (2007)	4.05 (1998)	8.05 (1985)	185 (1992/93)
СКО	15	17	18	9	8	16

Окончание табл. 4.8

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Первое полное замерзание	Первый взлом припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
ПРИМОРСК (с сезона 1950/1951 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 62 года)						
Средняя	14.12	21.12	31.12	16.04	29.04	134
Ранняя	18.11 (1993)	19.11 (1993)	2.12 (1927)	10.02 (1990)	7.04 (1989)	75 (2006/07)
Поздняя	26.01 (2007)	26.01 (2007)	17.02 (1992)	5.05 (2003)	22.05 (1956)	173 (1954/55)
СКО	16	15	18	13	9	20
ПРИМОРСК (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	15.12	23.12	6.01	13.04	24.04	129
Ранняя	18.11 (1993)	19.11 (1993)	15.12 (1993)	10.02 (1990)	7.04 (1989)	75 (2006/07)
Поздняя	26.01 (2007)	26.01 (2007)	17.02 (1992)	5.05 (2003)	10.05 (1987)	159 (1993/94)
СКО	18	18	21	16	8	21

Примечание. «Н.с.» – нет сведений; СКО – среднее квадратическое отклонение.

Таблица 4.9

Средние даты наступления ледовых фаз в Финском заливе по 12-летнему ряду наблюдений в XXI веке

ГМС	Первое появление льда	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
Санкт-Петербург	3.12	17.04	136
Лисий Нос	28.11	19.04	142
Кронштадт	4.12	20.04	137
Выборг	29.11	25.04	147

На рис. 4.25 показаны изохроны средних сроков устойчивого образования льда в Балтийском море.

На рис. 4.26–4.28 представлены карты изохрон раннего, среднего и позднего устойчивого ледообразования в Финском и Рижском заливах.

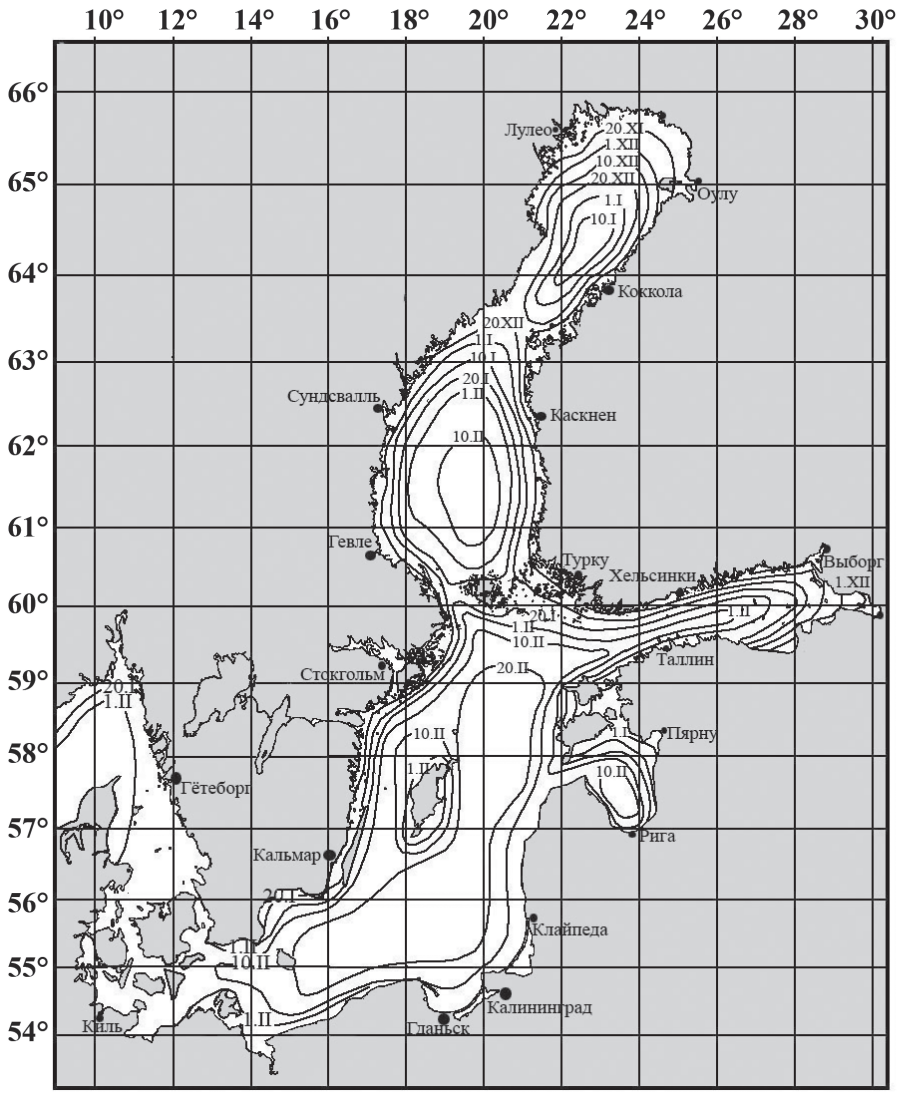


Рис. 4.25. Средние сроки устойчивого образования льда в Балтийском море.

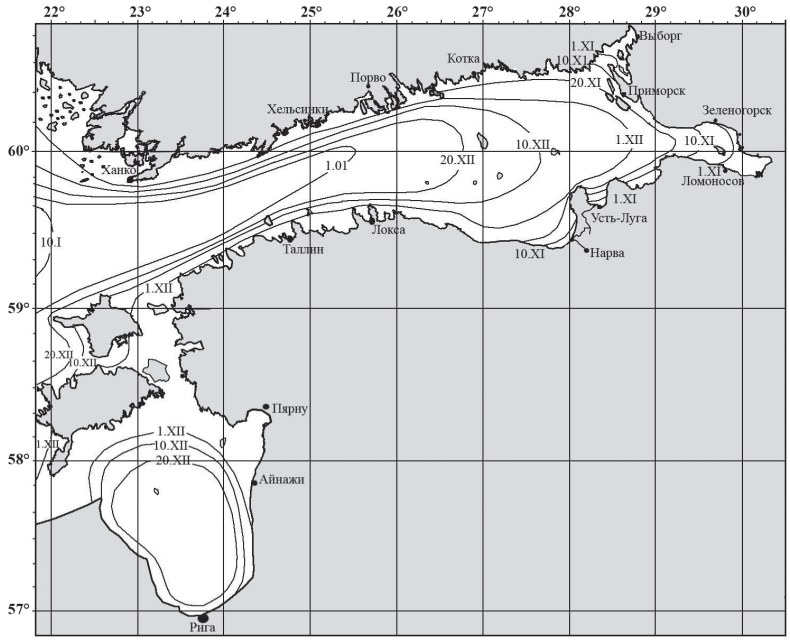


Рис. 4.26. Ранние сроки устойчивого образования льда в Финском и Рижском заливах.

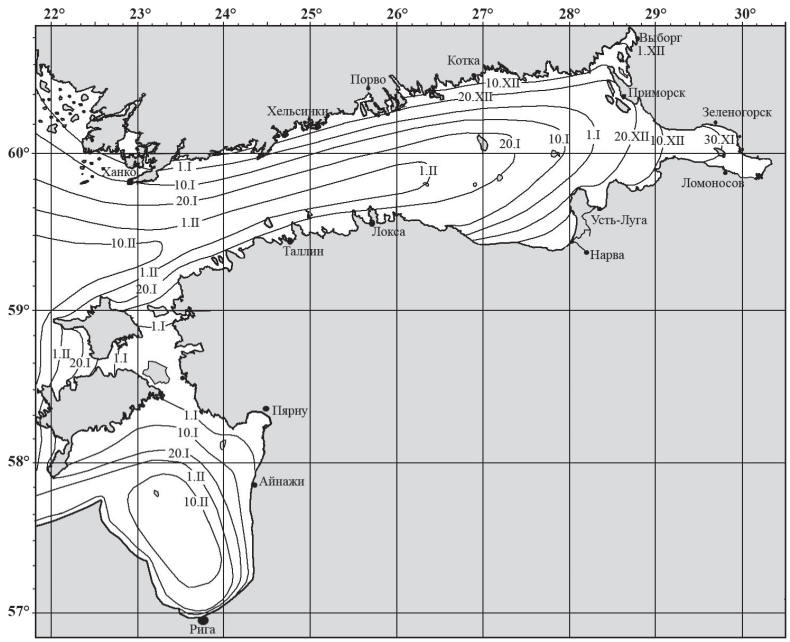


Рис. 4.27. Средние сроки устойчивого образования льда в Финском и Рижском заливах.

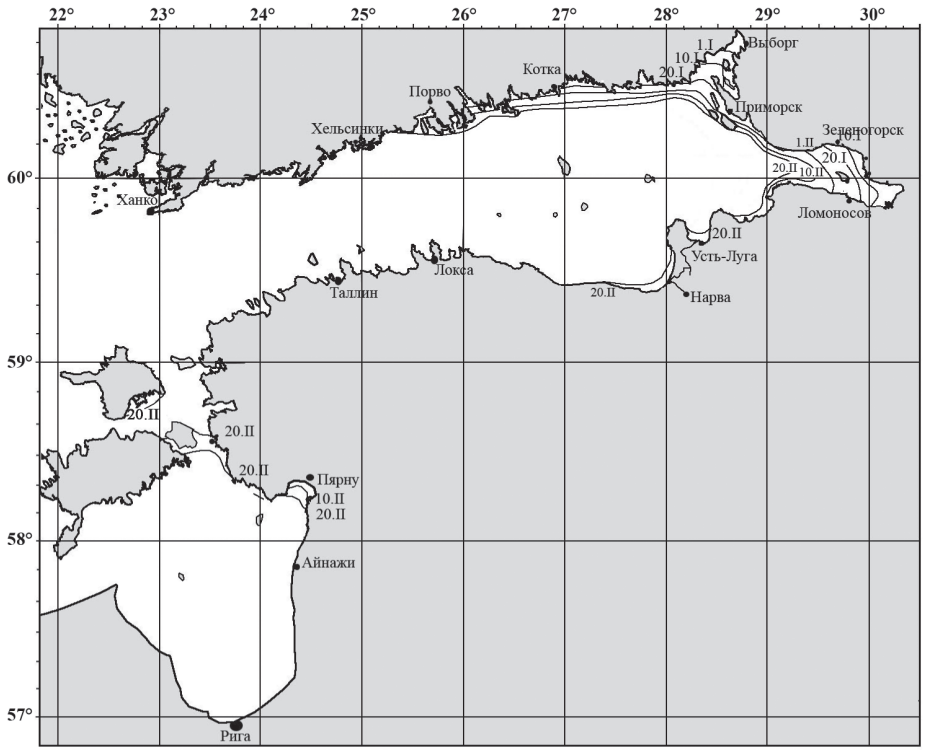


Рис. 4.28. Поздние сроки устойчивого образования льда в Финском и Рижском заливах.

Ледообразование в Балтийском море начинается с северного побережья Ботнического залива в среднем во второй декаде ноября (рис. 4.25). Далее в северной части Ботнического залива (район 1) оно распространяется от берегов к центральной части района и охватывает всю северную часть залива к середине января. Центральную часть пролива Норра-Кваркен (район 2) волна ледообразования проходит в среднем в первой-второй декадах января. Южная часть Ботнического залива (район 3) обычно полностью покрывается льдом (вдоль берегов – припайным, а в мористой области – дрейфующим) к середине февраля. Довольно часто центральная часть южного района Ботнического залива бывает свободной ото льда не только в мягкие, но и в отдельные умеренные зимы.

Первое появление льда в Финском заливе обычно раньше всего происходит в Выборгском заливе и Невской губе в среднем во второй-третьей декадах ноября. Ледообразование распространяется в западном направлении и достигает района Таллинна к середине декабря. При этом разброс дат первого появления льда в Финском заливе достаточно велик. Так, по 124-летнему ряду

наблюдений в районе Кронштадта первое ледообразование может начаться как в середине октября, так и в конце декабря.

В первую очередь лед, как правило, появляется в заливах и бухтах, глубоко вдающихся в берег. Устойчивое ледообразование происходит в среднем на 5–10 дней позже первого появления льда; в Невской губе и в вершине Выборгского залива это бывает в среднем в конце ноября, в районе о. Мощный – в первой декаде января, а в районе Таллинна – во второй декаде января (рис. 4.27). Межгодовая изменчивость сроков начала устойчивого ледообразования в Финском заливе составляет по данным различных станций 60–80 суток. Наибольшего развития ледяной покров здесь достигает в среднем к середине февраля. В Рижском заливе ледовый период, как правило, начинается в конце декабря.

В Центральной Балтике (районы 8–11) ледообразование обычно начинается в заливах и бухтах в декабре. Однако только к началу февраля кромка льда отодвигается от береговой черты на 15–25 миль. В мористой части западного района Центральной Балтики наиболее вероятно появление льда во второй декаде февраля, в восточном районе (достаточно редко) – в третьей декаде февраля.

В мелководных Куршском и Вислинском заливах выхолаживание воды происходит очень быстро, и через несколько дней после начала ледообразования (которое происходит в среднем во второй-третьей декадах декабря) в заливах устанавливается припай.

В проливах Зунд, Большой Бельт, Малый Бельт, Каттегат и Скагеррак первый лед появляется в среднем в конце января суровых зим. Максимальное развитие ледяного покрова в проливах отмечается в конце февраля. В открытых частях Центральной Балтики и в Датских проливах лед появляется не каждую зиму.

При ранних сроках ледообразования в первой декаде декабря лед образуется на всей акватории северной части Ботнического залива, а в середине января – в южной части залива. В первой декаде января покрываются льдом Финский и Рижский заливы (рис. 4.26), в середине января – Датские проливы, а в начале февраля – центральная часть Балтийского моря.

Анализ табл. 4.8 показывает, что за последнее 30-летие даты ледообразования, по данным морских гидрометеорологических станций Финского залива, сдвинулись в сторону более поздних сроков в среднем на 4–8 суток. Сроки очищения моря ото льда сдвинулись в сторону более ранних сроков на 3–8 суток. Продолжительность ледового периода сократилась в среднем на 1,5–2 недели. По данным сравнения табл. 4.8 и 4.9, еще более явные факты климатических изменений показывают первые 12 лет XXI века: даты ледообразования, по сравнению с многолетними средними значениями, сдвинулись в сторону более поздних сроков на 9–15 дней, а даты очищения моря ото льда – в сторону более ранних сроков на 4–8 суток. Продолжительность ледового периода сократилась в среднем на 2–3 недели.

4.5. Нарастание и распространение льда в Балтийском море

Положение границ распространения льда (средних, максимальных и минимальных) в Балтийском море, представленное на рис. 4.29 для декабря–мая, имеет большую межгодовую изменчивость.

Анализ рис. 4.29а показывает, что в середине декабря центральная часть Балтики всегда свободна ото льда. Вдоль северного побережья Ботнического залива в это время ежегодно наблюдается лед, а в вершине Финского залива лед в 10 % случаев отсутствует.

В середине января (рис. 4.29б) лед обычно наблюдается в северных частях Ботнического и Рижского заливов, а также в восточной части Финского залива. В отдельные суровые зимы лед в это время может наблюдаться в северной части Центральной Балтики (район 8), вдоль всех побережий Центральной Балтики (в виде полосы шириной 10–30 миль), в районе о. Готланд, в Датских проливах.

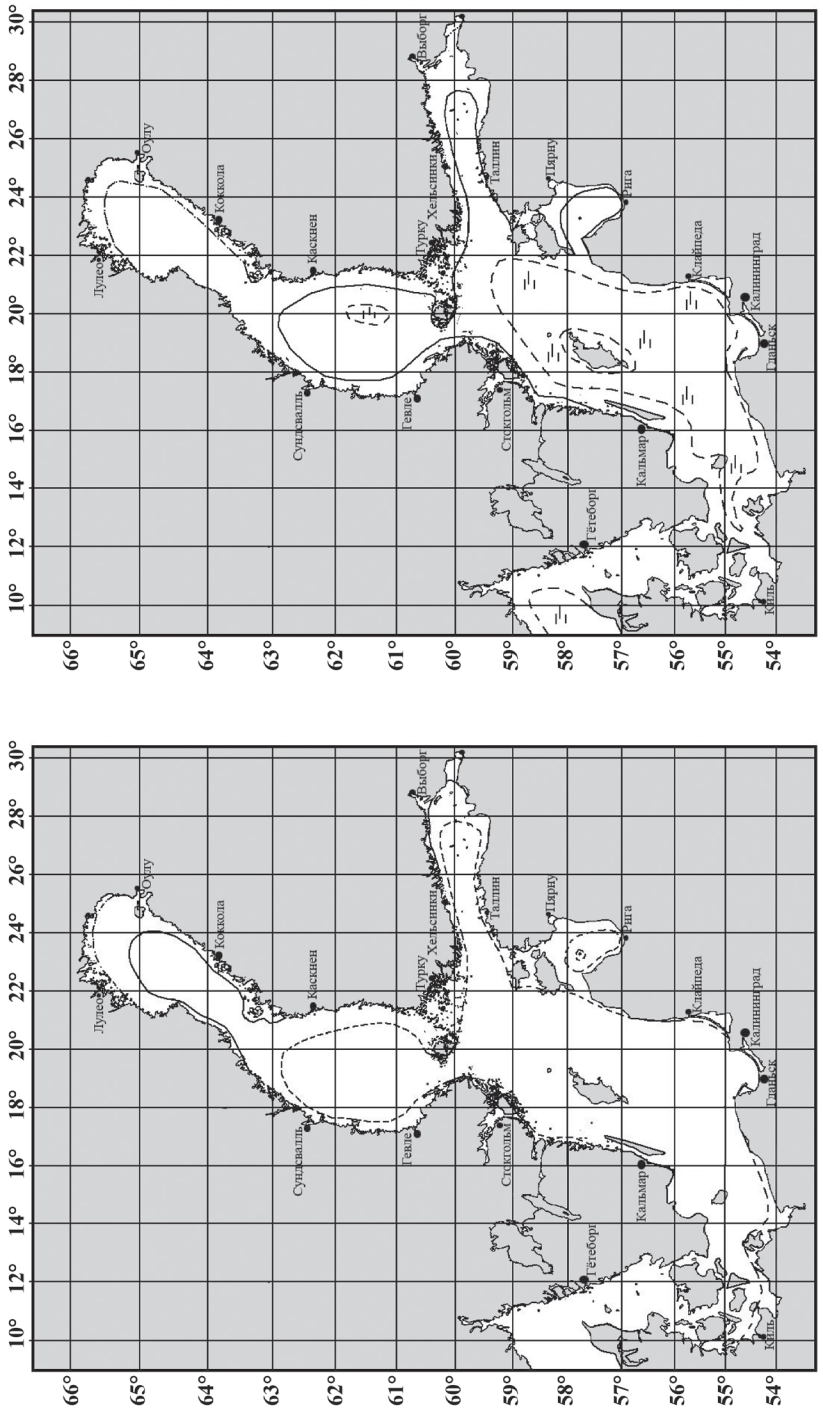
К середине февраля (рис. 4.29в) ледяной покров достигает момента наибольшего распространения. В отдельные суровые зимы ледовитость Балтийского моря в это время может составлять 100 % (рис. 4.15). В этом случае осуществляется вынос масс дрейфующего льда из Балтийского моря в пролив Скагеррак, а оттуда – в Северное море. Этот процесс осуществляется эпизодически под действием ветров восточных румбов. Со сменой ветров на западные лед иногда возвращается обратно. В наиболее мягкие зимы лед в это время может наблюдаться только на севере Ботнического залива и в вершинах Финского и Выборгского заливов, при этом общая ледовитость Балтийского моря составляет менее 15 %.

На рис. 4.30 и 4.31 – снимки с ИСЗ ледовой обстановки в Ботническом и Финском заливах в середине февраля умеренной зимы 2009/2010 годов.

К середине марта (рис. 4.29г), как правило, ледовитость Финского и Ботнического заливов достигает максимальных за ледовый период значений. При этом общая ледовитость Балтийского моря уменьшается, по сравнению с февральской, за счет начала процесса очищения в Датских проливах и в Центральной Балтике.

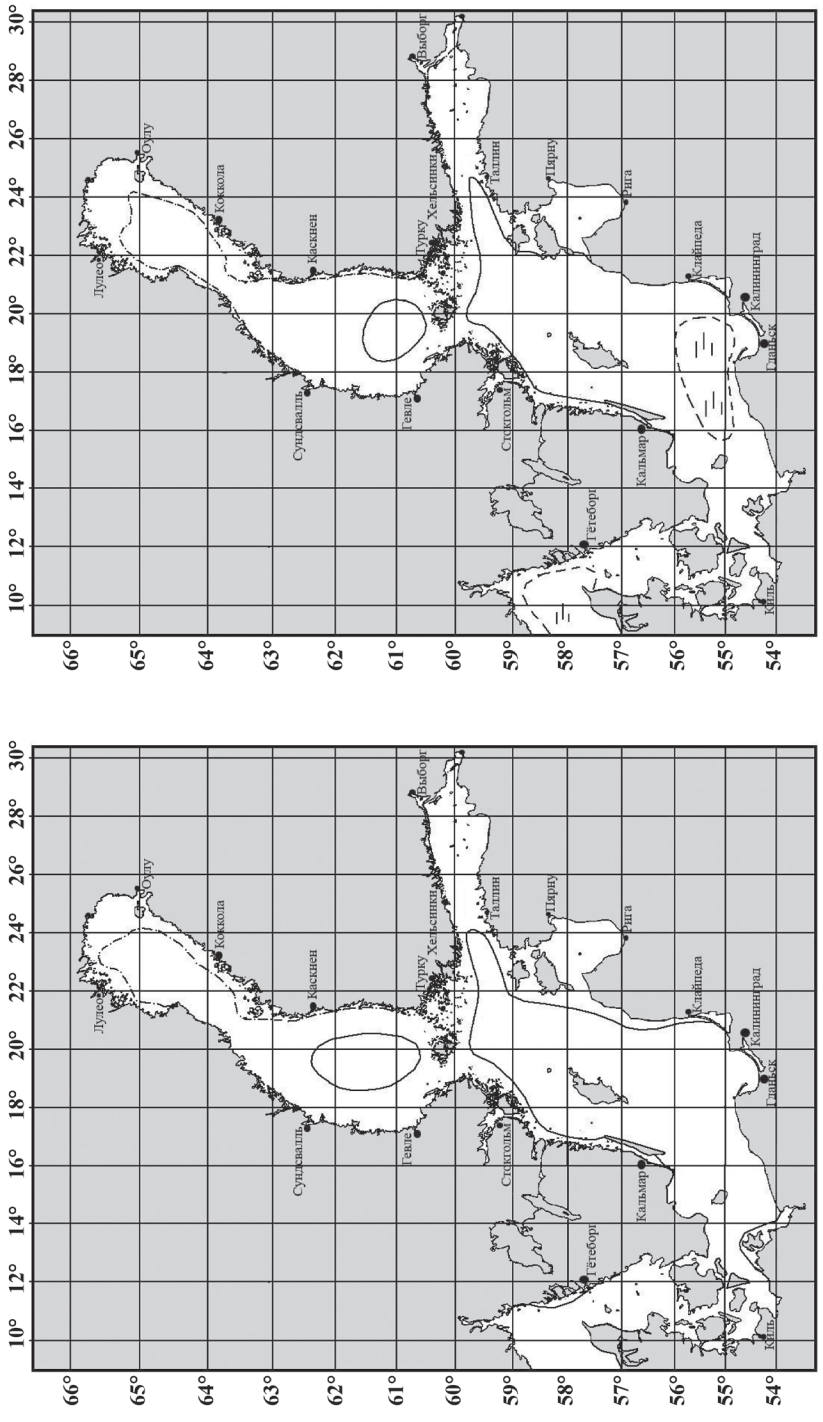
В середине апреля (рис. 4.29д) даже в самые суровые зимы процесс очищения моря ото льда уже охватывает всю южную часть Балтики (к югу от параллели 58° с.ш.). Среднее положение кромки соответствует наличию чистой воды на акватории всей Центральной Балтики, а также южных частей Ботнического и Рижского заливов и юго-западной части Финского залива. В наиболее мягкие зимы лед сохраняется только на севере Ботнического залива (к северу от параллели 65° с.ш.).

В середине мая (рис. 4.29е) лед обычно сохраняется в виде пятен различной сплоченности лишь на севере Ботнического залива. После отдельных суровых зим лед может наблюдаться на большей части акватории Ботнического залива, а также на северо-востоке Финского и Рижского заливов.



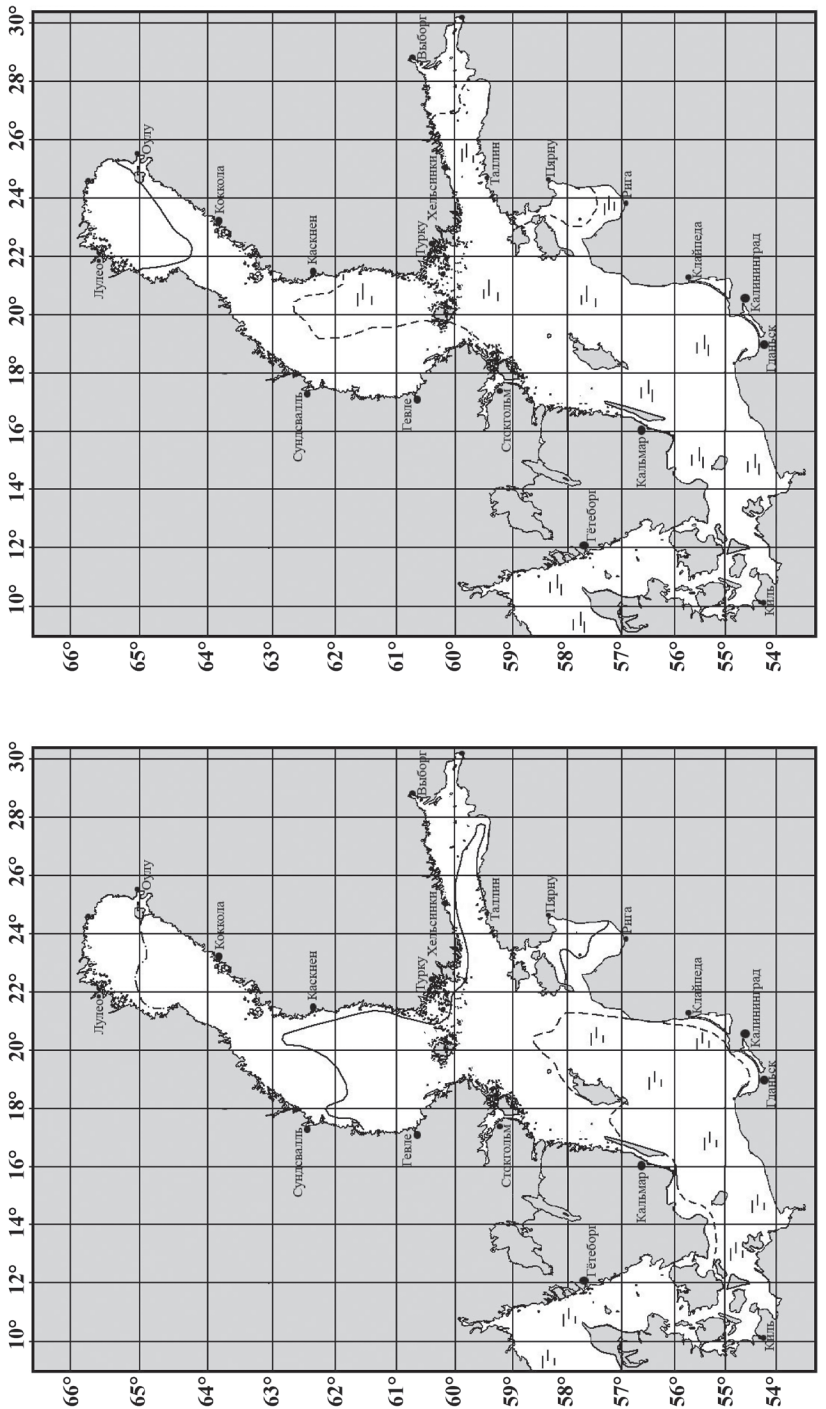
4.29а (декабрь)

4.29б (январь)



4.29в (февраль)

4.29г (март)



4.29д (апрель) 4.29е (май)

Рис. 4.29. Положение границ льда в Балтийском море на середину месяца:
——— – среднее; – – – – максимальное; – · – · – – минимальное.

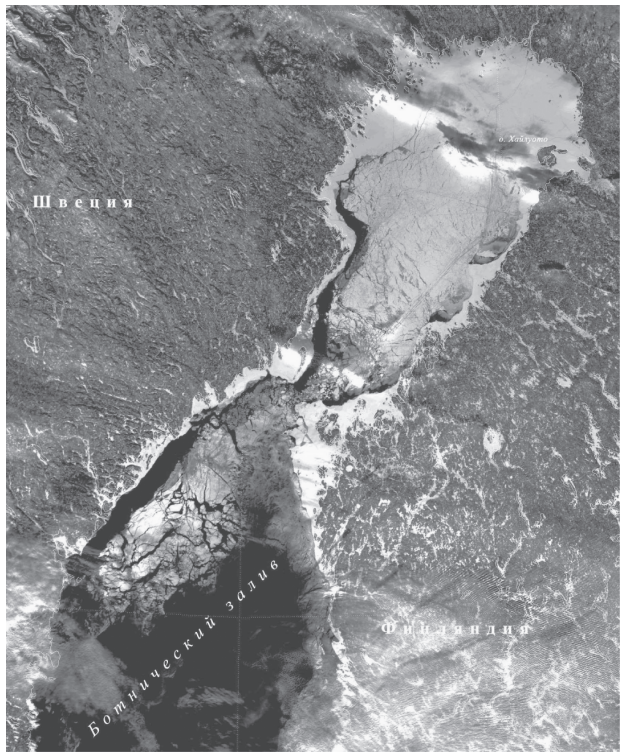


Рис. 4.30. Ледовая обстановка в Ботническом заливе в умеренную зиму. Февраль 2010 года. Снимок с ИСЗ AQUA (MODIS).

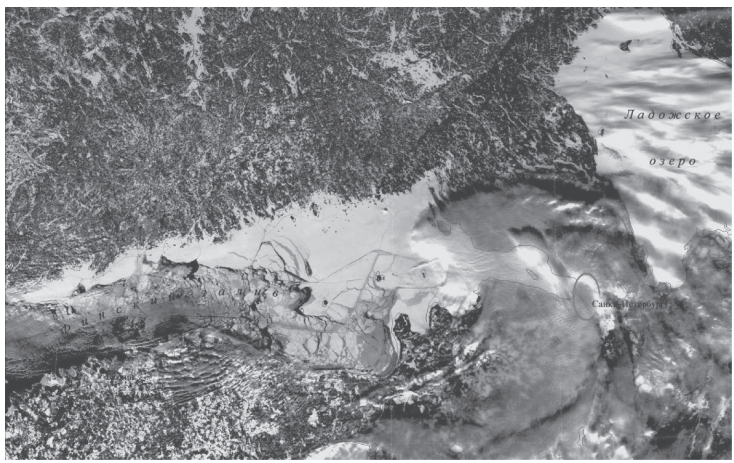


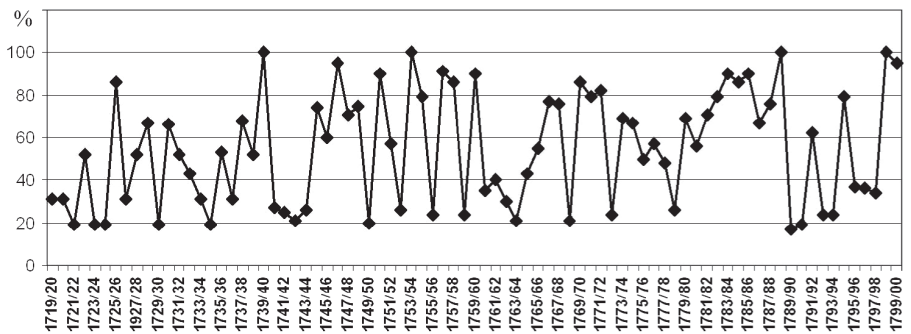
Рис. 4.31. Ледовая обстановка в Финском заливе в умеренную зиму. Февраль 2010 года. Снимок с ИСЗ AQUA (MODIS).

Наблюдения за ледяным покровом Балтийского моря – наиболее длительные и подробные, по сравнению с ледовыми наблюдениями на других европейских морях. Они начали производиться в Швеции (не регулярно) с середины XVI века для обеспечения нужд судоходства (это касается сроков начала ледообразования и очищения моря ото льда). Регулярные наблюдения ледовых фаз начались в Швеции с 1870 года.

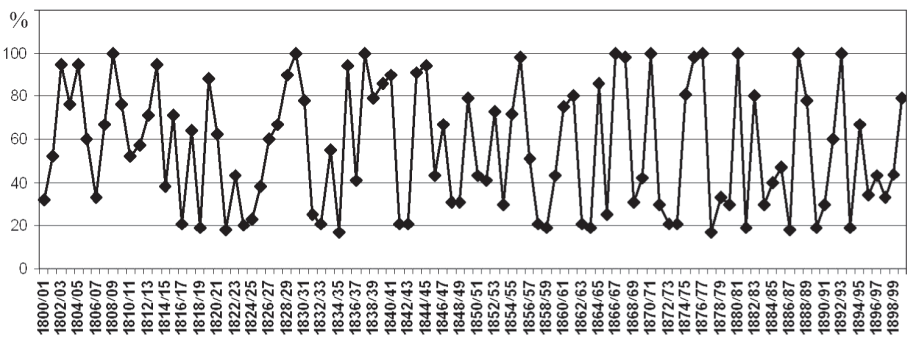
В России вскрытие и замерзание в районе реки Невы начали время от времени фиксировать уже с 1706 г., в районах Кронштадта – с 1814 г., Выборга – с 1861 года.

В 1952 г. финские ученые Р. Юрва и Э. Палозуо получили данные о максимальной за ледовый период ледовитости Балтийского моря по ряду лет, начиная с зимы 1719/1720 годов. Величина площади максимального распространения льда оценивалась на основе сведений о льдах, собранных на островных станциях, маяках и судах. В качестве косвенной характеристики ледовитости моря использовалась величина суммы градусодней мороза.

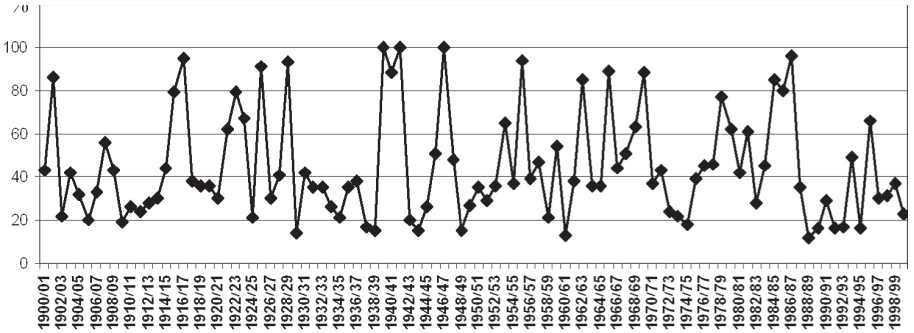
На рис. 4.32 приведены графики изменчивости максимальной за зимний сезон ледовитости Балтийского моря (в %) в XVIII–XXI вв. [11, 12].



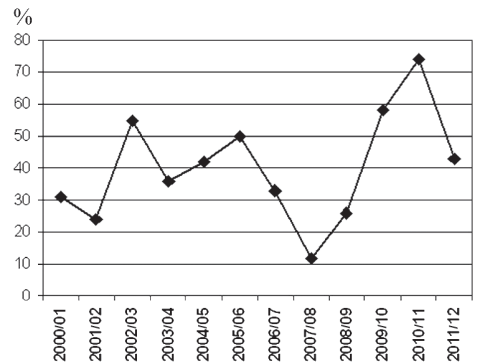
4.32а



4.32б



4.32в



4.32г

Рис. 4.32. Графики изменчивости максимальной за зимний сезон ледовитости Балтийского моря в XVIII (а), XIX (б), XX (в), XXI (г) вв.

Анализ рис. 4.32 (а–г) показывает, что повторяемость таких зим, когда ледовитость Балтийского моря достигала 100 %, составляет в XVIII веке 5 %, в XIX – 9 %, в XX – 3 %. За первые 12 лет XXI века зим с ледовитостью Балтийского моря 100 % не зафиксировано. Повторяемость зим, когда ледовитость Балтийского моря достигала 80 % и более, составляет в XVIII веке 22 %, в XIX веке – 26 %, в XX веке – 16 %. За первое 12-летие XXI века зим с ледовитостью Балтийского моря 80 % и более не зафиксировано.

В табл. 4.10 приведены данные о ледовитости Финского залива.

Анализ табл. 4.10 показывает, что в отдельные зимы средняя месячная ледовитость моря может быть близкой к 100 % в любой из месяцев с января по апрель. В среднем максимум ледовитости приходится на март. В отдельные мягкие зимы в любой период времени с декабря по апрель ледовитость моря может составлять менее 10 %.

Повторяемость зим, когда максимальная за зиму ледовитость Финского залива хотя бы в одну из декад достигает 100 %, составляет 52 %, причем эта цифра характеризует как весь период наблюдений, так и последний 12-летний период XXI века.

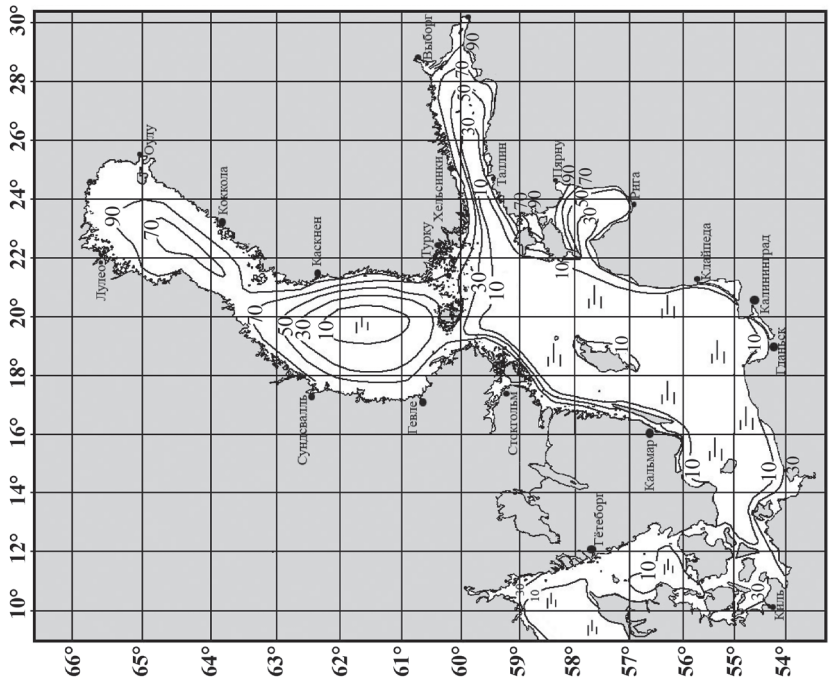
Таблица 4.10

Среднемесячная (осредненная по трем декадам) ледовитость Финского залива за весь период наблюдений, за последние 30 лет и за первые 12 лет XXI века (%)

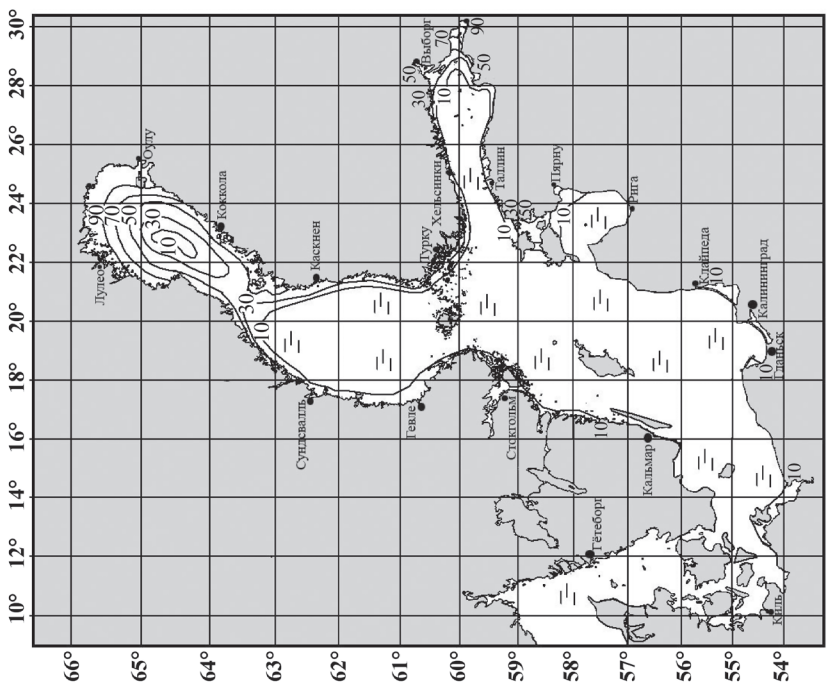
Месяц	XII	I	II	III	IV	V
с сезона 1950/1951 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 62 года						
Средняя	9	40	71	75	41	3
Макс.	59	99	100	100	100	24
Мин.	0	5	5	7	0	0
СКО	10	24	27	28	26	5
с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет						
Средняя	10	39	70	65	30	1
Макс.	59	99	100	100	93	24
Мин.	0	5	5	7	0	0
СКО	13	26	25	29	25	5
с сезона 2000/2001 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 12 лет						
Средняя	12	35	71	73	32	2
Макс.	59	99	100	100	93	24
Мин.	0	5	5	7	1	0
СКО	18	31	26	30	26	7

На рис. 4.33 (а–е) приведены карты повторяемости наличия льда в Балтийском море в середине месяца (с декабря по май), полученные по данным ледовых авиаразведок за 60–70-е гг. XX века [98]. На рис. 4.34 (а–е) – карты повторяемости наличия льда в Балтийском море в середине месяца, полученные по данным ИСЗ за первые 12 лет XXI века. Анализ рис. 4.33 показывает, что в середине декабря у северного побережья Ботнического залива и в Невской губе повторяемость наличия льда более 70 %. В районе судоходных трасс в Ботническом заливе к югу от параллели 63° с.ш. и в Финском заливе западнее меридиана 28° в.д. повторяемость наличия льда не более 10 %.

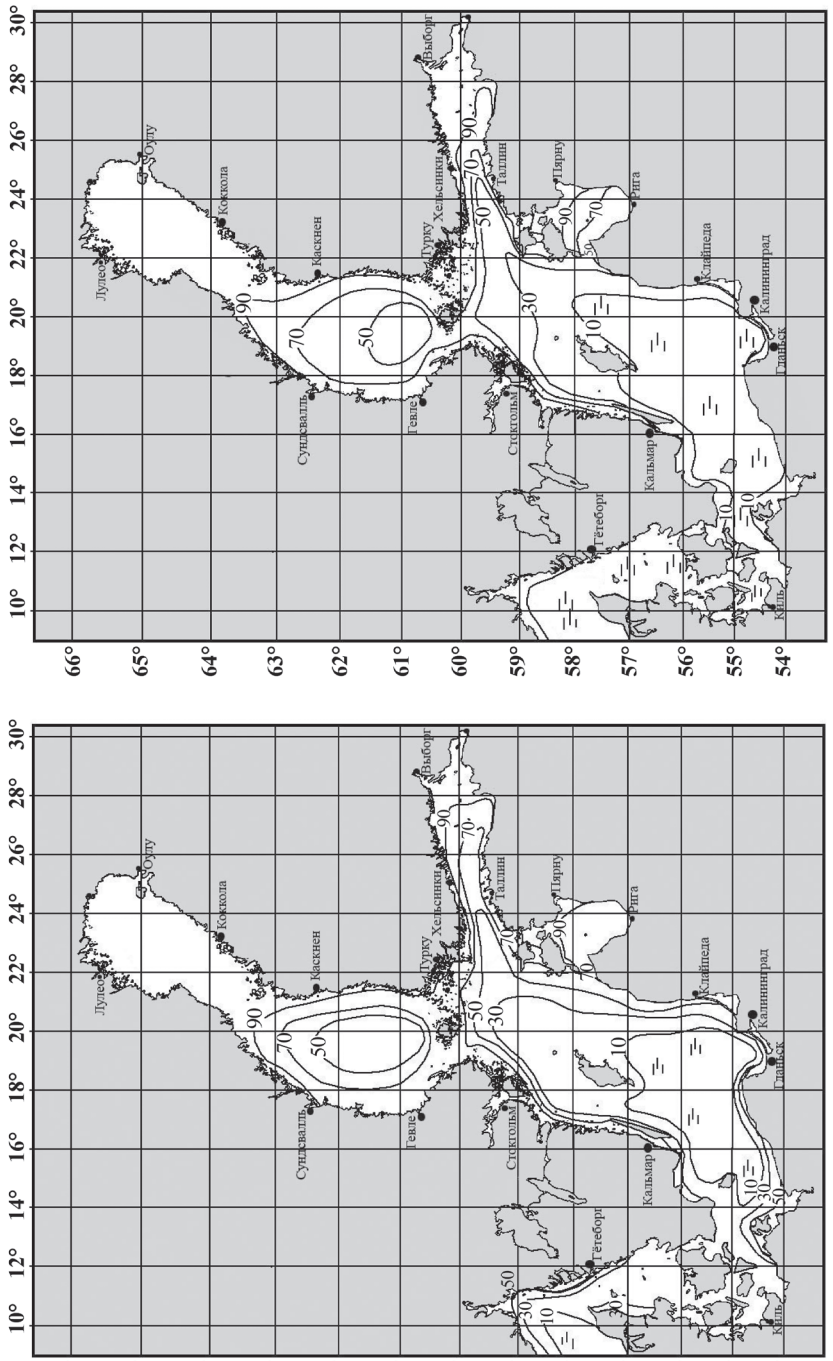
В середине января высокая повторяемость наличия льда (более 70 %) в Ботническом заливе к северу от параллели 64° с.ш. и на крайнем востоке Финского залива. В феврале и марте повторяемость наличия льда в северной части Ботнического залива составляет 90 %, в Финском заливе восточнее меридиана 26° в.д. и в центральной части Рижского залива – 70–90 %. В открытых частях западного и восточного районов Центральной Балтики в это время повторяемость наличия льда около 10 % (лед наблюдается только в очень холодные зимы). При этом, как правило, сплоченность этого льда (преимущественно начальных видов льда и ниласа) менее 7 баллов [24]. Только в зимы, близкие к экстремально суровой зиме 1941/1942 гг., возможно появление в этих районах сплоченного серо-белого и серого льда. В южном районе Центральной Балтики лед сплоченностью 7–10 баллов может наблюдаться только в прибрежной зоне (в пределах 30–40 миль от берега).



4.33б (январь)



4.33а (декабрь)



4.33в (февраль)

4.33г (март)

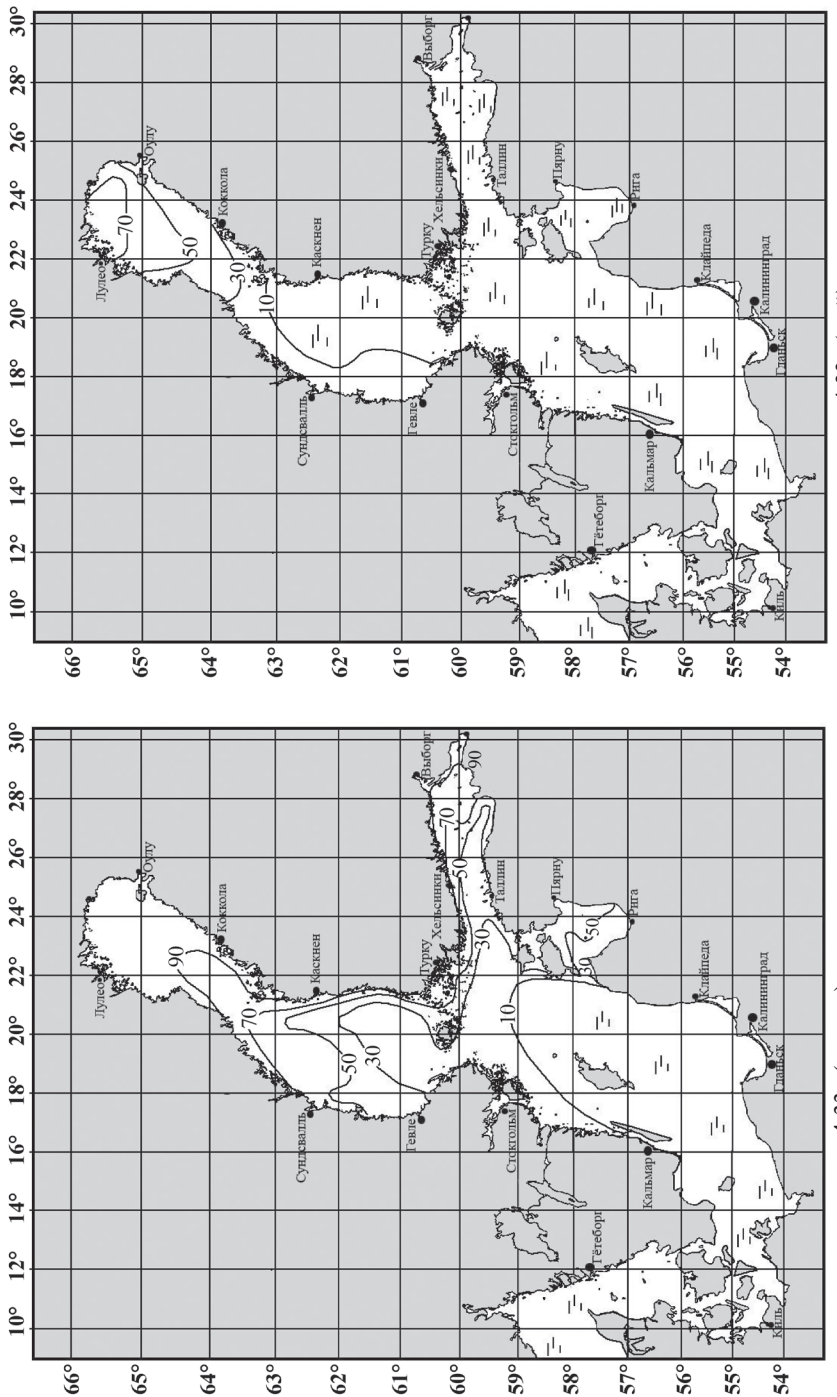
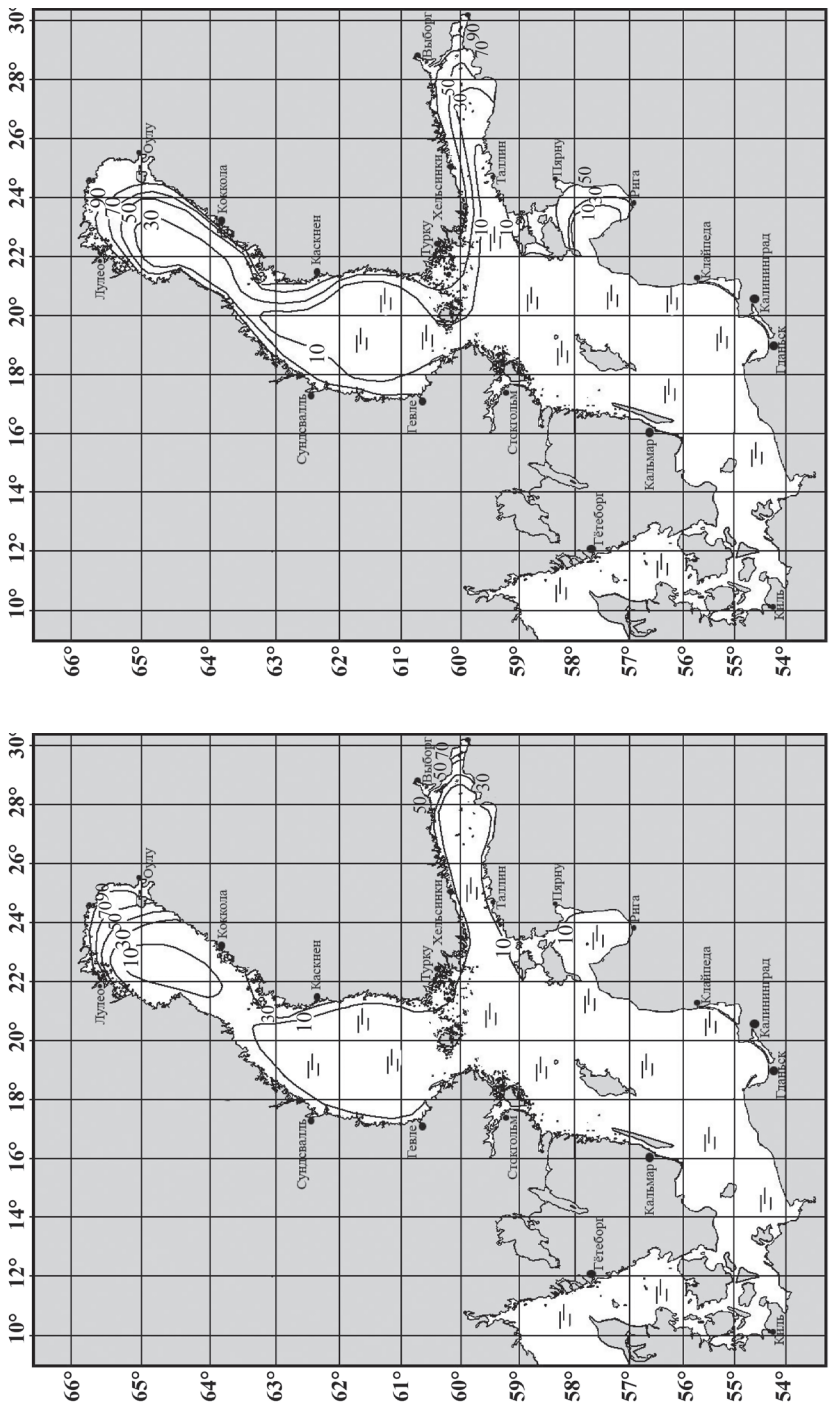
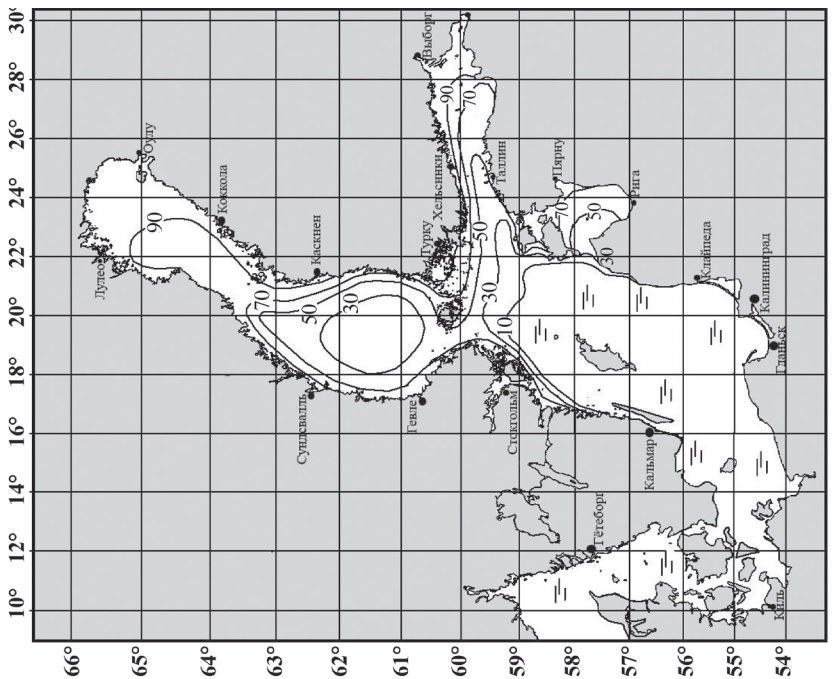


Рис. 4.33. Повторяемость наличия льда в Балтийском море на середину месяца, рассчитанная по данным ледовых авиаразведок за 60–80-е гг. XX века.

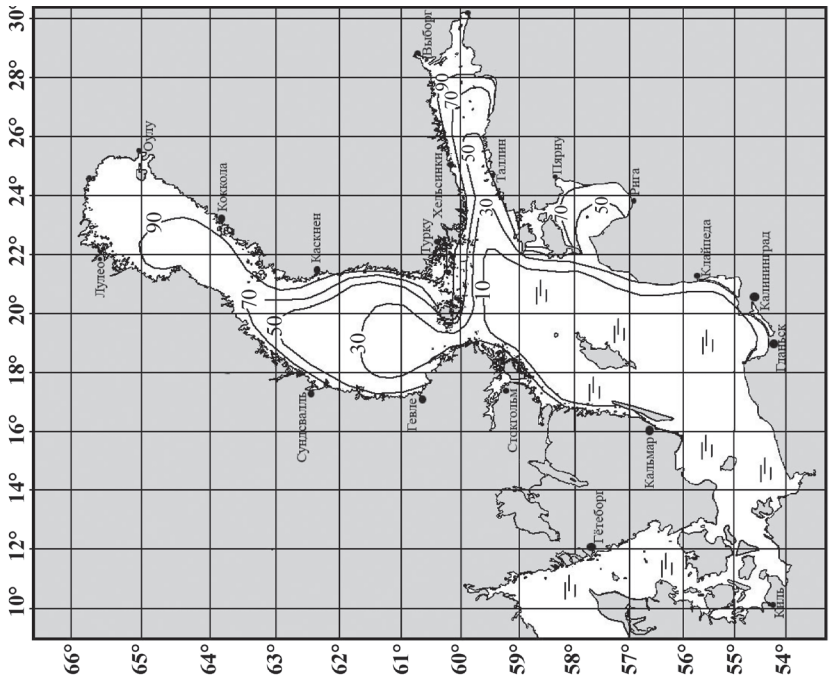


4.34а (декабрь)

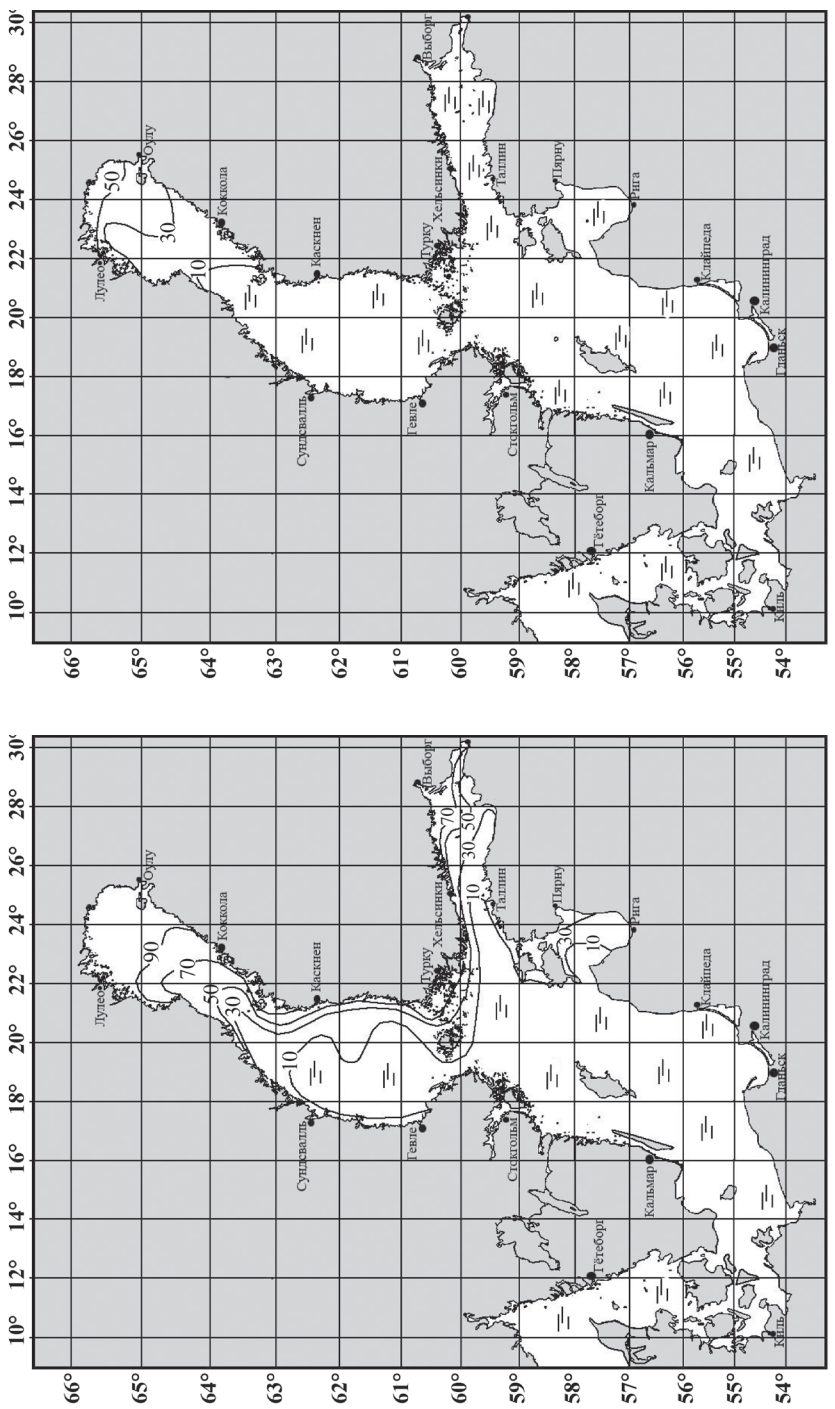
4.34б (январь)



4.34г (апрель)



4.34в (март)



4.34д (апрель) 4.34е (май)

Рис. 4.34. Повторяемость наличия льда в Балтийском море на середину месяца, рассчитанная по данным ИСЗ за первые 12 лет XXI века.

В середине апреля сохраняется очень высокая повторяемость наличия льда (80–90 %) на севере Ботнического залива (к северу от параллели 64° с.ш.), а также в Невской губе и в вершине Выборгского залива. В центральных частях Ботнического и Финского заливов повторяемость наличия льда составляет 40–60 %, а в Рижском заливе – 30–50 %. В северном районе Центральной Балтики в это время повторяемость наличия льда составляет всего лишь 10 %.

В середине мая в северной части Ботнического залива повторяемость наличия льда составляет 50–70 %. В Центральной Балтике в это время льда не бывает.

Построенные по данным оцифровки в коде SIGRID-3 карты повторяемости наличия льда в Финском заливе за первые 12 лет XXI века, приведенные на рис. 4.34, показали, что повторяемость наличия льда в январе–апреле, по сравнению со второй половиной XX века, уменьшилась в среднем на 10–15 %.

Припай в северной части Ботнического залива устанавливается в конце ноября – начале декабря, а в южной – во второй половине января. В Финском заливе становление припая происходит преимущественно в конце декабря – начале января.

В феврале-марте толщины припайного и дрейфующего льда в Балтийском море достигают максимальных значений. В это время в Финском заливе для районов Санкт-Петербурга и Выборга характерной является толщина льда 45–55 см (максимальная – 75–90 см). Припайный лед в открытых районах Ботнического, Финского и Рижского заливов неустойчив и легко взламывается под действием ветров. В течение всего ледового сезона припай может сохраняться только в шхерах и вершинах заливов.

В табл. 4.11 приведены декадные значения толщины припайного льда для полного ряда наблюдений на ГМС Финского залива (83–102 года) и для последних 30 лет наблюдений. В табл. 4.12 – средняя и максимальная толщины припайного льда для первых 12 лет XXI века.

Анализ табл. 4.11 показывает, что за последнее 30-летие средняя толщина припая на момент максимального развития льда уменьшилась, по сравнению с данными за полные ряды наблюдений, приведенными в табл. 3, незначительно – на 2–4 см. В последнее 12-летие в соответствии с табл. 4.12 средняя толщина льда уменьшилась на 3–6 см. Максимальная толщина льда как для 30-летнего, так и для 12-летнего периодов уменьшилась, по сравнению с многолетними экстремумами, на 8–13 см.

В Рижском заливе для района Пярну характерной на момент наибольшего развития ледяного покрова в феврале-марте является толщина льда 35–45 см (максимальная – 70–80 см). Довольно суровые ледовые условия складываются обычно в проливе Вяйнамери с прилегающей северной частью Рижского залива. Лед достигает здесь толщины 40–60 см в умеренные зимы, а в очень суровые – 80–100 см. Некоторые мелководные районы пролива промерзают до дна [6].

Толщина припайного льда на севере Ботнического залива в суровые зимы достигает 110–150 см, в районах Аландского и Архипелагова морей – 60–80 см.

Таблица 4.11

Толщина припайного льда в Финском заливе (см)

Месяц	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель		
Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
ЛИСИЙ НОС (с сезона 1924 /1925 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 88 лет)																		
Средняя	0	10	15	19	23	30	34	38	42	46	50	53	56	56	56	53	0	0
Макс.	3	27	37	40	45	56	60	64	70	72	72	82	88	90	90	88	84	74
Мин.	0	0	0	0	5	13	12	14	11	20	19	23	28	24	26	27	0	0
СКО	–	7	9	8	9	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	13	–	–
ЛИСИЙ НОС (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																		
Средняя	0	13	16	20	25	31	35	39	41	45	47	51	53	54	54	50	0	0
Макс.	0	27	37	40	45	56	60	60	69	69	72	74	75	77	69	63	58	35
Мин.	0	0	0	0	5	13	20	24	24	27	29	30	28	37	37	34	0	–
СКО	–	11	12	9	10	11	11	10	10	10	11	11	11	10	9	8	–	–
КРОНШТАДТ (с сезона 1910/1911 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 102 года)																		
Средняя	0	0	12	14	21	26	29	34	38	41	45	48	50	51	49	46	0	0
Макс.	7	18	21	25	32	49	50	65	72	72	75	78	80	80	81	80	75	64
Мин.	0	0	5	6	8	10	7	7	10	10	12	14	16	22	25	0	0	0
СКО	–	–	4	5,7	6,6	7,7	9,3	11	11	11	11	11	11	12	13	12	–	–
КРОНШТАДТ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																		
Средняя	0	0	0	19	23	29	32	36	38	41	45	49	52	53	50	46	0	0
Макс.	0	18	21	25	30	49	50	65	58	59	69	68	72	66	62	57	0	0
Мин.	0	0	0	14	14	14	19	19	14	25	30	36	36	39	35	0	0	0
СКО	–	–	–	4,5	5	8,4	8,7	9,9	9,5	8,4	8,6	7,6	9	8	7,3	7	–	–
ВЫБОРГ (с сезона 1929/1930 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 83 года)																		
Средняя	0	0	14	18	21	25	30	32	35	40	44	46	48	51	50	46	0	0
Макс.	0	21	27	32	36	38	50	52	58	64	68	68	68	75	76	76	69	54
Мин.	0	0	0	3	5	5	13	9	12	18	21	23	23	20	14	0	0	0
СКО	–	–	6	7	8	8	9	10	10	10	10	10	10	12	13	14	–	–
ВЫБОРГ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)																		
Средняя	0	0	15	20	21	25	29	31	35	40	43	45	46	47	46	44	0	0
Макс.	0	21	27	32	36	38	44	47	58	64	68	68	68	65	64	62	50	29
Мин.	0	0	0	3	7	8	13	9	17	19	21	23	23	20	18	0	0	0
СКО	–	–	6	7	9	8	7	9	9	9	10	10	12	12	13	10	–	–

Таблица 4.12

Средняя и максимальная толщина припайного льда в Финском заливе на момент наибольшего развития ледяного покрова в феврале-марте для всего периода наблюдений и для первых 12 лет XXI века (см)

ГМС	Средняя толщина льда за весь период наблюдений	Максимальная толщина льда за весь период наблюдений	Средняя толщина льда за 12 лет XXI века	Максимальная толщина льда за 12 лет XXI века
Лисий Нос	56	90	53	77
Кронштадт	56	81	51	72
Выборг	51	76	45	64

В открытых районах заливов толщина дрейфующего льда на 15–20 % меньше, чем толщина припайного льда у берега. В экстремально суровую зиму 1941/1942 гг. толщина ровного дрейфующего льда в мористой части северного района Ботнического залива достигала 70–90 см, Финского залива – 50–60 см,

В Центральной Балтике у восточных берегов (район 10) лед образуется в умеренные зимы в виде неширокого (около 0,5–1,0 км) припая. У кромки припая иногда наблюдается небольшое количество начальных видов льда или битого льда, обычно в возрасте ниласа (результат взлома заберега). Этот лед уносится в открытое море и быстро тает.

В Куршском и Вислинском заливах в суровые зимы припай достигает толщины 60 см и более. В среднем наибольшая за ледовый период толщина ледяного покрова наблюдается в феврале (25–35 см).

В Датских проливах значительный по площади припай наблюдается только в очень суровые зимы (рис. 4.15). В умеренные зимы в южной части Балтики и в районе Датских проливов припай наблюдается только в небольших мелководных бухтах и заливах.

В умеренные зимы припай занимает небольшую часть площади Ботнического залива, располагаясь в пределах 20-метровой изобаты. Полного устойчивого замерзания Ботнического залива даже в очень суровые зимы не происходит. Как правило, в северном и южном районах залива остаются не покрытые припаем центральные мористые зоны (рис. 4.15), в которых наблюдаются поля очень сплоченного дрейфующего льда. Однако существует несколько карт ледовых авиационных разведок (например за период с конца февраля до начала марта 1942 и 1947 гг.), на которых центральные зоны северной и южной частей Ботнического залива изображены покрытыми припаем. Вероятно, такое смерзание малоподвижного льда в этих зонах возможно на короткое время.

В наиболее суровые зимы значительная часть Финского залива может быть покрыта припайным льдом. За период наблюдений с 1948 г. по настоящее время максимальная протяженность припайной зоны на подходах к

порту Санкт-Петербург составила 217 миль, это 60 % от протяженности всей ледовой трассы, проложенной от западной кромки льда до Невской губы [93]. В наиболее мягкие зимы припай может наблюдаться только в вершине Выборгского заливе, а также узкой полосой вдоль берегов Невской губы и в мелких прибрежных бухтах Финского залива.

Рижский залив в суровые зимы полностью замерзает (покрывается припайным льдом). Замерзание начинается в северо-восточной и северной частях залива, далее оно охватывает восточное и западное побережья залива. В последнюю очередь замерзают центральная часть залива и Ирбенский пролив. Увеличение площади припая вдоль побережья залива в начале зимы идет за счет смерзания начальных видов льда. Замерзание центральной части залива идет путем смерзания ледяных полей и мелкобитого льда. Так же, как и появление льда, замерзание Рижского залива в разных его частях может наблюдаться в течение зимы неоднократно. В силу этих процессов даже в годы, когда Рижский залив полностью замерзает, период с дрейфующим льдом составляет в среднем 70–80 % от общего числа дней со льдом [6, 80].

Выпадение снега до начала устойчивого ледообразования в различных районах Балтийского моря ускоряет выхолаживание воды и начало ледообразования.

В северной части Балтики максимальной высоты снежный покров достигает обычно в марте. Средняя высота снежного покрова в это время обычно не превышает 15 см. В отдельные годы высота снежного покрова в восточной части Финского залива и в северной части Ботнического залива достигает 40–50 см. В Рижском заливе высота снежного покрова составляет в среднем 5–15 см.

В открытой части северного района Ботнического залива в феврале-марте мягких и умеренных зим преобладает тонкий однолетний и серо-белый лед, в суровые – тонкий однолетний лед толщиной более 50 см, а в особо суровые – однолетний лед средней толщины (70–80 см).

В открытой части южного района Ботнического залива в феврале-марте мягких зим наблюдаются большие пространства чистой воды, умеренных зим – серо-белый и серый лед различной сплоченности (от 1 до 8 баллов), суровых зим – тонкий однолетний и серо-белый лед сплоченностью 8–10 баллов.

На ледовых трассах Финского залива, проложенных от границы припая до чистой воды на западе залива, обычно наблюдается 8–10-балльный дрейфующий лед, имеющий различные возрастные характеристики (от белого и серо-белого льда до ниласа и начальных видов льда). По мере приближения к кромке возраст льда постепенно уменьшается. На кромке обычно наблюдается нилас и начальные виды льда.

В центральной части Рижского залива в феврале-марте умеренных зим обычно наблюдается сплоченный (8–10 баллов) серо-белый лед, а в суровые зимы – припай из тонкого однолетнего льда, временами взламывающийся, образуя при этом зоны дрейфующего льда сплоченностью 10 баллов.

Существенные затруднения испытывают ледоколы и суда в зонах торошения. Для Финского и Ботнического заливов характерно значительное торошение льда и образование зон подсовного льда. На севере Ботнического залива в суровые годы максимальная высота торосов может достигать 20 м, а в Финском заливе – 12 м [7]. Иногда подсовы, смерзаясь неоднократно, образуют зоны монолитного ледяного покрова толщиной 1–2 м и более.

Торосистость дрейфующего льда в первой половине зимы в Ботническом, Финском и Рижском заливах обычно незначительна –1–2 балла. Наибольшее торошение происходит у кромки припая. Во второй половине умеренных и суровых зим торосистость серо-белого и тонкого однолетнего льда увеличивается до 2–3 баллов, местами – до 3–4 баллов.

В Финском заливе по характеру процессов образования торосов выделяют три зоны [81]. Первая – мелководная межостровная прибрежная зона, включающая район шхер и островов у финского побережья, Выборгский залив, пролив Бьеркезунд, Невскую губу, южную прибрежную полосу от м. Пысаспеа до о. Мохни. Для этой зоны характерно раннее образование припая и торошение с момента становления припая до его взлома. Торосы в этой зоне имеют осенне-зимнее происхождение.

Вторая зона – околобереговая, ее граница условно располагается на расстоянии в среднем 20 миль от берега, в пределах этой зоны наиболее часто образуются заприпайные полыньи. Торосы в этой зоне имеют зимнее происхождение и образуются в основном в результате сжатий льда при закрытии полыней.

К третьей зоне относят всю центральную (трассовую) часть залива, где существуют наиболее благоприятные условия для свободного дрейфа. Торосы здесь образуются прежде всего вблизи островов. Особо активно гряды торосов образуются на участке судоходной трассы от меридиана о. Сескар до меридиана о. Соммерс, между островами Гогланд и Большой Тютерс, а также в районе входа в Выборгский залив.

В Рижском заливе процессы торошения особенно активны в те годы, когда происходит его полное замерзание. В период вскрытия припая процессы торошения создают большие трудности для плавания судов. А.А. Пасторс в [80] приводит пример торошения, зафиксированного на акватории Рижского залива, когда ледяные нагромождения местами были выдвинуты на берег в районе залива Пярну-Лахт на расстояние до 300 м от уреза воды, а высота нагромождений достигала 18 м. В море высота торосистых образований составляла в это время более 12 м. Такие высокие торосы могут наблюдаться только в прибрежной зоне Рижского залива, в открытом море их высота не превышает 5 м. Районом активного торошения льда и сжатий является также Ирбенский пролив.

Сжатия льда на севере Балтики носят обычно локальный характер. Однако даже слабые (силой до 2 баллов) и кратковременные сжатия представляют большую опасность для судоходства.

4.6. Очищение Балтийского моря ото льда

На рис. 4.35 приведены изохроны средних сроков очищения Балтийского моря ото льда.

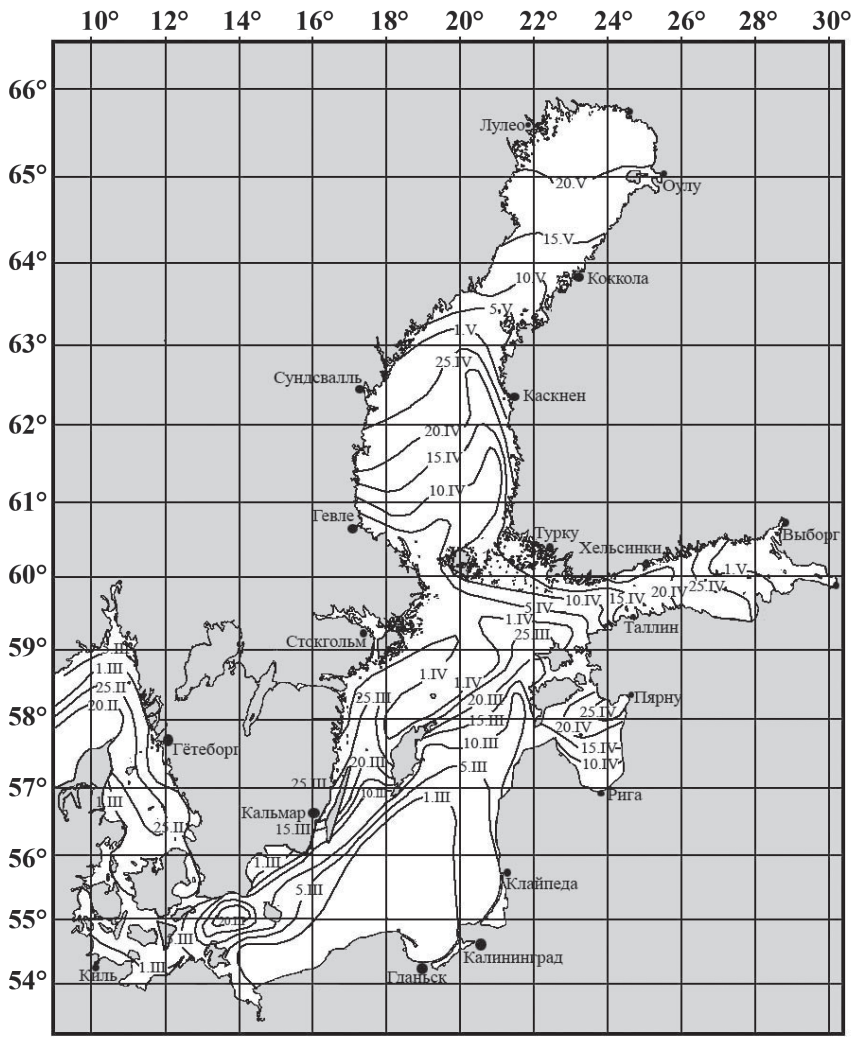


Рис. 4.35. Средние сроки очищения Балтийского моря ото льда.

Во второй-третьей декадах марта при всех типах зим в юго-западной части Финского залива начинает формироваться полынья, образующаяся в результате затока более теплых вод из северного района Центральной Балтики. Уже к середине марта в мягкие зимы эта полынья занимает практически всю южную половину залива, простираясь от устья Финского залива до восточного побережья

Нарвского залива, в умеренные и суровые зимы к середине марта начинающая формироваться полынья прослеживается от устья Финского залива до Таллинна.

В начале апреля активизируется таяние льда, продолжается отступление кромки льда в северном и восточном направлениях. Площадь полыньи вдоль южного берега Финского залива увеличивается. Сплоченность дрейфующих льдов понижается на 1–2 балла. Припай вдоль побережья Финского залива взламывается в среднем в середине апреля. К концу апреля лед обычно сохраняется только на крайнем востоке залива. К концу первой декады мая лед в Финском заливе обычно исчезает.

В отдельные годы первые признаки разрушения ледяного покрова отмечаются уже во второй половине января или начале февраля. В такие годы процесс разрушения льда идет вяло и может продолжаться более двух месяцев. При поздних сроках появления первых признаков таяния (вторая половина апреля) процесс разрушения льда происходит очень активно и продолжается всего от одной до трех недель.

Ботнический залив начинает очищаться ото льда в начале апреля с южных районов. На севере залива в середине апреля начинает взламываться припай и происходит дробление больших полей. К концу апреля преобладающими формами дрейфующего льда становятся обломки полей и битый лед. На рис. 4.36 (а, б) снимки с ИСЗ, сделанные в апреле 2009 г. с разницей в неделю, которые демонстрируют этот процесс в более ранние сроки после мягкой зимы.

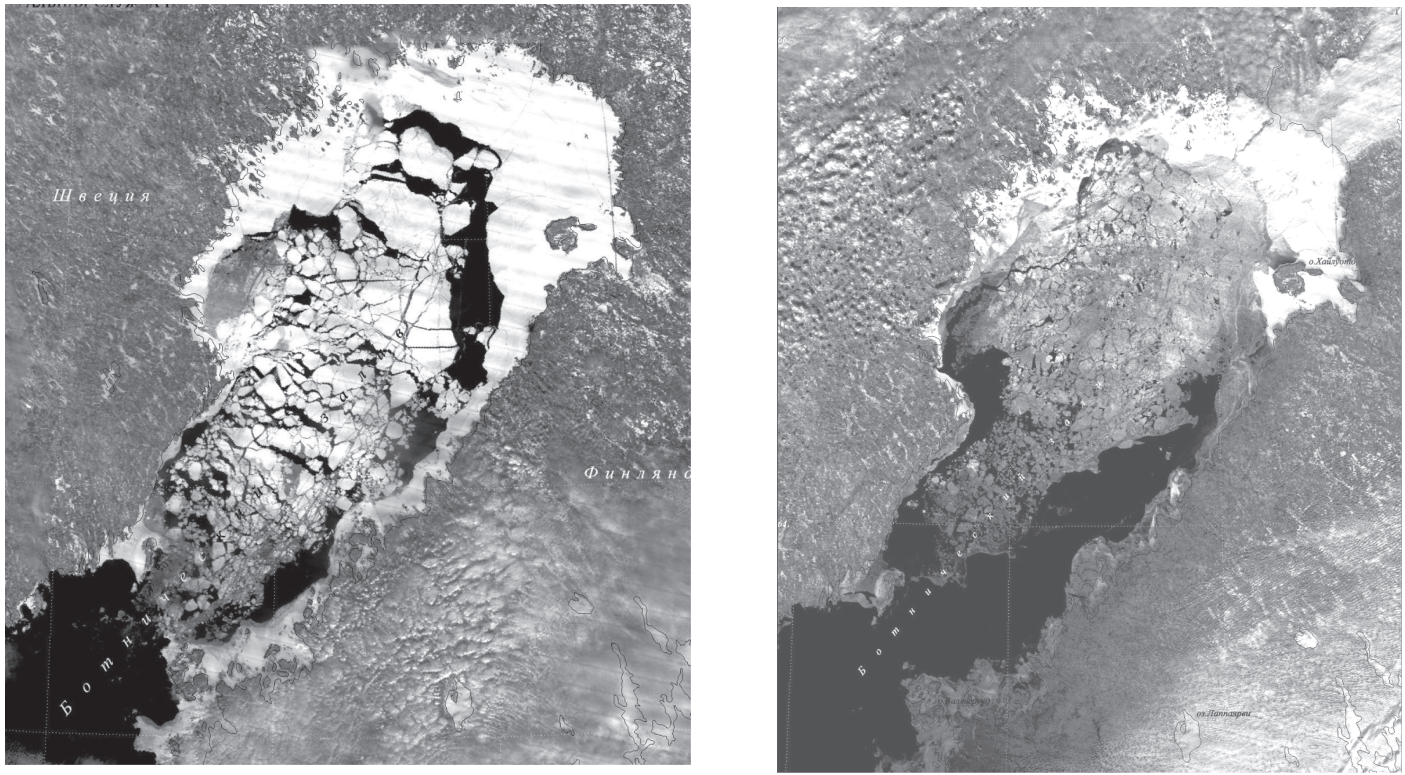
Окончательное очищение ото льда южной части Ботнического залива происходит обычно в первой декаде мая, а в северной – в третьей декаде мая. В вершине Ботнического залива лед в отдельные годы может наблюдаться до июня.

Рижский залив после умеренных зим очищается ото льда в среднем в третьей декаде апреля, а после суровых зим – в середине мая. Разрушение ледяного покрова в Рижском заливе начинается с Ирбенского пролива. Средняя продолжительность периода от начала разрушения ледяного покрова в Ирбенском проливе до начала разрушения ледяного покрова в заливе Пярну-Лахт составляет 30 суток. Межгодовая изменчивость сроков взлома припая в Пярну достигает 45 суток.

В Гданьском заливе процесс разрушения льда начинается в среднем во второй половине февраля. В Вислинском и Куршском заливах припай взламывается в среднем во второй половине марта, в конце марта происходит очищение заливов ото льда.

В южной части моря разрушение ледяного покрова в суровые и очень суровые зимы начинается в марте, а в умеренные – в начале февраля. В умеренные зимы полное очищение ото льда южной части моря происходит в конце февраля – начале марта, в суровые зимы – в начале апреля.

В районе Датских проливов разрушение ледяного покрова начинается в третьей декаде февраля – первой декаде марта, в середине апреля проливы, как правило, уже полностью свободны ото льда даже после суровых зим. В отдельные годы (крайне редко) в первой половине XX века наблюдалось очищение проливов позже 15 апреля.



а) б)

Рис. 4.36. Ледовая обстановка в северной части Ботнического залива 7 апреля (а) и 14 апреля (б) 2009 года. Снимки с ИСЗ TERRA (MODIS).

Средняя продолжительность ледового периода в северной части Ботнического залива в XX веке (в случаях присутствия льда) составляла 160–180 дней, в проливе Норра-Кваркен – 120–130 дней, в южной части Ботнического залива – 80–100 дней, в районах Аландского моря и Архипелагова моря – 70–90 дней, в восточной части Финского залива – 140–160 дней, в западной части Финского залива – 90–110 дней, в Рижском заливе – 120–140 дней, в северном районе Центральной Балтики – 40–60 дней, в западном районе Центральной Балтики (район 9) – 60–80 дней, в восточном районе Центральной Балтики (район 10) – 20–40 дней, в южном районе Центральной Балтики (район 11) – 10–20 дней, в Датских проливах – 30–40 дней.

Наибольшая продолжительность ледового периода в северной части Ботнического залива в XX веке составляла 240 дней, в проливе Норра-Кваркен – 180 дней, в южной части Ботнического залива – 120 дней, в районах Аландского моря и Архипелагова моря – 140 дней, в восточной части Финского залива – 200 дней, в западной части Финского залива – 160 дней, в Рижском заливе – 190 дней, в северном районе Центральной Балтики – 150 дней, в западном районе Центральной Балтики (район 9) – 100 дней, в восточном районе Центральной Балтики (район 10) – 80 дней, в южном районе Центральной Балтики (район 11) – 70 дней, в Датских проливах – 90 дней.

Таким образом, наибольшая продолжительность ледового периода в Балтийском море в XX веке имеет очень большую пространственную изменчивость: от 8 месяцев у северного побережья Ботнического залива до двух месяцев – в южном районе моря.

4.7. Влияние ледовых процессов на судоходство в Балтийском море

В ледовый период судно, помимо преодоления сопротивления воды, дополнительно затрачивает значительную часть работы на ломку и раздвигание льдин. Величина сил ледового сопротивления при этом не остается постоянной. Она изменяется в зависимости от состояния льда, преодолеваемого судном.

Ледяной покров оценивается большим количеством характеристик, в числе которых основными являются толщина и сплоченность льда, торосистость, разрушенность, прочность, возраст, горизонтальные размеры, степень сжатия, заснеженность льда. Все перечисленные характеристики ледяного покрова оказывают существенное влияние на скорость движения отдельных судов или групп судов (караванов) под проводкой ледоколов. Поэтому их необходимо учитывать при оценке влияния ледовых условий на судоходство [93].

Условия движения судов во льдах в Балтийском море отличаются очень большим разнообразием. В Датских проливах в мягкие зимы льда в районах главных фарватеров, как правило, не наблюдается. В умеренные зимы появление молодого льда на непродолжительные периоды может затруднять движение небольших (например рыбопромысловых) судов. Ледокольные проводки в Датских проливах требуются крайне редко, только в очень суровые зимы.

Основные фарватеры в проливах Зунд и Большой Бельт, где наблюдаются значительные скорости течений, покрываются сплошным дрейфующим льдом только в суровые зимы, а припаем – только в очень суровые зимы. На рис. 4.37 приведены основные судоходные трассы Финского и Рижского заливов.

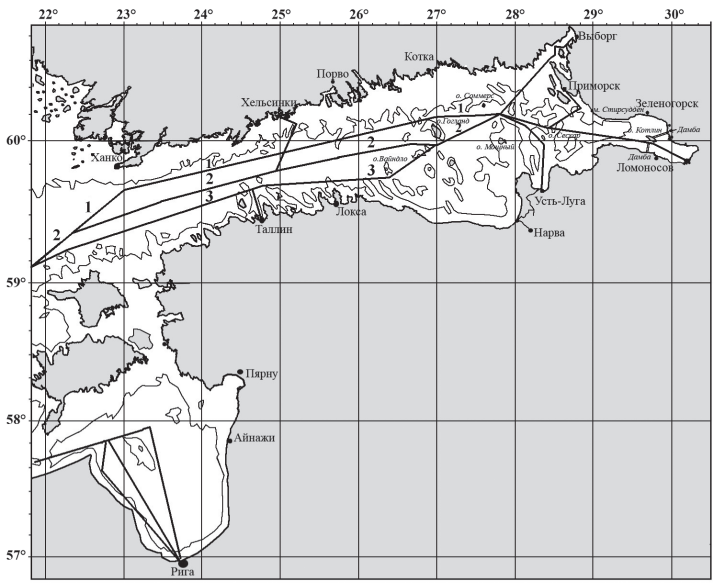


Рис. 4.37. Основные судоходные трассы Финского и Рижского заливов: жирные линии – трассы, тонкая линия – изобата 20 м.

Одной из основных трасс зимнего плавания в бассейне Балтийского моря, требующей ледокольного обеспечения, является путь, ведущий из устья Финского залива (22°20' в.д.) в Санкт-Петербург.

В восточной части Финского залива пользование этой трассой строго ограничено Санкт-Петербургским морским каналом и Большим Корабельным фарватером. К западу от о. Мощный трасса может иметь варианты, которые условно можно назвать северным, центральным и южным. На рис. 4.37 это варианты под номерами 1–3. Каждый из них используется в зависимости от особенностей ледовой обстановки. Центральный вариант № 2 является основным и совпадает с летней судоходной трассой. Он наиболее безопасен с навигационной точки зрения, поскольку проложен по районам с наибольшими глубинами.

Южный вариант предпочтителен в зимний период при действии устойчивых ветров южных румбов, когда вдоль южного берега за припаем образуется полынья. Но особенно актуален южный вариант для судов, следующих в Санкт-Петербург, Выборг, Высоцк, Приморск и Лугу и обратно в Центральную Балтику, в весенний период, когда лед начинает разрушаться вдоль южного берега. Здесь в середине марта – начале апреля образуются большие разводья.

При действии северных и западных ветров в районах трасс, проложенных по южному и центральному вариантам, происходит активное торошения, наблюдаются сжатия льда. Опасность также представляет южный дрейф льда, способный увлечь суда на мелководье. В такой ситуации выгодно использовать северный вариант трассы. На рис. 4.38 – снимок с ИСЗ, демонстрирующий ледовые условия в Финском заливе, для которых целесообразно использование северного варианта плавания.

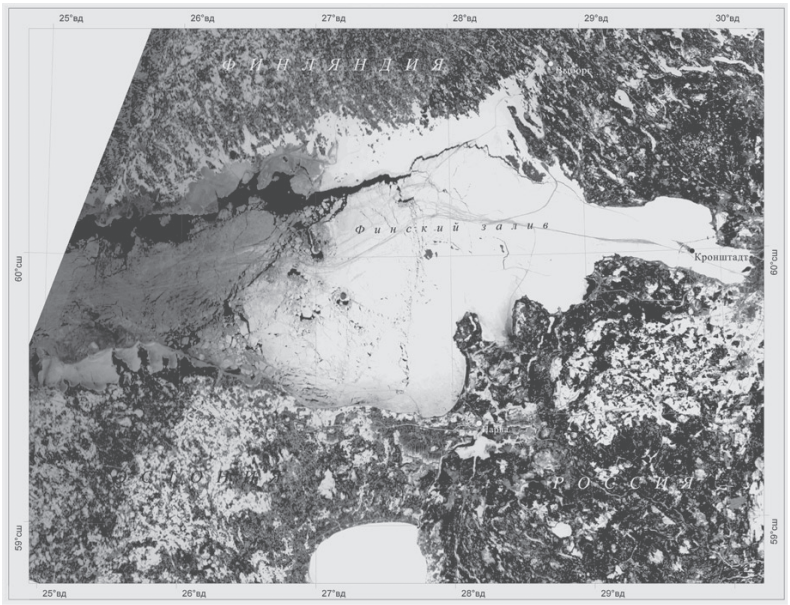


Рис. 4.38. Ледовая обстановка в восточной части Финского залива 16 марта 2011 года. Снимок с ИСЗ «Метеор-М».

Санкт-Петербургский морской канал начинается во внутренней акватории морского торгового порта и заканчивается за о. Котлин. Его длина 27 миль. По нему могут пройти суда с осадкой до 11 м, длиной до 260 м и шириной до 40 м.

Протяженность ледовых зон при плавании судов в порты Финского залива не остается постоянной. В осенне-зимний период она увеличивается и достигает максимума обычно во второй половине марта. После этого протяженность ледовых зон начинает быстро уменьшаться и к концу апреля – началу мая лед в этих зонах обычно полностью исчезает. В большинстве случаев раннее начало устойчивого ледообразования свидетельствует о том, что зима ожидается суровой и протяженность ледовых трасс зимой будет велика. Однако эта закономерность иногда нарушается. После суровой или мягкой первой половины зимы может быть умеренной вторая половина. Умеренная первая половина зимы может сочетаться с суровой или мягкой второй ее половиной.

Плавание судов на рассматриваемых трассах осуществляется в припайных и дрейфующих льдах. На ледовых участках трасс между кромкой припая и границей чистой воды обычно располагаются сплоченные (8–10 баллов) дрейфующие льды различных возрастных характеристик: от тонких однолетних (30–70 см) и серо-белых (15–30 см) до ниласа (5–10 см). Трассы прокладываются так, чтобы отдельные гряды торосов оставались в стороне от них. Как правило, такой учет необходим в марте-апреле, когда степень торосистости на отдельных участках может достигать 3–4 баллов.

В табл. 4.13 приведена средняя протяженность ледовых зон на трассе устье Финского залива (22°20' в. д.) – Санкт-Петербург.

Таблица 4.13

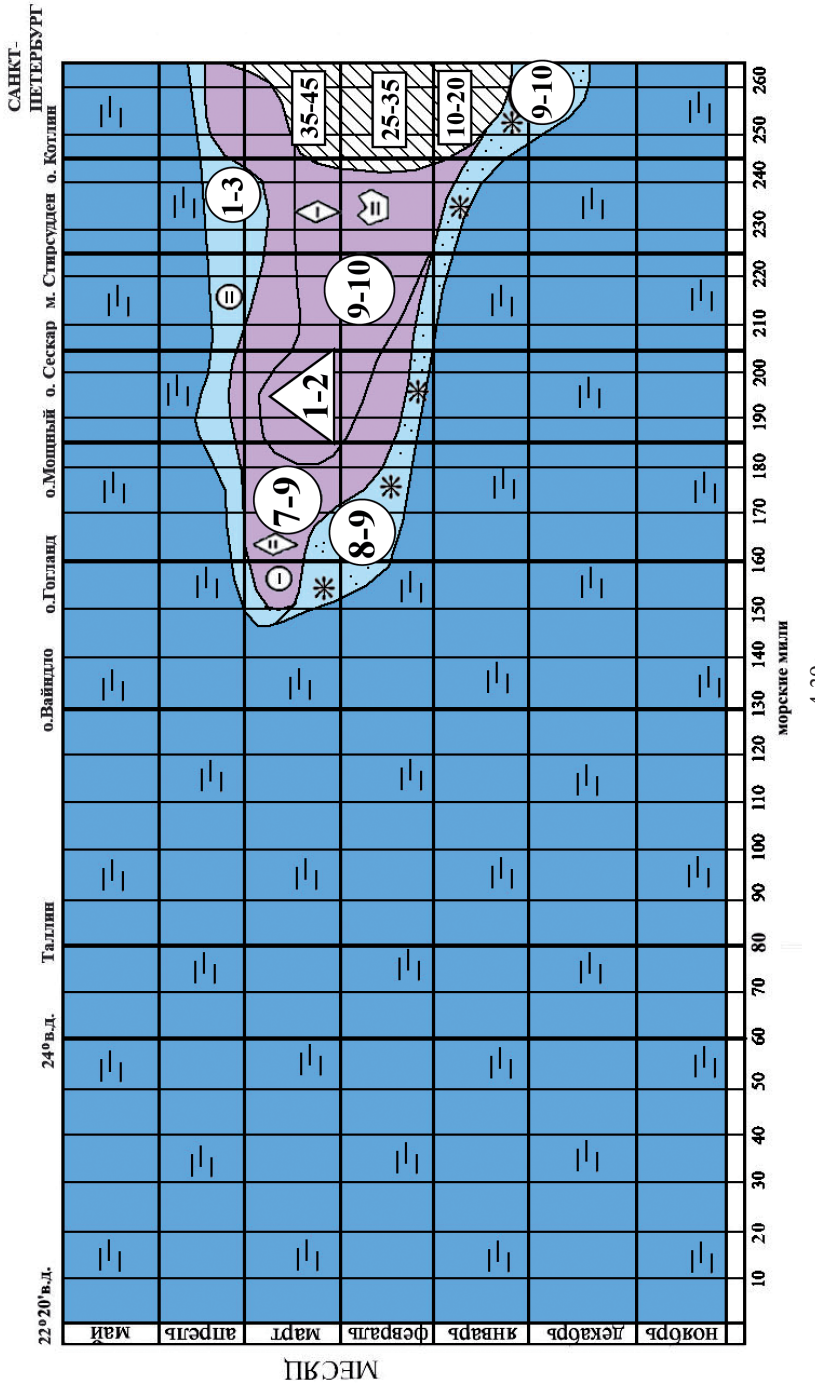
Протяженность ледовых зон (мили)
на трассе устье Финского залива (22°20' в. д.) – Санкт-Петербург (мили)

Характеристика зоны	Месяцы						
	XI	XII	I	II	III	IV	V
Мягкая зима							
Чистая вода	265	255	240	160	147	215	265
Нилас и начальные виды льда	–	10	10	22	10	–	–
Серо-белый и серый лед	–	–	–	60	85	20	–
Серо-белый лед	–	–	–	–	–	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	30	–
Припай в Финском заливе	–	0	15	23	23	–	–
Ледовая зона	**0**	**10**	**25**	**105**	**118**	**50**	**0**
Умеренная зима							
Чистая вода	265	225	146	70	70	65	265
Нилас и начальные виды льда	–	20	30	15	5	–	–
Серо-белый и серый лед	–	–	65	15	10	–	–
Серо-белый лед	–	–	–	60	10	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	65	60	80	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	–	70	102	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	10	–
Припай в Финском заливе	–	20	24	40	40	8	–
Ледовая зона	**0**	**40**	**119**	**195**	**195**	**200**	**0**
Суровая зима							
Чистая вода	265	225	130	0	0	40	235
Нилас и начальные виды льда	–	20	20	–	–	–	–

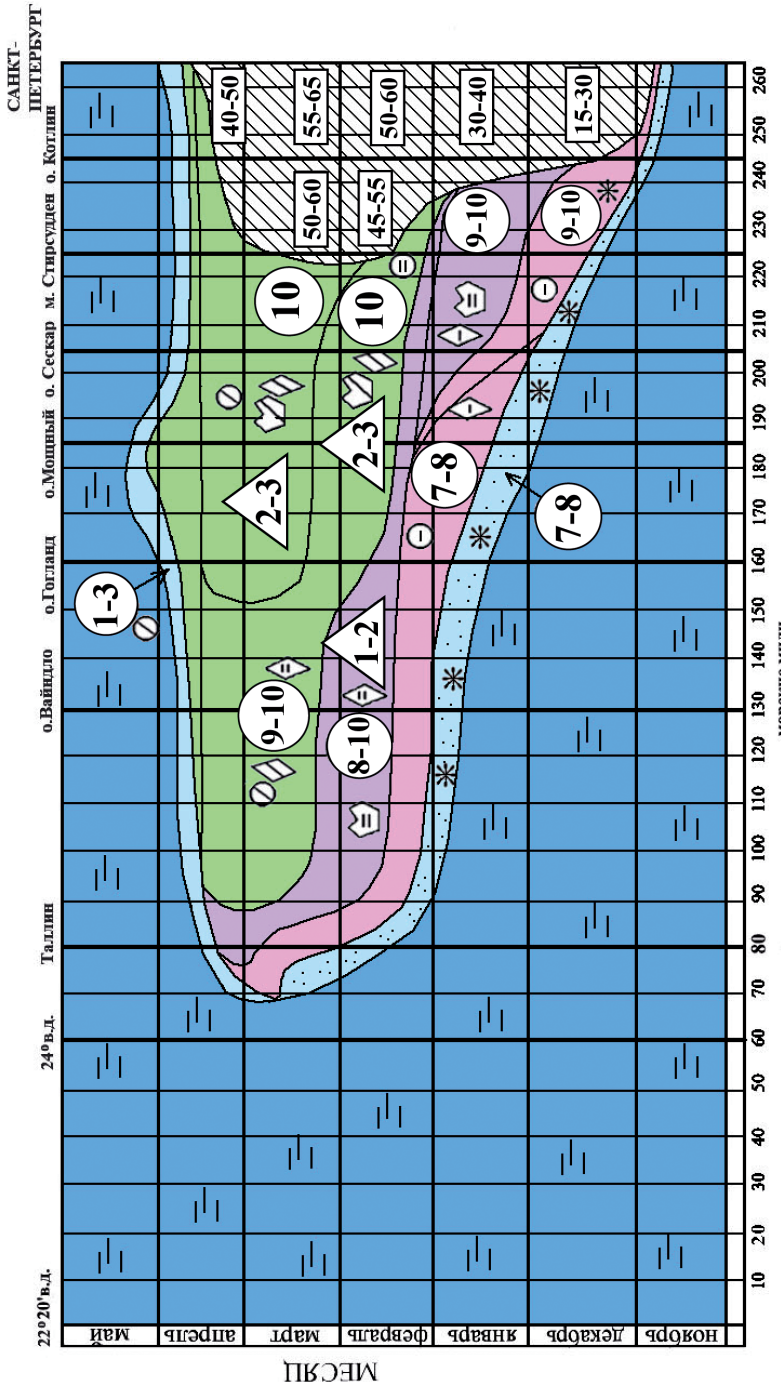
Характеристика зоны	Месяцы						
	XI	XII	I	II	III	IV	V
Серый лед и нилас	–	–	20	–	–	–	–
Серо-белый и серый лед	–	–	55	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	–	–	150	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	65	80	30	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	–	60	105	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–	30
Припай в Финском заливе	–	20	40	50	125	90	–
Ледовая зона	**0**	**40**	**135**	**265**	**265**	**225**	**30**
Самая суровая зима							
Чистая вода	265	175	115	0	0	0	75
Нилас и начальные виды льда	–	10	20	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	40	20	–	–	–	–
Серо-белый и серый лед	–	–	30	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	–	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	145	85	90	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	–	–	–	110
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–	80
Припай в Финском заливе	–	40	80	120	180	175	–
Ледовая зона	**0**	**90**	**150**	**265**	**265**	**265**	**190**

Анализ табл. 4.13 показывает, что в момент максимального распространения льда в феврале-марте протяженность зон ледового плавания на трассе устье Финского залива – Санкт-Петербург составляет в среднем: в мягкую зиму – 100–120 миль, в умеренную зиму – 190–200 миль, в суровую зиму – 265 миль. В середине апреля протяженность ледового плавания на трассе в среднем составляет: после мягких зим – 50 миль, после умеренных зим – 200 миль, после суровых зим – 225 миль, после самой суровой зимы – 265 миль. В середине мая протяженность ледового плавания на трассе после мягких и умеренных зим равна нулю, после суровых зим – в среднем 30 миль, после самой суровой зимы – 190 миль. В конце мая после любого типа зимы трасса свободна ото льда.

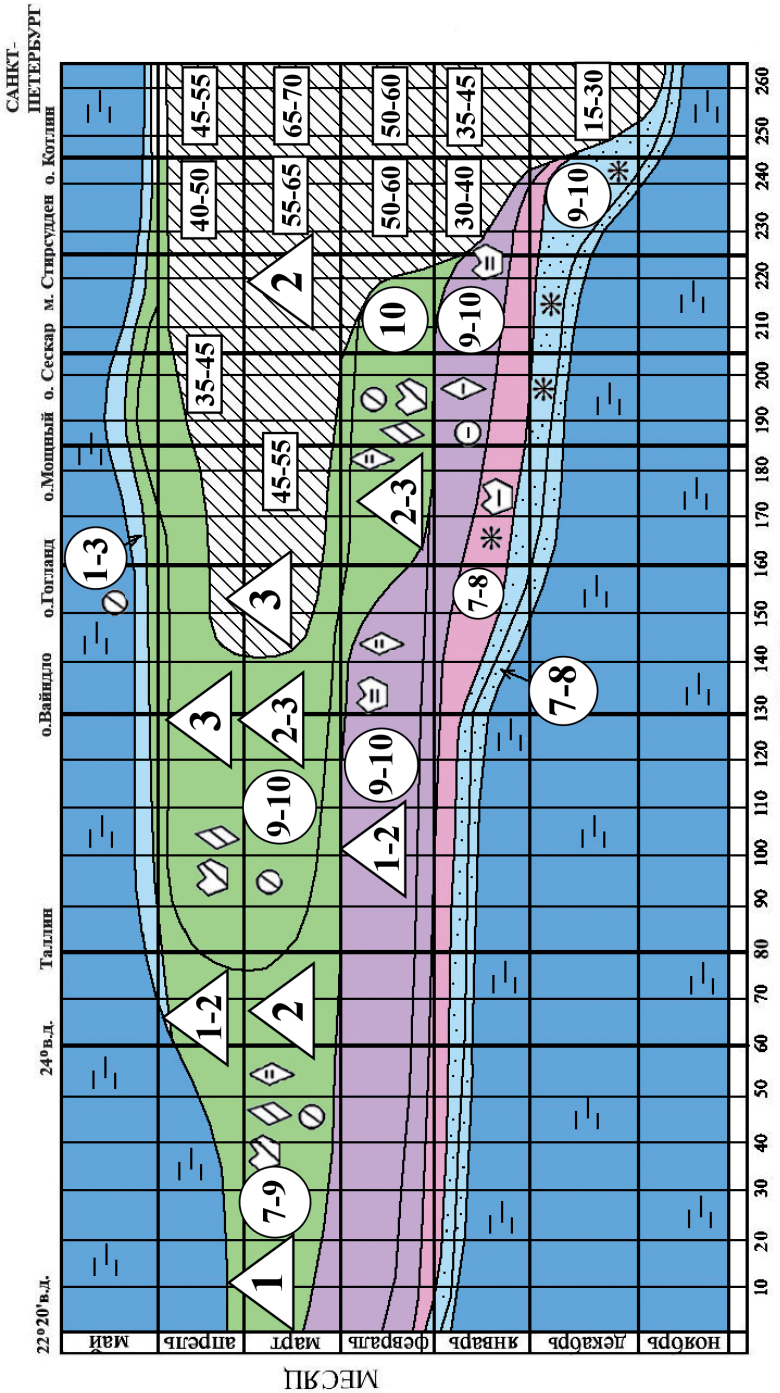
На рис. 4.39 представлены графики типичных ледовых условий на ледовой трассе, проложенной от входа в устье Финского залива (22°20' в.д.) в Санкт-Петербург по варианту № 2 в мягкую зиму (а), в умеренную зиму (б), в суровую зиму (в), а также в самую суровую зиму 1941/1942 гг. (г). Протяженность трассы – 265 миль.


САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
о. Котлин
м. Стирсудден
о. Сескар
о.Мощный
о.Гогланд
о.Вайндло
Таллин
24°в.д.
22°20'в.д.
МЕСЯЦ
ноябрь
декабрь
январь
февраль
март
апрель
май
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260
морские мили
35-45
25-35
10-20
9-10
1-3
9-10
1-2
7-9
8-9

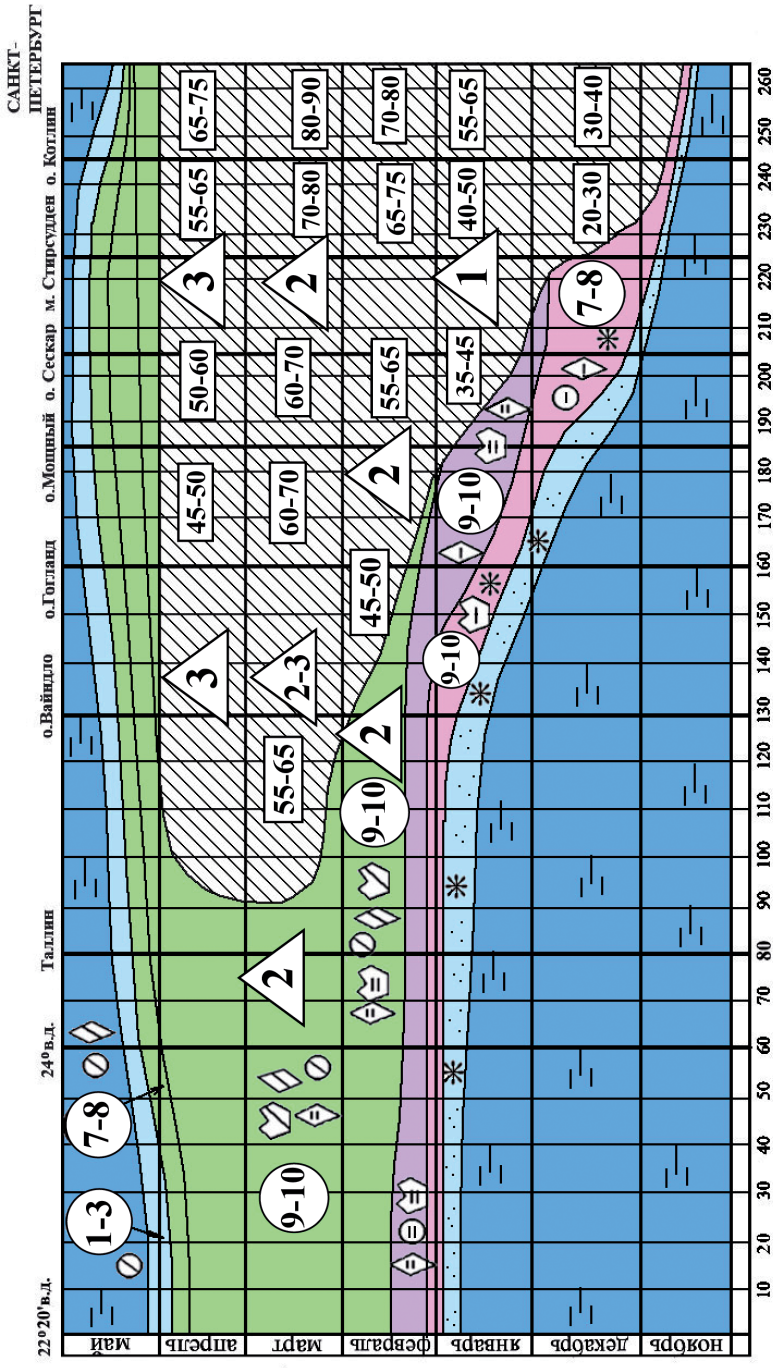
4.39а


МЕСЯЦ
май
апрель
март
февраль
январь
декабрь
ноябрь
22°20'в.д.
24°в.д.
Таллин
о.Вайдло
о.Готланд
о.Моцный
о. Сескар
м. Стирсудден
о. Котлин
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
морские мили
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260
40-50
55-65
50-60
50-60
45-55
30-40
15-30
9-10
9-10
10
10
2-3
2-3
1-3
1-2
9-10
8-10
7-8
7-8

4.396


МЕСЯЦ
22°20' в.д.
24° в.д.
Таллин
о.Вайдло
о.Готланд
о.Моцный
о. Сескар
м. Стирсудден
о. Котлин
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
морские мили
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260
май
апрель
март
февраль
январь
декабрь
ноябрь
1
7-9
1-2
2
3
9-10
2-3
1-2
9-10
1-3
3
45-55
35-45
40-50
45-55
65-70
55-65
2
2-3
10
50-60
50-60
9-10
7-8
7-8
30-40
35-45
9-10
15-30
9-10

4.39в



4.39г

Рис. 4.39. Графики типичных ледовых условий в мягкую зиму (а), в умеренную зиму (б), в суровую зиму (в) и в самую суровую зиму (г) на трассе устье Финского залива – Санкт-Петербург.

Серьезные затруднения при проводке судов во льдах вызывают сжатия. В Финском заливе зоны сплочения, сжатия и разрежения, возникающие в районах прохождения трассы, не постоянны. Их появление обусловлено воздействием течений и ветра (различной скорости и направления) на дрейфующий сплоченный лед. Так, при северных и северо-западных ветрах силой 10–15 см/с в период ледообразования на участке от приемного буя до Кронштадтского маяка образуется ледяной затор из набивного льда. В умеренные зимы в январе-феврале сжатия льда происходят на участке о. Мощный – о. Гогланд. Иногда при подвижках льда сжатия бывают и на Большом корабельном фарватере, из-за чего в силу ограниченности маневренности суда испытывают серьезные затруднения [93].

Для проводки судов в Финском заливе активно используются ледоколы. Например, в навигацию 2010/2011 гг. (умеренная зима) в порт Санкт-Петербург суда проводились ледоколами «Семен Дежнев», «Капитан Зарубин» и «Мудьюг». На Выборг и Высоцк работали ледоколы «Капитан Измайлов», «Кару» и «Санкт-Петербург». В порт Приморск суда проводились ледоколами «Москва» и «Ермак». На Усть-Лугу работал ледокол «Иван Крузенштерн». В районе кромки льда дежурили а/л «Вайгач», ледоколы «Капитан Сорокин» и «Капитан Драницын». Для проводки судов в сложной ледовой обстановке в Финский залив впервые в истории проводок завели атомный ледокол «Вайгач». Он пришел на Балтику 26 февраля, а к 16 марта должен был вернуться в порт приписки Мурманск. Но из-за тяжелых льдов его работу в Финском заливе продлевали несколько раз (до 10 апреля). В основном услуги ледокола требовались для сопровождения супертанкеров с нефтепродуктами из порта Приморск. Всего за время работы на Балтике в навигацию 2010/2011 гг. «Вайгач» провел более 250 судов. Практика использования атомных ледоколов для проводки судов в Финском заливе сохранена и в 2012 г. (работали а/л «Россия» и а/л «50 лет Победы»), и в 2013 г. (работал а/л «Россия»).

4.8. Ледовые условия в портах Финского залива

Санкт-Петербург

Географические координаты порта: 59°54′ с.ш., 30°15′ в.д.

Порт Санкт-Петербург – крупнейший транспортный узел на северо-западе России. Он расположен на островах дельты реки Нева. Навигация в порту продолжается круглый год. С конца ноября – начала декабря и до конца марта – начала апреля Невская губа в районе порта покрыта льдом. В этот период движение судов в порт и обратно обеспечивают ледоколы. Руководство ледовыми операциями осуществляет штаб ледокольных операций, подчиняющийся капитану порта. К движению во льдах (самостоятельному либо под проводкой ледокола) допускаются суда в зависимости от их ледового усиления, мощности двигателя, размеров и фактической ледовой обстановки.

Большой порт Санкт-Петербург имеет причалы морского торгового, лесного, рыбного и речного портов, нефтяного терминала, судостроительных, судоремонтных и других заводов, морского пассажирского вокзала, речного пассажирского порта, а также причалы Кронштадта, Ломоносова, портовых пунктов Горская и Бронка. К ним ведет разветвленная система каналов и фарватеров. Самым протяженным и глубоководным из них является *Санкт-Петербургский морской канал*. По нему могут пройти суда с осадкой до 11,0 м, длиной до 260 м и шириной до 40 м. Более крупные суда (прежде всего нефтеналивные) обрабатываются на внешнем рейде.

Морской торговый порт включает около 60 причалов с глубинами до 11,9 м общей протяженностью более 9,0 км. На них осуществляется перевалка цветных и черных металлов, оборудования, химических грузов в упаковке, минеральных удобрений в таре, леса, насыпных грузов (минеральных удобрений, зерна, сахара-сырца), угля, руды, металлолома, нефтеналивных грузов, других генеральных грузов. Модернизированный контейнерный терминал позволяет перегружать до 700 тысяч контейнеров в год. Территориально морской торговый порт разделен на четыре района.

Нефтяной терминал расположен рядом с четвертым районом морского торгового порта. Он включает два причала для приема танкеров водоизмещением до 35 тыс. т и два причала для приема речных танкеров, прибывающих с Невы. На терминале производится погрузка дизельного топлива и мазута.

Лесной порт состоит из 10 причалов общей протяженностью 1520 м. (глубины от 8,5 до 11,5 м).

Рыбный порт имеет 6 причалов общей длиной более 660 м.

Наиболее опасными явлениями, затрудняющими работу порта, являются штормовые нагоны и ледовые условия. Для устья Невы, где расположен порт, нагонными являются ветры от ССЗ до ЮЮЗ, а сгонными – от СВ до ЮЮВ. При нагонном повышении уровня на 160 см над ординаром нарушается нормальное передвижение судов, вода местами выходит из берегов, затапливаются некоторые склады. Поднятие воды на 3 м и более сопровождается затоплением отдельных территорий порта, портовых сооружений. Средняя величина поднятия уровня при нагоне равна 52 см, при сгоне – 42 см.

Ледообразование в районе порта Санкт-Петербург начинается обычно в третьей декаде ноября. Самое раннее появление льда в районе порта отмечено 29 октября 1920 г., а самое позднее – 2 января 2012 года. Интервал между сроками первого появления льда и началом устойчивого ледообразования в среднем составляет 2–5 дней, при этом варьирует от 0 до 49 дней. Большие перерывы в ледообразовании являются следствием частых оттепелей и сильных ветров, выносящих лед из Невской губы в Финский залив.

Ледяной покров в порту формируется из местного льда. В период от начала ледообразования до установления припая Невская губа бывает покрыта дрейфующим льдом. Средняя многолетняя дата замерзания порта (припай от берега до берега или до горизонта) приходится на 11 декабря. В очень мягкие зимы (например 2006/2007 гг.) припай в порту не образуется. Наибольшей

толщины припайный лед достигает в среднем во второй декаде марта. В умеренные зимы это 45–50 см. Максимальная толщина льда отмечалась в феврале экстремально суровой зимы 1941/1942 гг. – 80–90 см.

Весеннему разрушению ледяного покрова предшествует переход температуры воздуха через 0 °С весной (к положительным значениям), который происходит в среднем в конце марта. К началу апреля появляются первые признаки разрушения – первые проталины, отдельные лужи. Средняя дата первого взлома припая на акватории порта – 4 апреля, ранняя и поздняя – соответственно, 18 января 1989 г. и 30 апреля 1956 года. Окончательный взлом припая происходит в среднем через 5–7 дней после первого.

Окончательное очищение акватории порта ото льда происходит в среднем 23 апреля. Самое раннее очищение наблюдалось 24 марта 1989 г. после мягкой зимы, самое позднее – 19 мая 1926 г. после суровой зимы.

Продолжительность ледового периода на акватории порта от первого появления льда до окончательного очищения в среднем составляет 151 день, изменяясь от 95 дней (2006/2007 гг.) до 194 дней (1941/1942 гг.).

За последнее 30-летие срок ледообразования в порту Санкт-Петербург сдвинулся на 3 дня в сторону более поздних дат, по сравнению с многолетними датами. Срок замерзания порта сдвинулся в среднем на 2 недели в сторону более поздних дат, а сроки разрушения и полного очищения акватории порта ото льда – на неделю в сторону более ранних дат. Средняя продолжительность ледового сезона составила 143 дня, сократившись, по сравнению со средней многолетней, на 8 дней.

Усть-Луга

Географические координаты порта: 59°40′ с.ш., 28°18′ в.д.

В Лужской губе Финского залива в настоящее время ведется строительство многоцелевого морского торгового порта Усть-Луга с пропускной способностью до 180 млн т различных грузов в год.

Порт Усть-Луга расположен практически на границе Российской Федерации и Европейского союза.

В настоящее время в порту Усть-Луга работают семь терминалов: комплекс по перегрузке угля, универсальный перегрузочный комплекс, терминал по перевалке технической серы, автомобильно-железнодорожный паромный комплекс, многопрофильный перегрузочный комплекс «Юг-2», лесной терминал, комплекс наливных грузов; осуществляется ввод в эксплуатацию нефтебазы «Усть-Луга». В конце 2011 г. в Усть-Луге заработала первая очередь Контейнерного терминала, который в перспективе станет крупнейшим и наиболее передовым в технологическом отношении российским терминалом. Это первый в России глубоководный контейнерный терминал, глубина у его причалов – 13,5 м.

Крупнотоннажные морские суда осуществляют вход и выход в порт по Южному подходному каналу (Лужский морской канал). Ширина канала – 180 м, длина – 5,7 км. Максимальная разрешенная проходная осадка судов – 13,7 м.

Первое появление льда в районе порта происходит в среднем 23 ноября. Самое раннее появление льда в районе порта отмечено 15 октября 1976 г., а самое позднее – 22 января 2007 года. Устойчивое ледообразование начинается в среднем 11 декабря. Обычно к середине января происходит полное замерзание порта. В последнее десятилетие замерзание порта происходит не каждый год. Наибольшей за зиму толщины лед достигает во второй декаде марта (в среднем 40–50 см). Максимальная толщина льда в Усть-Луге наблюдалась в суровую зиму 1930/1931 гг. и составляла 70 см.

Разрушение льда в Усть-Луге начинается в начале апреля. Средняя дата первого взлома припая 10 апреля. Окончательное очищение акватории порта происходит в среднем 22 апреля при экстремальных сроках: раннее очищение – 25 февраля 1989 г., позднее очищение – 20 мая 1923 года.

Продолжительность ледового периода на акватории порта от первого появления льда до окончательного очищения в среднем составляет 149 дней, изменяясь от 64 дней (2007/2008 гг.) до 191 дня (1925/1926 гг.).

За последнее 30-летие средние сроки первого появления льда и замерзания порта Усть-Луга сдвинулись на 11 дней в сторону более поздних дат, срок разрушения припая – на 13 дней в сторону более ранних дат, а срок полного очищения акватории порта ото льда – на 9 дней в сторону более ранних дат. Средняя продолжительность ледового периода составила 129 дней, сократившись, по сравнению со средней многолетней продолжительностью, на 20 дней.

Выборг

Географические координаты порта: 60°43′ с.ш., 28°44′ в.д.

Выборгский порт расположен в Выборгском заливе Финского залива. Порт замерзающий. Лед наблюдается с декабря по апрель. В этот период движение судов в порт обеспечивается ледоколами.

В порт ведет морской канал Высоцк – Выборг протяженностью 14 миль, состоящий из двух частей – Выборгского фарватера (6 миль) и Выборгского морского канала (8 миль). Наименьшая глубина канала – 6,9 м. В светлое время суток по нему могут пройти суда с осадкой не более 6,5 м и длиной до 135 м. В ночное время по каналу разрешается проходить судам с осадкой до 6,0 м и длиной не более 125 м. У Выборга берет начало Сайменский морской канал, протянувшийся вглубь финской территории к системе Сайменских озер. Общая протяженность причалов составляет 1,6 км.

Грузовой район включает восемь грузовых и четыре вспомогательных причала, предназначенных для стоянки судов портового флота. В порту перегружаются черные и цветные металлы, лес, пиломатериалы, оборудование, продовольственные грузы, удобрения, уголь, руда, прочие грузы.

Пассажирский район включает один причал протяженностью 120 м и глубиной 4,4 м. Он принимает пассажирские суда, курсирующие между Выборгом и Финляндией.

Винный терминал имеет один причал, на котором осуществляется слив с танкеров в береговые емкости импортной винной продукции.

Выборгский залив изобилует островами. Общее количество островов в заливе превышает 400, наиболее крупные из них – Высоцкий, Крепыш, Лисий. Между входом в Выборгский залив и островами Крепыш и Высоцкий расположен глубоководный Транзундский рейд. Небольшие глубины на фарватере Выборгского залива и ограниченность маневра не позволяют использовать здесь мощные ледоколы.

Наиболее опасными явлениями, затрудняющими работу порта, являются сгонно-нагонные и ледовые условия. Амплитуда сгонно-нагонных колебаний уровня достигает 2,5 м. Максимальные подъемы уровня над ординаром – 1,5 м. Подъем уровня в Выборгском заливе возникает под действием западных ветров, а понижение – под действием восточных ветров.

Средняя дата осеннего перехода температуры воздуха через 0 °С осенью (к отрицательным значениям) – 15 ноября. Минимальная температура воздуха (в среднем –8,2 °С) наблюдается в феврале. Весенний переход температуры воздуха через 0 °С (к положительным значениям) происходит в среднем 3 апреля.

В Выборгском заливе ледяной покров формируется изо льда местного образования. Первое появление льда в районе порта происходит в среднем 20 ноября. Самое раннее появление льда в районе порта отмечено 25 октября 1992 г., а самое позднее – 1 января 2012 года. Устойчивое ледообразование начинается в среднем 25 ноября. Через 1–3 дня после начала устойчивого ледообразования в Выборге начинает формироваться припай. Повторяемость совпадения дат начала устойчивого ледообразования и начала установления припая – около 60 % [93]. В среднем 1 декабря происходит полное замерзание порта.

Наибольшей за зиму толщины лед достигает во второй декаде марта (в среднем 45–50 см). Максимальная толщина льда в Выборге наблюдалась в суровую зиму 1959/1960 гг. и составляла 76 см. Разрушение льда в Выборге начинается обычно в первой декаде апреля с появления первых проталин. Средняя дата взлома припая – 21 апреля. Окончательное очищение акватории порта происходит в среднем 29 апреля при экстремальных сроках: раннее очищение – 6 апреля 2007 г. после мягкой зимы, позднее очищение – 16 мая 1956 г. после суровой зимы. Продолжительность ледового периода на акватории порта от первого появления льда до окончательного очищения в среднем составляет 161 день, изменяясь от 120 дней (2011/2012 гг.) до 186 дней (1956/1957 гг.).

За последнее 30-летие срок ледообразования в порту Выборг сдвинулся на 2 дня в сторону более поздних дат. Срок замерзания порта сдвинулся в среднем на 5 дней в сторону более поздних дат, срок разрушения припая – на 1 день в сторону более ранних дат, а срок полного очищения акватории порта ото льда – на 3 дня в сторону более ранних дат. Средняя продолжительность ледового периода составила 155 дней, сократившись, по сравнению со средней многолетней продолжительностью, на 6 дней.

Приморск

Географические координаты порта: 60°21′ с.ш., 28°43′ в.д.

Порт Приморск является конечным звеном Балтийской трубопроводной системы (БТС). Морской порт ориентирован на транспортировку сырой нефти с Тимано-Печорского месторождения, из западной Сибири и Поволжья, а также дизельного топлива с нефтеперерабатывающих заводов европейской части России. Морской порт Приморск является самым крупным морским портом по экспорту нефтепродуктов в Северо-Западном регионе России.

Порт находится на северо-восточном берегу пролива Бьеркезунд. В порт ведет подходной фарватер, который начинается у о. Сескар. Фарватер состоит из трех участков общей протяженностью 17,8 мили. В нем установлено двухстороннее движение. Порт предназначен для обслуживания танкеров дедвейтом до 150 тыс. т, длиной до 307 м, шириной до 55 м и осадкой до 15,5 м. Таким образом, принимаются суда с осадкой, близкой к максимальной осадке кораблей, способных заходить из океана в Балтийское море. Ввиду ограниченных глубин в Датских проливах супертанкеры не могут заходить в Балтику. В порту 9 причалов, 3 из них – для портового флота, максимальная глубина у причала – 18,2 м. На территории порта находятся 18 резервуаров для хранения нефти емкостью по 50 тыс. т, емкости для хранения светлых нефтепродуктов и несколько резервуаров аварийного сброса. Общая емкость резервуаров для хранения нефти составляет 921 тыс. т, для хранения светлых нефтепродуктов – 240 тыс. т.

В проливе Бьеркезунд ледяной покров формируется изо льда местного образования. Первое появление льда в районе порта Приморск происходит в среднем 14 декабря. Самое раннее появление льда отмечено 18 ноября 1993 г., а самое позднее – 26 января 2007 года. Устойчивое ледообразование начинается в среднем 21 декабря. В среднем 31 декабря происходит полное замерзание порта. Наибольшей за зиму толщины лед достигает в марте (в среднем 45–50 см). Максимальная толщина льда в Приморске – 73 см.

Разрушение льда в Приморске начинается в начале апреля с появления первых проталин. Средняя дата первого взлома припая – 16 апреля. Окончательное очищение акватории порта ото льда происходит в среднем 29 апреля (при экстремальных сроках: раннее очищение – 7 апреля 1989 г. после мягкой зимы, позднее очищение – 22 мая 1956 г. после суровой зимы). Продолжительность ледового периода на акватории порта в среднем составляет 134 дня, изменяясь от 75 дней (2006/2007 гг.) до 173 дней (1954/1955 гг.).

За последнее 30-летие средний срок ледообразования в порту Приморск сдвинулся на 1–2 дня в сторону более поздних дат, по сравнению со средними многолетними данными, срок замерзания порта сдвинулся в среднем на 6 дней в сторону более поздних дат, а срок полного очищения акватории порта ото льда – на 5 дней в сторону более ранних дат. Средняя продолжительность ледового сезона составила 129 дней, сократившись, по сравнению со средней многолетней продолжительностью, на 5 дней.

Глава 5

ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ В АЗОВСКОМ МОРЕ

5.1. Общие сведения о гидрометеорологическом режиме Азовского моря

Азовское море относится к типу внутренних морей. Это связанный с Мировым океаном морской бассейн, судоходные трассы которого имеют большое значение для развития южных регионов России. Море относится к системе Средиземного моря Атлантического океана. Расположено на южной окраине Русской равнины, находится между параллелями 47°17′ и 45°16′ с.ш. и меридианами 34°49′ и 39°21′ в.д. и почти со всех сторон окружено сушей.

Площадь Азовского моря – 38 тыс. км^2, средняя глубина – 8 м, наибольшая глубина в центральной части моря – 13 м. Из-за мелководности моря к портам проложены каналы для судов с осадкой не более 8 м. В Азовском море нет крупных островов. Небольшие острова – о. Ляпина, расположенный у берега восточнее порта Мариуполь, о. Черепаха – у входа в порт Таганрог, о-ва Песчаные – севернее порта Ейск.

На юге Керченский пролив соединяет Азовское море с Черным морем. Граница между этими морями совпадает с южной границей Керченского пролива, проходящей по линии м. Такиль (п-ов Крым) – м. Панагия (Таманский п-ов).

Береговая линия Азовского моря извилиста. Берега возвышены только на побережье Керченского пролива, в остальных местах они плоские и оканчиваются небольшими уступами, спускающимися к узкой прибрежной полосе. В северо-восточной части моря располагается далеко вдающийся в сушу распресненный Таганрогский залив, а на западе – сильно осолоненный залив Сиваш, отделенный от моря песчано-ракушечной пересыпью – Арабатской Стрелкой, и связанный с морем проливом Тонкий. Для восточного побережья моря характерно наличие большого числа лиманов. Северо-западная прибрежная часть моря разделена далеко вдающимися в море песчаными косами (Белосарайской, Бердянской, Обиточной) на обособленные заливы. Эти песчаные косы вытянуты в юго-западном направлении и заканчиваются в море рядом песчаных отмелей. В Азовское море впадают две крупные реки – Дон и Кубань, а также около 20 небольших рек, значительная часть которых стекает с северного берега [44, 77, 92].

На рис. 5.1 приведена схема районирования Азовского моря. В основе районирования, выполненного в Государственном океанографическом институте в 80-х гг. XX века, лежит выделение однородных по химическому составу водных масс [31]. Выделенные районы отличаются, кроме того, интервалами глубин и, как будет показано ниже, особенностями ледовых условий.

Район 1 – мелководный восточный район с преобладанием глубин от 4 до 7 м.

Район 2 подвержен влиянию стока р. Кубань (преобладающие глубины – 7–10 м).

Район 3 находится под непосредственным влиянием черноморских вод (преобладающие глубины – 6–10 м). К этому району относится Керченский пролив. Длина пролива по прямой 41 км по фарватеру – около 48 км. Ширина пролива (без Таманского залива) от 4 км у северной оконечности о. Тузла до 15 км на южной границе пролива. Таманский залив, расположенный восточнее Керченского пролива, вдается в материк на 16 км. Водообмен его с Керченским проливом на западе частично ограничивают косы Тузла и Чушка. Наибольшая глубина Таманского залива – 5 м. Глубины в Керченском проливе – 5–17 м, причем наибольшие лежат на границе Азовского и Черного морей. На большей площади пролива глубины составляют не более 5–6 м. По руслу Керченского пролива проходит морской судоходный канал глубиной 8 м.

Район 4 – мелководный западный район с преобладанием глубин от 4 до 7 м.

Район 5 – самый обширный и глубокий (преобладают глубины от 7 до 13 м), здесь происходят процессы смешивания вод Таганрогского залива и черноморских вод.

Район 6 находится под влиянием вод Таганрогского залива (преобладающие глубины – 6–10 м).

Таганрогский залив включает в себя три района (7, 8, 9). При этом район 9 характеризуется влиянием речного стока р. Дон, район 7 – влиянием собственно морской воды. В районе 8 происходит интенсивное смешивание речных и морских вод. Районы отличаются и по глубинам: в районе 9 преобладают глубины от 2 до 5 м, в районе 8 – от 3 до 6 м, в районе 7 – от 5 до 7 м.

Наиболее значительными на Азовском море являются российские порты Таганрог, Ейск, Керчь, Приморско-Ахтарск, Кавказ и украинские порты Мариуполь. Геническ. Вблизи некоторых населенных пунктов, расположенных на берегу Азовского моря, имеются пристани для обслуживания рыболовных судов.

Плавание по Азовскому морю сопряжено с рядом трудностей. К неблагоприятным для судоходства условиям относится ежегодное появление льда. В течение одной зимы лед может появляться и исчезать, превращаться из неподвижного льда в дрейфующий и обратно. Осложняют судоходство также наличие множества участков с малыми глубинами, а также большие сгонно-нагонные колебания уровня моря.



Рис. 5.1. Районирование Азовского моря:
1– восточный район; 2 – юго-восточный район;
3 – южный район; 4 – западный район; 5 – центральный район;
6 – северный район; 7, 8, 9 – западная, центральная
и восточная части Таганрогского залива;
на врезке – Керченский пролив.

Ветровой режим. Важную роль для судоходства имеет скорость и направление ветра. Ветер влияет практически на все составляющие гидрологического режима моря. Преобладающими для побережья и открытой части Азовского моря являются восточные и северо-восточные ветры. Среднегодовая скорость ветра составляет 4,5–5,5 м/с на побережье и 7,5–8,0 м/с – в центральной части моря. Средняя скорость ветра зимой выше, чем летом.

Наибольшая повторяемость восточных и северо-восточных ветров над Азовским морем наблюдается в то время, когда оно находится под влиянием сибирского антициклона с октября по апрель. Суммарная повторяемость этих двух направлений в январе составляет 40–55 % на северном побережье и 35 % – в Керчи. Летом при активизации азорского антициклона преобладающими направлениями ветра становятся северо-западное, западное и юго-западное. В Геническе, Мариуполе и Керчи повторяемость западного и северо-западного направлений ветра в июле составляет 30–40 %, в Бердянске и Таганроге суммарная повторяемость юго-западного и западного направлений ветра составляет 30–35 %.

Наибольшая средняя месячная скорость ветра приходится на холодный период. В сезонном ходе скорости ветра существуют два максимума – в декабре и марте. Среднемесячная скорость ветра в декабре в центральных районах моря составляет 8,3 м/с, на береговых станциях – 6–7 м/с. Мартовский максимум средней скорости ветра для центра моря близок к декабрьскому максимуму. Для побережья он составляет 5–6 м/с. В теплый период скорость ветра уменьшается.

Штиль наиболее часто наблюдается в районе Мариуполя – в 25 % случаев. На этой станции отмечена наименьшая на всем побережье среднегодовая скорость ветра, которая составляет 4,5 м/с. Наиболее редко штилевые условия наблюдаются в районе станций Мысовое и Должанская – в 10 % случаев. В среднем за год повторяемость штилей на побережье Азовского моря составляет около 16 %. В течение всего года на Азовском море преобладают слабые ветры (до 6 м/с). Их повторяемость составляет 60–70 %. Лишь в Мысовом и Должанской повторяемость таких ветров несколько ниже – 45–50 %.

Штормовой ветер со скоростью 20–24 м/с может наблюдаться в любое время года, а со скоростью больше 24 м/с – только в период с октября по апрель.

Из местных ветров на Азовском море можно выделить «кубанец», «леван», «маистру», «нот». *Кубанец* – теплый юго-восточный ветер, наблюдающийся на востоке Азовского моря. *Леван* – восточный ветер. Это влажный, иногда сильный ветер, сопровождающийся пасмурной погодой и дождями и вызывающий сильное волнение. Обычно он наблюдается осенью и зимой, но возможен и весной. *Маистра* – холодный и сухой северо-западный ветер с суши, отмечающийся на юго-восточном побережье Азовского моря. *Нот* – сильный и теплый влажный южный ветер. К северным берегам моря он приносит туманы и дожди, иногда с градом [31, 97].

Температура воздуха. Средняя годовая температура воздуха над Азовским морем возрастает от 9 °С у северного побережья до 11 °С – в южной части моря. Амплитуда годового хода среднемесячной температуры воздуха, по данным прибрежных ГМС, составляет 24...28 °С. Наиболее низкая среднемесячная температура воздуха наблюдаются в январе-феврале: от минус 4,0 °С – в Таганроге до минус 0,4 °С – в Керчи. В марте среднемесячная температура воздуха уже выше нуля и составляет в среднем 1,1 °С в Таганроге и 3,3 °С – в Керчи. В апреле существенно увеличивается приток солнечной радиации, что вызывает интенсивный рост температуры воздуха. Увеличение температуры за месяц составляет 6...8 °С.

В марте-апреле море очищается ото льда, но температура воды при этом остается ниже температуры воздуха. В результате над морем образуется зона с пониженными, по сравнению с берегом на 1,5...2,5 °С, значениями температуры воздуха.

В мае средняя месячная температуры воздуха на 5...7 °С выше апрельской и в центральной части моря составляет 14...15 °С, а на побережье она равна 15...17 °С. Зона пониженной температуры воздуха сохраняется над морем, постепенно ослабевая, до августа. Максимум температуры воздуха приходится на июль-август. На побережье Азовского моря среднемесячная температура воздуха в июле составляет 23...24 °С. В августе-сентябре в связи с уменьшением притока солнечной радиации начинается понижение температуры воздуха. Изменчивость среднемесячных температур воздуха особенно велика осенью и зимой, когда отклонения от нормы могут достигать до 10 °С.

Самые низкие суточные температуры воздуха наблюдаются в январе и феврале при вторжениях арктического воздуха в тыл циклонов, смещающихся из района Скандинавского п-ова, либо при северо-восточных ветрах, приносящих холодный воздух из Сибири. Температура воздуха зимой при таких процессах может понижаться до аномально низких значений (до –32....–30 °С – на севере Азовского моря и до –29...–26 °С – на его южном побережье).

Наиболее высокие суточные значения температуры воздуха зимой наблюдаются при вторжении тропического воздуха из Малой Азии или морского воздуха с Северной Атлантики. При этом на побережье возможно повышение температуры воздуха в январе-феврале до 14...16 °С [31].

Продолжительность ледового периода тесно связана с периодом отрицательных температур, который начинается с перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С к отрицательным значениям (на севере моря в среднем в первой декаде декабря, на юге моря – в третьей декаде января). Заканчивается период отрицательных температур весной переходом среднесуточной температуры воздуха через 0 °С к положительным значениям (на юге моря в среднем в первой декаде марта, на севере моря – во второй декаде марта). Периоды с отрицательными температурами зимой длятся в Таганрогском заливе в среднем 90–100 дней, на южном побережье – 50–70 дней.

В зимний период на Азовском море наблюдаются частые оттепели. Среднее количество дней без оттепелей редко превышает 20–25 дней. В весеннее

время на Азовском море часто наблюдаются возвраты холода, особенно это характерно для марта. Только суровые зимы отличаются длительными периодами непрекращающихся морозов. В умеренные зимы холодные периоды чередуются с теплыми, а в мягкие зимы преобладают периоды слабоотрицательных и положительных температур [74].

Суровые зимы на Азовском море формируются при активной деятельности сибирского антициклона, который, распространяя свое влияние на значительную часть ЕТР, объединяется с европейским зимним антициклоном и обеспечивает поступление холодных воздушных масс воздуха с севера и северо-востока на акваторию моря. Таким образом, суровые зимы связаны с ослаблением зональной и усилением меридиональной циркуляции. В мягкие зимы меридиональная циркуляция, напротив, ослаблена, усилен зональный (западный) перенос, обеспечивающий поступление на Азовское море влажного и теплого воздуха с акваторий Северной Атлантики и Средиземноморья.

Изменчивость характера термических процессов в течение зимнего сезона на Азовском море очень велика. Первая половина зимы может быть мягкой, но поступающий на акваторию моря в конце января – феврале арктический воздух может за короткий срок увеличить накопленную сумму градусодней мороза до критерия умеренной зимы.

Температура воды имеет хорошо выраженный годовой ход. Амплитуда годового хода в разных районах моря составляет 23...25 °С. Самая высокая температура наблюдается в июле: от 30 °С до 32 °С – в прибрежной полосе и от 24 °С до 25 °С – в открытом море. В результате водообмена между Азовским и Черным морями в Керченском проливе в осенне-зимний период температура воды обычно выше на 2...4 °С, чем в открытой части Азовского моря, а в летние месяцы ниже, чем в остальных частях прибрежной зоны моря. Наиболее быстрое повышение температуры весной происходит при переходе от апреля к маю, по данным береговых станций оно составляет 7...9 °С. Наиболее быстрое охлаждение вод у побережья наблюдается от сентября к октябрю (на 6...7 °С), в открытых районах моря – от октября к ноябрю (на 6...8 °С). Осенью переход температуры воды через 0 °С ранее всего наблюдается в Таганрогском заливе (в начале декабря), позже всего – в Керченском проливе (в первой декаде января).

Соленость воды. Средняя многолетняя соленость Азовского моря, рассчитанная за 1913–1951 гг., составляет 11 ‰ (без Таганрогского залива). С 1952 г. (начала наполнения Цимлянского водохранилища) соленость в Азовском море начала увеличиваться. Максимальная соленость наблюдалась в 1976 г. (13,9 ‰). Минимум солености – 9,6 ‰ – наблюдался в 1932 году. Такие колебания средней солености объясняются в первую очередь изменчивостью материкового стока.

Соленость поверхностного слоя воды распределяется неравномерно и по площади моря. Средняя соленость за период, предшествующий зарегулированию стока р. Дон (1913–1951 гг.), по районам (пронумерованным в соответствии с рис. 5.1) следующая: 1 – 10,4 ‰, 2 – 10,8 ‰, 3 – 11,3 ‰,

4 – 10,9 ‰, 5 – 11,1 ‰, 6 – 10,4 ‰ , 7 – 7,8 ‰, 8 – 4,4 ‰, 9 – 0,7 ‰ . В настоящее время соленость несколько выше – средняя по Азовскому морю близка к 12 ‰. В Таганрогском заливе она изменяется от 1 ‰ в устье Дона (район 9) до 8 ‰ – в юго-западной части залива (район 7). В центральной части моря (район 5) соленость составляет около 12 ‰, а в Керченском проливе – 11–14 ‰. Сезонные изменения солености выражены достаточно четко. Весной и в первой половине лета она составляет 9–10 ‰ в открытой части моря и 1–2 ‰ – в прибрежной зоне вблизи устьев крупных рек; в конце лета соленость воды повышается. Зимой в центральной части моря соленость поверхностного слоя воды достигает наибольшего значения – 11–13 ‰. Зимой во время оттепелей и в начале весны в отдельных районах моря отмечается значительное, но непродолжительное уменьшение солености поверхностного слоя воды, вызываемого таянием снега и льда. В южных районах залива Сиваш соленость воды составляет более 150 ‰ [30, 31].

Течения. Генеральное течение Азовского моря образует круговорот вдоль берегов против часовой стрелки (рис. 5.2). Эта схема предложена Н.М. Книповичем, и согласно ей опресненные воды из Таганрогского залива распространяются вдоль северного побережья моря на запад, затем на юг и вдоль южного побережья на восток. На эту схему течений накладывается влияние ветра. Направление и скорость течения очень изменчивы. Генеральная схема течений соответствует действию северных и северо-восточных ветров, преобладающих над акваторией Азовского моря в течение года. Западные и юго-западные ветры могут существенно изменить схему течений, приведенную на рис. 5.2.

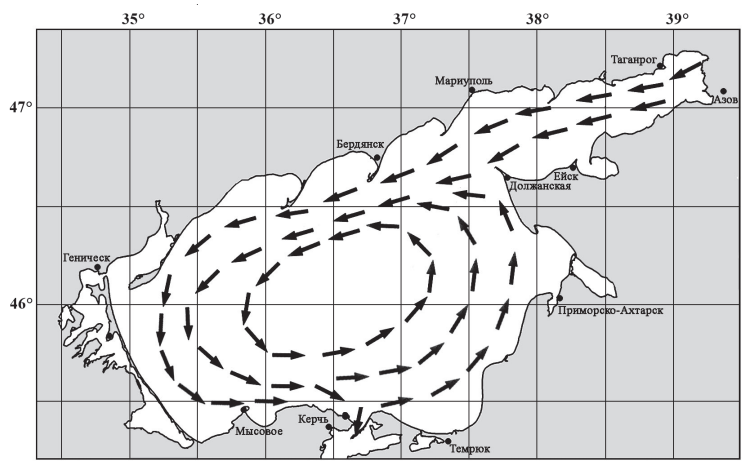


Рис. 5.2. Схема поверхностных течений в Азовском море.

Влияние стоков рек Дон и Кубань заметно лишь в устьевых взморьях. В процессе формирования ветровых течений реакция верхнего слоя на изменение скорости ветра происходит быстро: наибольшая скорость течений отмечается у поверхности, наименьшая – у дна. При условии продолжения действия ветра,

устойчивого по направлению и скорости, на глубине формируется компенсационное течение. Формирование глубинного течения сопровождается уменьшением скорости поверхностного течения. В море развивается двухслойная циркуляция: в верхнем слое – по ветру, на глубине – против ветра.

Наиболее сильные ветровые течения развиваются при северо-восточных, восточных и юго-западных ветрах: при скорости ветра 15–20 м/с скорости ветровых течений могут достигать 110–130 см/с. При других направлениях ветра скорости ветровых течений не превышают 70–90 см/с [30, 92].

Уровень моря в теплый период года выше, чем в холодный. Наиболее высокий уровень наблюдается весной и летом, когда его значения обычно выше среднего многолетнего на 5–15 см (в отдельные годы возможно повышение среднемесячного уровня в это время на 25–35 см выше средних многолетних значений). Осенью, в связи с увеличением повторяемости северо-восточных ветров, способствующих стоку воды из Азовского в Черное море, среднемесячный уровень опускается на 10–15 см ниже средних многолетних значений (в отдельные годы возможно понижение среднемесячного уровня в это время и на 25–30 см ниже средних многолетних значений). Межгодовые колебания, связанные с изменчивостью стока рек Азовско-Черноморского бассейна, имеют размах порядка 40 см.

Значительно больший размах имеют сгонно-нагонные колебания уровня, связанные с действием ветра. В Таганрогском заливе и на востоке Азовского моря юго-западные и западные ветры вызывают нагоны воды, а северо-восточные и восточные – сгоны. При скорости нагонного ветра 15 м/с и более в вершине Таганрогского залива нагоны достигают максимальных значений. Наибольшая амплитуда колебаний уровня (разница между минимальным и максимальным значениями) достигает в Таганрогском заливе – 5,5 м, в Керченском проливе – 1,0–2,0 м (при экстремальных подъемах уровня (раз в 50 лет) происходит частичное затопление косы Тузла). Сгонно-нагонные колебания происходят иногда очень быстро. Например, в порту Мариуполь за сутки уровень может несколько раз подниматься и опускаться или же в течение нескольких дней может только опускаться или только подниматься. В порту Бердянск сгоны происходят при сильном и продолжительном северном ветре. В Темрюкском заливе нагон воды происходит под влиянием сильного ветра от северо-запада, а в Керченском проливе – под влиянием ветров от севера, северо-востока и юго-востока. В Азовском море хорошо выражены сейшевые колебания, особенно летом. В Таганрогском заливе амплитуда этих колебаний может достигать 80 см. Наибольшие амплитуды наблюдаются сразу после прекращения шторма. Приливно-отливные колебания уровня моря незначительны [30].

Волнение моря. Развитие волн на Азовском море ограничено небольшой площадью моря и небольшими глубинами. Тем не менее наблюдаются опасные для малых судов волны, имеющие значительную крутизну и малую длину. В Азовском море преобладают волны высотой менее 1 м. Повторяемость этих волн составляет 70 %. Повторяемость высот волн 1–2 м составляет 20 %, а высот волн более 2 м – 10 %.

Среднее число дней в году со скоростями ветра ≥15 м/с над акваторией Азовского моря, по данным гидрометеорологических станций, составляет 25–35. Штормы со скоростями ветра более 20 м/с наблюдаются 2–8 раз в год. Чаще всего они бываю в феврале-марте и реже всего в августе-сентябре. Сильнее штормы (при скорости ветра ≥25 м/с) наблюдаются в среднем один раз в пять лет. Штормы такой силы обычно охватывают всю акваторию моря. В центральной, самой глубоководной части моря высота волн не превышает 3,5 м, и только в очень редких случаях она достигает 4 м. В Таганрогском заливе максимальная высота волн – 2,5 м. В Керченском проливе преобладают волны высотой до 1 м. Значительные волны высотой порядка 2 м наблюдаются здесь редко. Наибольшей продолжительностью отличаются штормы при восточных и северо-восточных ветрах. В наиболее штормовые месяцы (февраль-март) развитие волнения в Азовском море ограничивается наличием льда.

5.2. Факторы, обусловливающие состояние ледяного покрова Азовского моря

Большое значение для появления льда имеют ветер и соленость воды. Под воздействием сильных восточных, северо-восточных и северных ветров лед интенсивно выносится из прибрежных районов северной части в открытое море, что способствует охлаждению поверхностного слоя воды в районах выноса льда. Поэтому при интенсивном выхолаживании и сильных ветрах северных и восточных направлений лед в открытом море появляется раньше, чем при штиле.

В связи с тем, что на Азовском море зимой преобладают ветры восточных румбов, лед чаще подвержен сжатиям на западе, реже – на крайнем востоке моря. На востоке ветры восточных румбов отжимают лед от припая или берега к западу, в результате чего образуются зоны разрежений или чистой воды. При продолжительном действии этих ветров образуется обширная сквозная полынья от косы Долгой до Темрюкского залива.

При ветрах восточных, северных и северо-восточных направлений со скоростью 10 м/с и более соленость может понижаться на 1–2 ‰ вследствие притока пресной воды из р. Дон и р. Кубань. За двое суток поверхностные распресненные воды могут распространиться из вершины Таганрогского залива до его устья. При этом для образования льда в заливе потребуется меньшая сумма градусодней мороза, чем при ветрах других направлений. Влияние солености на ледообразование можно продемонстрировать также на примере Гнилого моря (Сиваша). Здесь наблюдается лед местного происхождения. Вследствие большой солености, которая в районе Стрелкового (со стороны Сиваша) 50–60 ‰, а южнее доходит до 120–160 ‰, для образования льда необходимы значительные понижения температуры воды (до –3...–2 °С). Полное замерзание Сиваша происходит только в суровые зимы (1953/1954, 1968/1969, 1971/1972 гг.). В эти зимы лед здесь сохраняется 1,5–2,5 месяца. Вследствие большой солености воды лед в Сиваше имеет губчатое строение и очень непрочен.

Колебания уровня моря и действие ветра способны вызывать разрушение ледяного покрова в зимний период. Под воздействием сгонно-нагонных колебаний уровня неподвижный лед у побережья за зиму неоднократно взламывается, подвергается сжатиям и торошению, затем вновь смерзается, а в весеннее время после окончательного взлома переходит в дрейфующий лед. При толщине припайного льда 50 см возможен его взлом при изменении уровня на 15–20 см, а ветер скоростью 10–15 м/с способствует разлому больших ледяных полей и выносу обломков в открытую часть моря. В умеренные и суровые зимы в открытой части Азовского моря лед подвержен сильным сжатиям и торошениям, которые тесным образом связаны со скоростью и направлением ветра.

5.3. Типизация зим по степени суровости в Азовском море

Для Азовского моря по 100-летнему периоду наблюдений в XX веке в Ростове-на-Дону (с ледового сезона 1900/1901 гг. по сезон 1999/2000 гг.) рассчитаны интервалы критериев суровости зим по суммам градусодней мороза (в °С):

– мягкая зима <215;
– умеренная зима 215–585;
– суровая зима >585.

Средняя за весь период наблюдений сумма градусодней мороза (СГДМ) составила 409 °С (средняя за 100-летний период наблюдений в XX веке – 400 °С), максимальная – 1277 °С (1953/1954 гг.), минимальная – 0 °С (1965/1966 гг.). Следует отметить, что СГДМ в данном пособии рассчитывались по среднемесячным значениям температуры воздуха. Нулевая СГДМ в зимний сезон 1965/1966 гг. означает, что ни в один их месяцев зимнего сезона не была получена отрицательная среднемесячная температура. При этом внутри декабря, января и февраля наблюдались периоды с понижением температуры воздуха до отрицательных значений и лед в виде начальных видов в этот зимний сезон у северного побережья моря (не более 10 % площади) все-таки наблюдался.

За 131-летний период наблюдений за СГДМ (с зимнего сезона 1881/1882 гг. по сезон 2011/2012 гг.) были выявлены 28 мягких и 30 суровых зим (21 и 23 % соответственно). За 100-летний период наблюдений за температурой воздуха на Азовском море (в XX веке) были выявлены 22 мягких и 22 суровых зимы (22 и 22 % соответственно). За 30-летний период (с зимнего сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг.) наблюдалось 10 мягких зим и 2 суровые зимы (33 и 7 % соответственно), за 12 лет XXI века – 5 мягких зим и ни одной суровой зимы (42 и 0 % соответственно).

В табл. 5.1 представлены результаты типизации зим по суровости в Ростове-на-Дону за 131-летний период. По данным ГМС Ростов-на-Дону, для мягкой зимы в большой степени соответствующим типовым характеристикам оказался ледовый сезон 1999/2000 гг., для умеренной зимы – 1987/1988 гг., для суровой зимы – 1968/1969 годов. Самым холодным являлся зимний сезон 1953/1954 годов.

Таблица 5.1

Типизация зим в Ростове-на-Дону
(М – мягкая зима, У – умеренная зима, С – суровая зима)

Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы
1881/82	У	1914/15	У	1947/48	М	1980/81	М
1882/83	С	1915/16	У	1948/49	С	1981/82	У
1883/84	У	1916/17	У	1949/50	С	1982/83	М
1884/85	У	1917/18	У	1950/51	У	1983/84	М
1885/86	У	1918/19	У	1951/52	У	1984/85	С
1886/87	У	1919/20	У	1952/53	У	1985/86	У
1887/88	У	1920/21	С	1953/54	С	1986/87	С
1888/89	С	1921/22	У	1954/55	М	1987/88	У
1889/90	С	1922/23	У	1955/56	С	1988/89	М
1890/91	С	1923/24	У	1956/57	У	1989/90	М
1891/92	У	1924/25	У	1957/58	М	1990/91	У
1892/93	С	1925/26	У	1958/59	М	1991/92	У
1893/94	С	1926/27	У	1959/60	У	1992/93	У
1894/95	У	1927/28	С	1960/61	М	1993/94	У
1895/96	С	1928/29	С	1961/62	М	1994/95	У
1896/97	У	1929/30	У	1962/63	У	1995/96	У
1897/98	С	1930/31	С	1963/64	С	1996/97	У
1898/99	М	1931/32	С	1964/65	У	1997/98	У
1899/00	С	1932/33	С	1965/66	М	1998/99	М
1900/01	У	1933/34	С	1966/67	У	1999/00	М
1901/02	М	1934/35	У	1967/68	У	2000/01	М
1902/03	У	1935/36	У	1968/69	С	2001/02	У
1903/04	У	1936/37	У	1969/70	М	2002/03	У
1904/05	У	1937/38	М	1970/71	У	2003/04	М
1905/06	У	1938/39	У	1971/72	С	2004/05	М
1906/07	У	1939/40	У	1972/73	М	2005/06	У
1907/08	С	1940/41	У	1973/74	У	2006/07	М
1908/09	С	1941/42	С	1974/75	М	2007/08	У
1909/10	М	1942/43	У	1975/76	У	2008/09	М
1910/11	С	1943/44	М	1976/77	У	2009/10	У
1911/12	У	1944/45	У	1977/78	У	2010/11	У
1912/13	У	1945/46	У	1978/79	У	2011/12	У
1913/14	М	1946/47	С	1979/80	С		

На рис. 5.3–5.6 представлена ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине декабря 1999, 1987, 1968 и 1953 гг. в Азовском море. На рис. 5.7–5.18 – ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине января–марта 2000, 1988, 1969 и

1954 годов. В табл. 5.2–5.4 – информация о преобладающих характеристиках ледовой обстановки на трассе Таганрог – Керченский пролив в те же месяцы.

Раскраска на рис. 5.3–5.18 – по зимней шкале – по преобладающей возрастной характеристике льда [76].

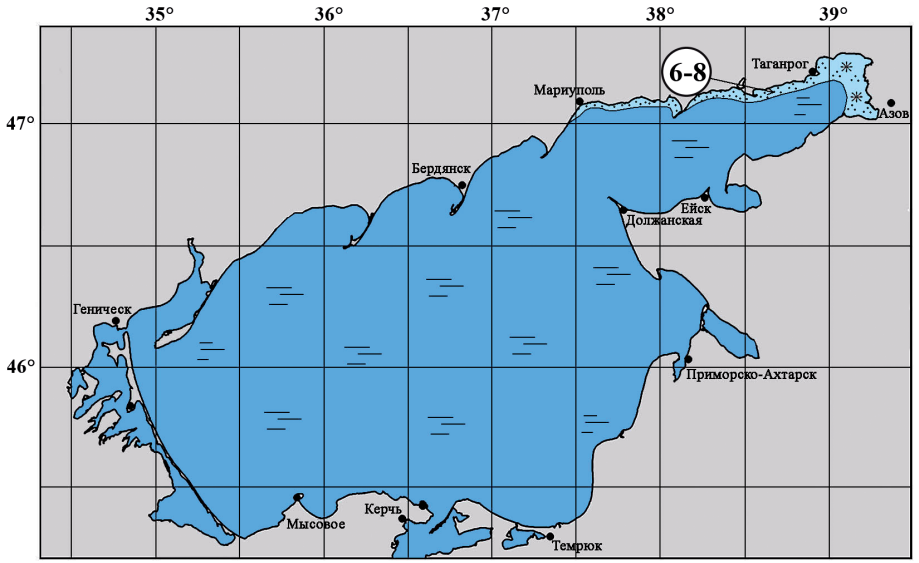


Рис. 5.3. Ледовая обстановка в Азовском море в декабре 1999 года. Мягкая зима.

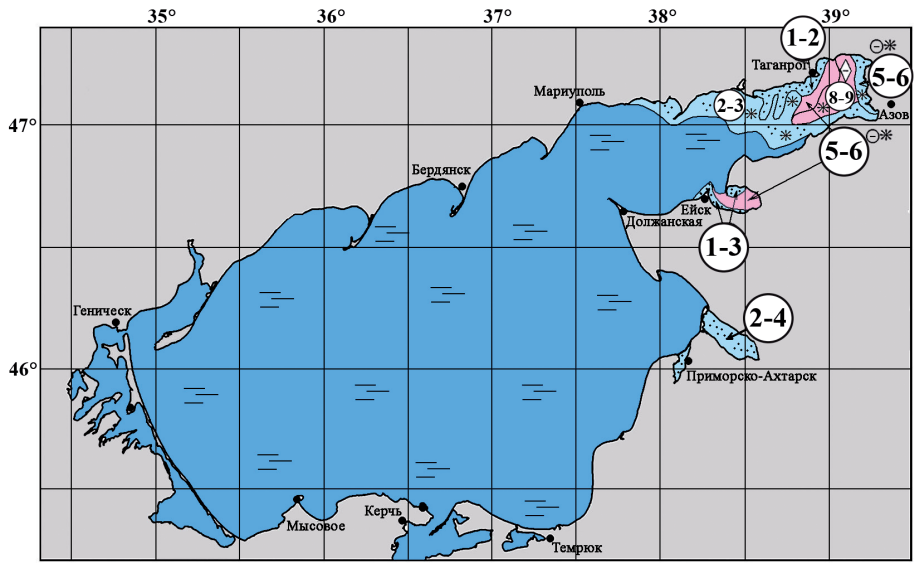


Рис. 5.4. Ледовая обстановка в Азовском море в декабре 1987 года. Умеренная зима.

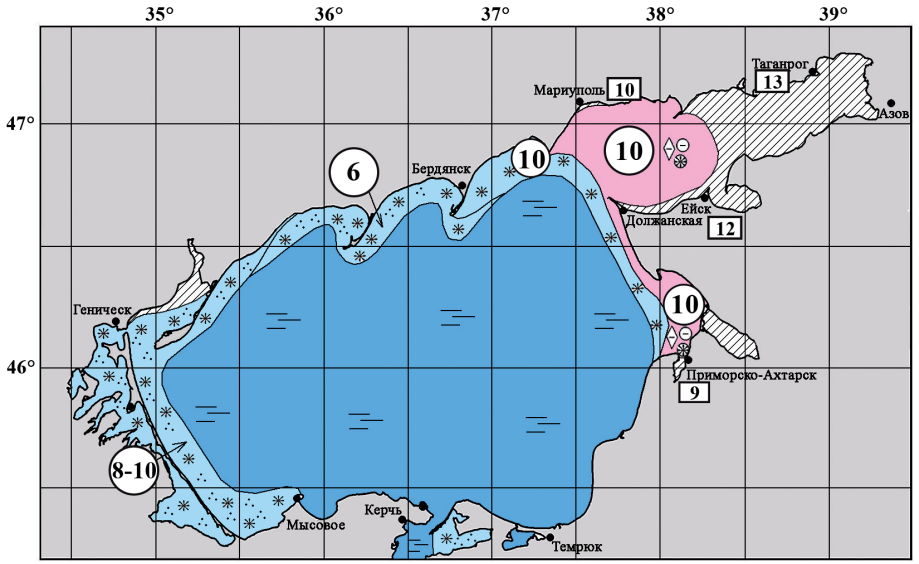


Рис. 5.5. Ледовая обстановка в Азовском море в декабре 1968 года. Суровая зима.

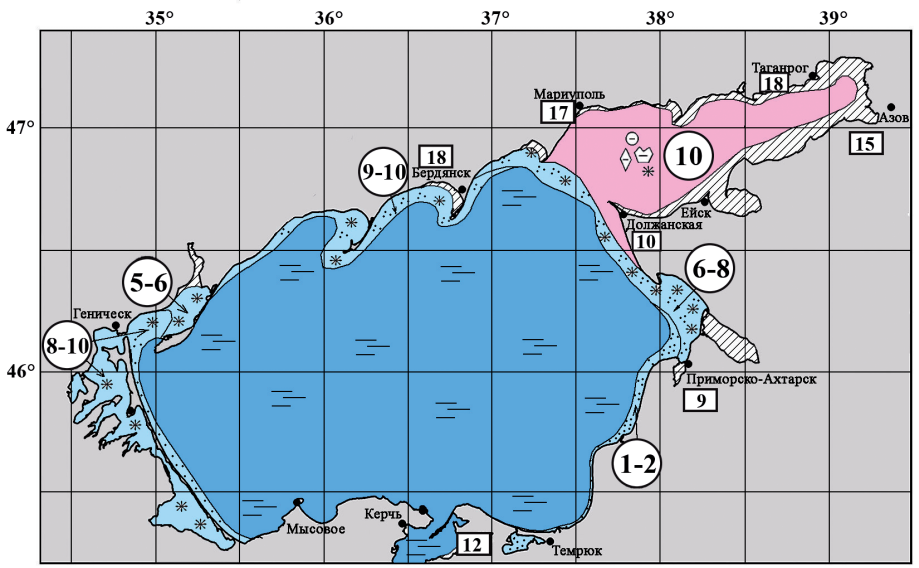


Рис. 5.6. Ледовая обстановка в Азовском море в декабре 1953 года. Самая суровая зима.

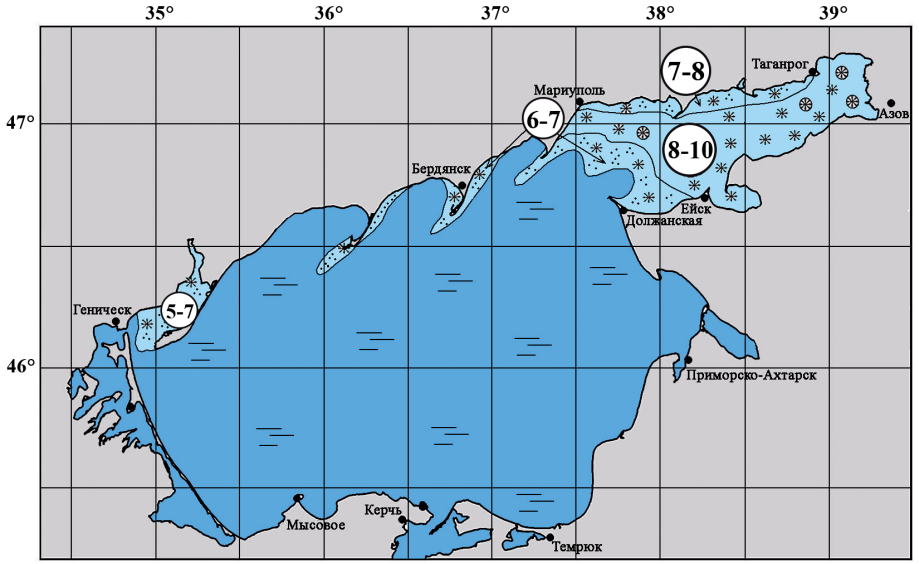


Рис. 5.7. Ледовая обстановка в Азовском море в январе 2000 года. Мягкая зима.

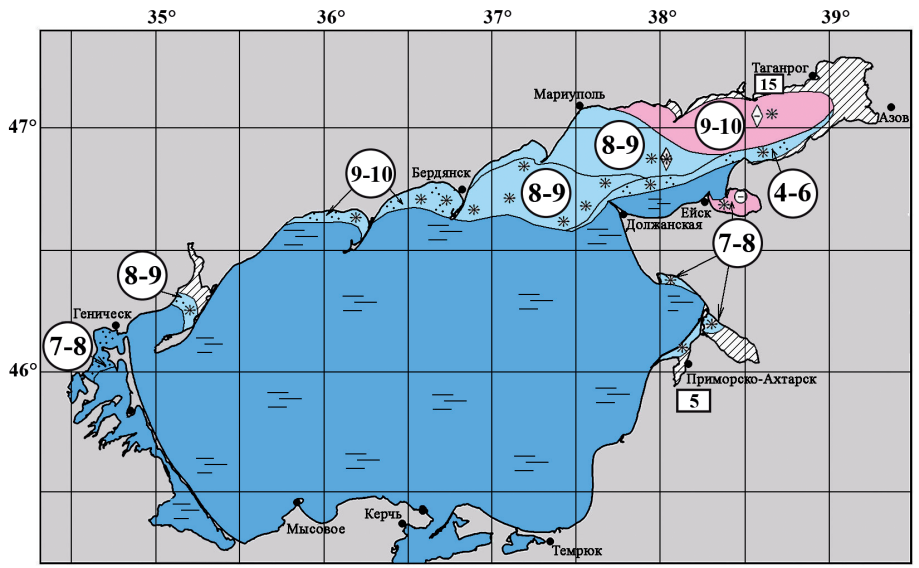


Рис. 5.8. Ледовая обстановка в Азовском море в январе 1988 года. Умеренная зима.

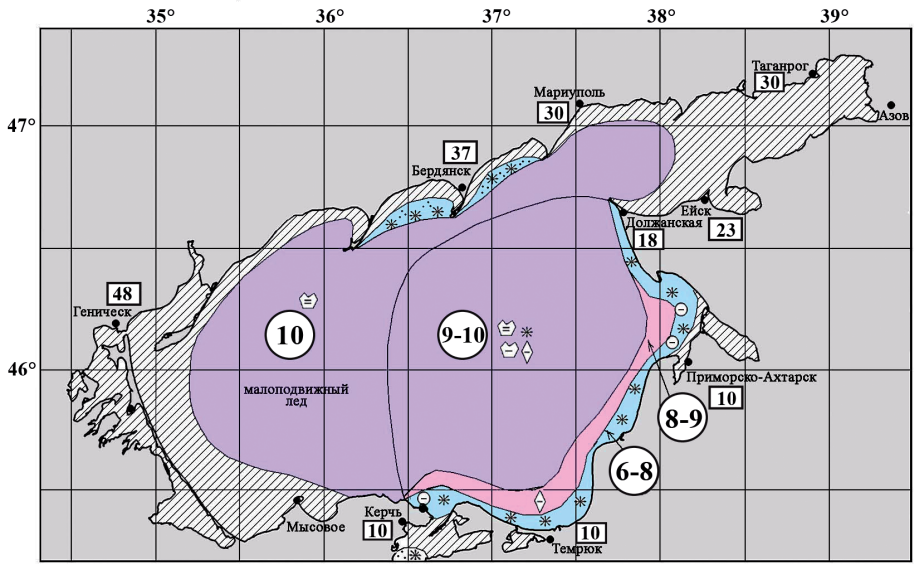


Рис. 5.9. Ледовая обстановка в Азовском море в январе 1969 года. Суровая зима.

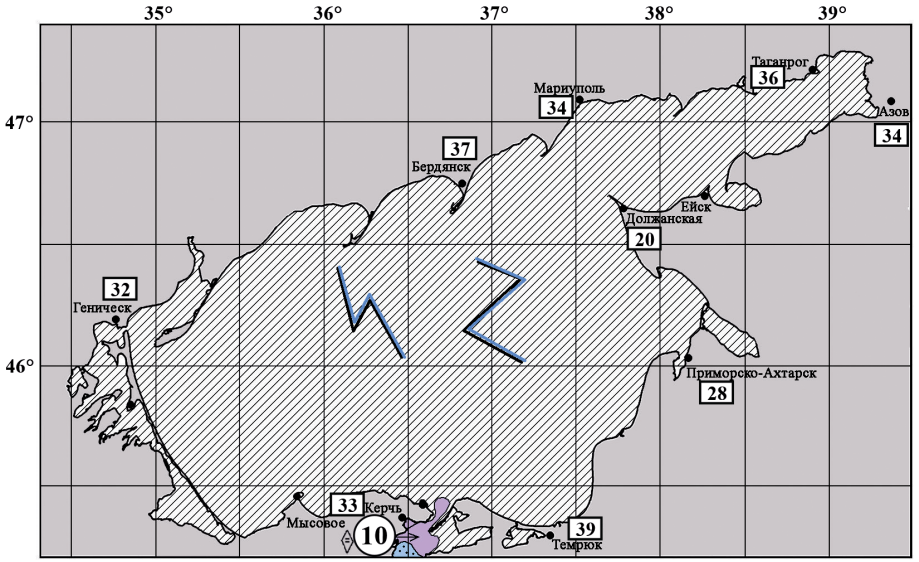


Рис. 5.10. Ледовая обстановка в Азовском море в январе 1954 года. Самая суровая зима.

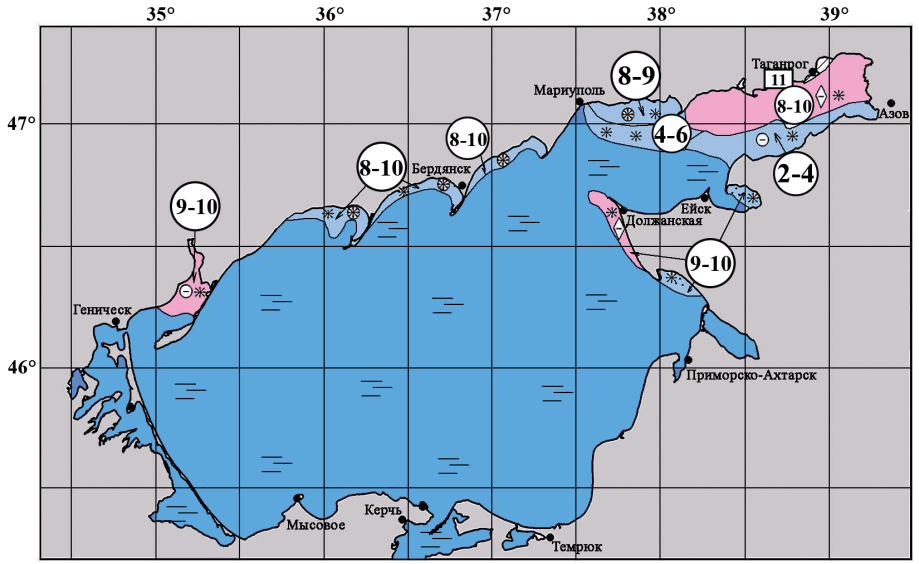


Рис. 5.11. Ледовая обстановка в Азовском море в феврале 2000 года. Мягкая зима.

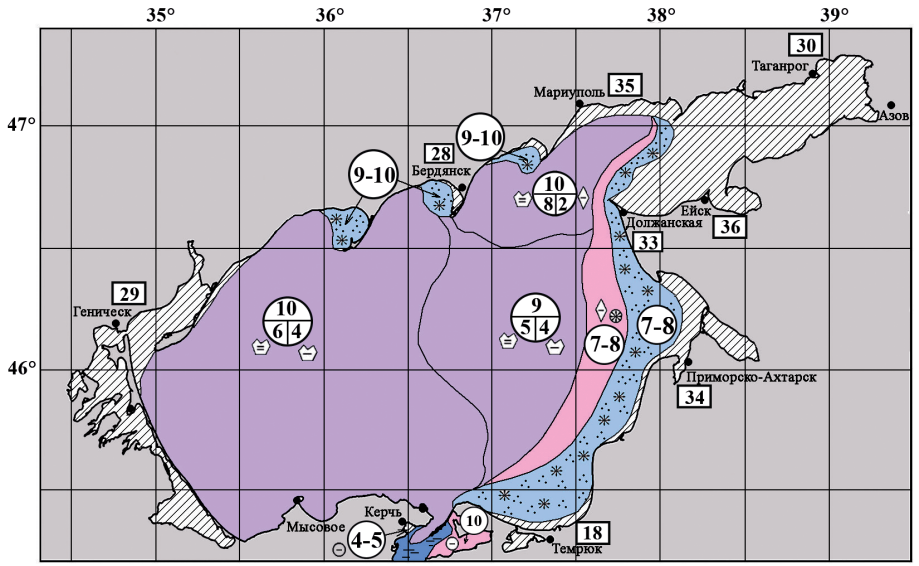


Рис. 5.12. Ледовая обстановка в Азовском море в феврале 1988 года. Умеренная зима.

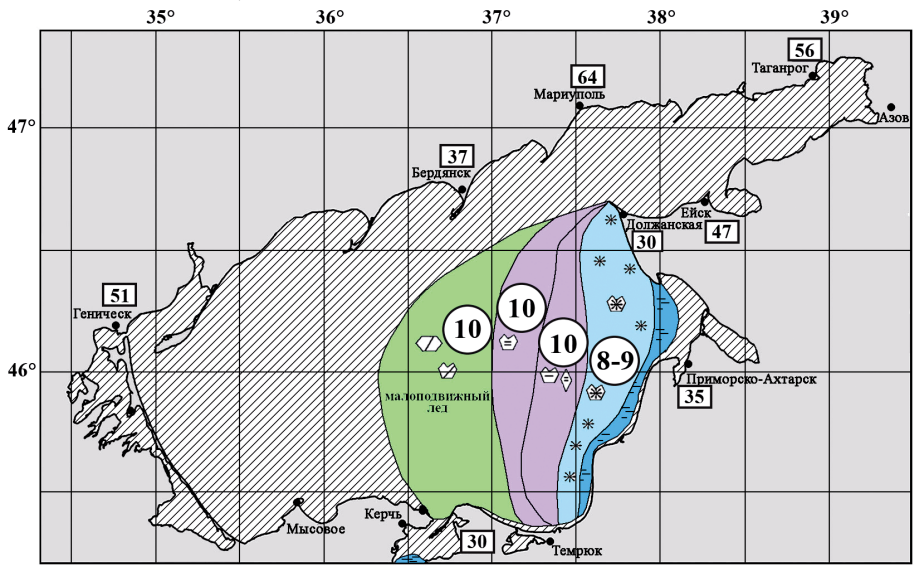


Рис. 5.13. Ледовая обстановка в Азовском море в феврале 1969 года. Суровая зима.

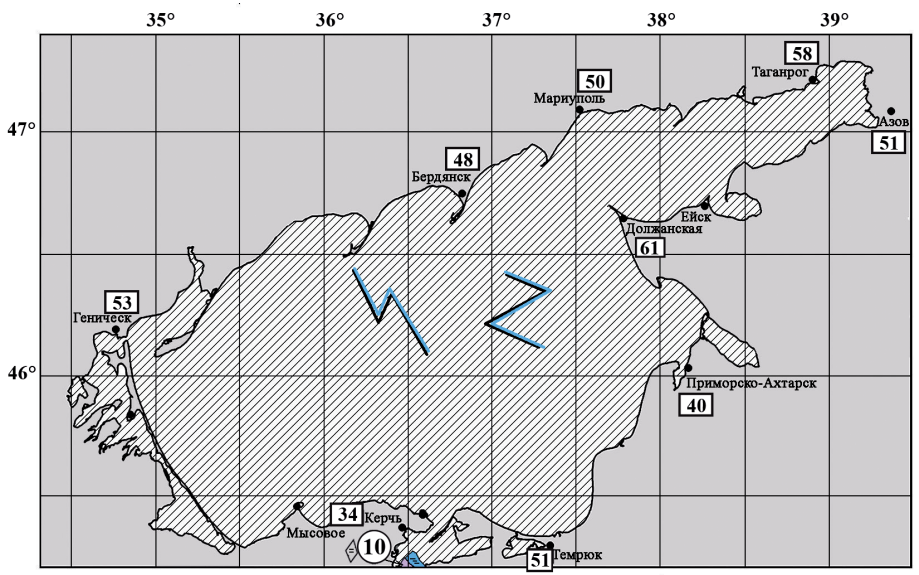


Рис. 5.14. Ледовая обстановка в Азовском море в феврале 1954 года. Самая суровая зима.

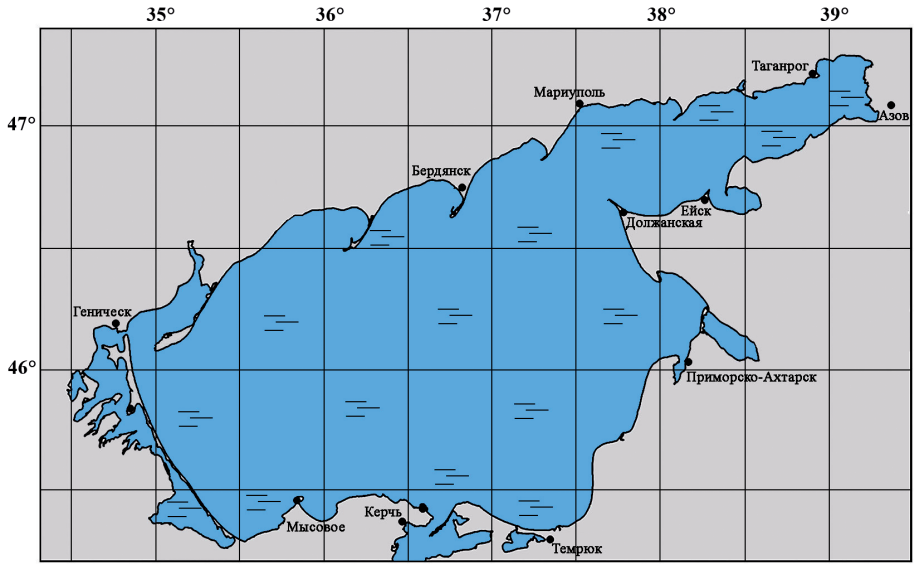


Рис. 5.15. Ледовая обстановка в Азовском море в марте 2000 года. После мягкой зимы.

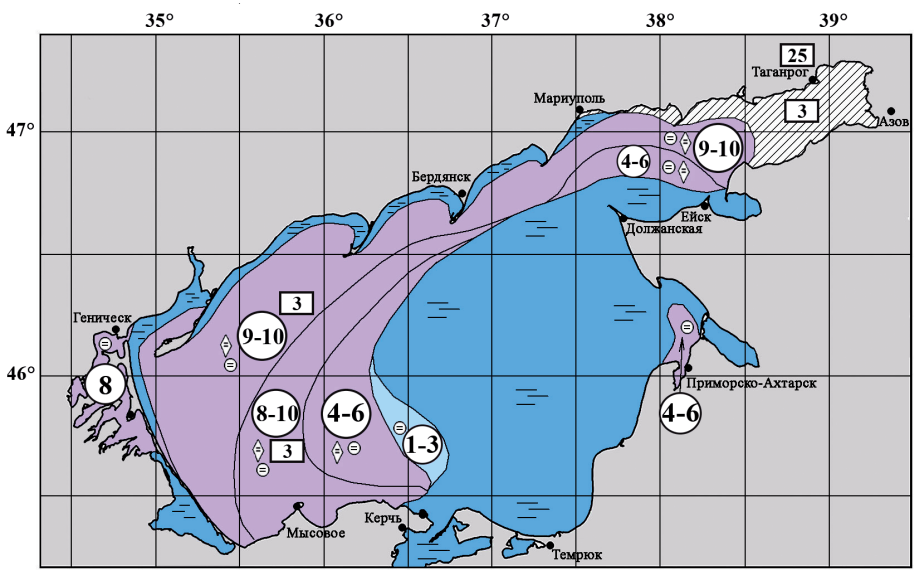


Рис. 5.16. Ледовая обстановка в Азовском море в марте 1988 года. После умеренной зимы.

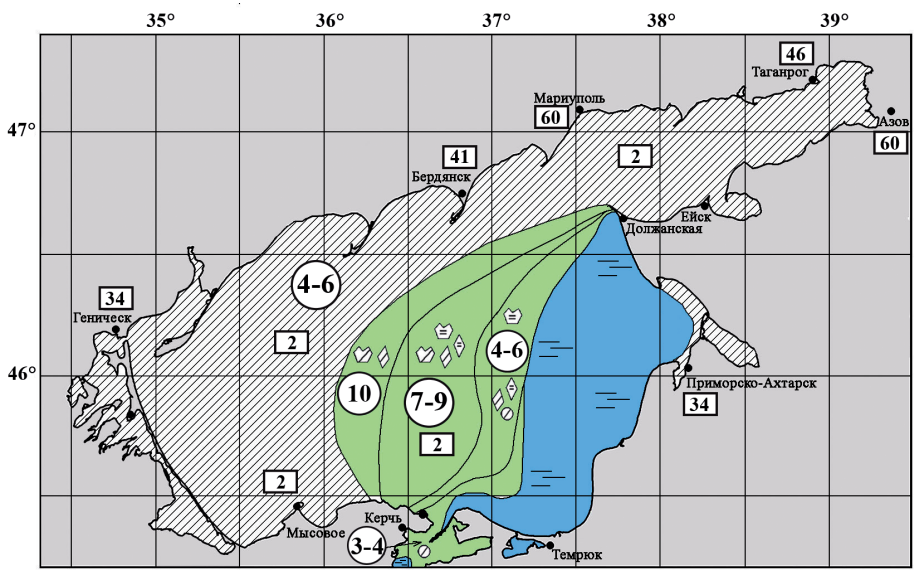


Рис. 5.17. Ледовая обстановка в Азовском море в марте 1969 года. После суровой зимы.

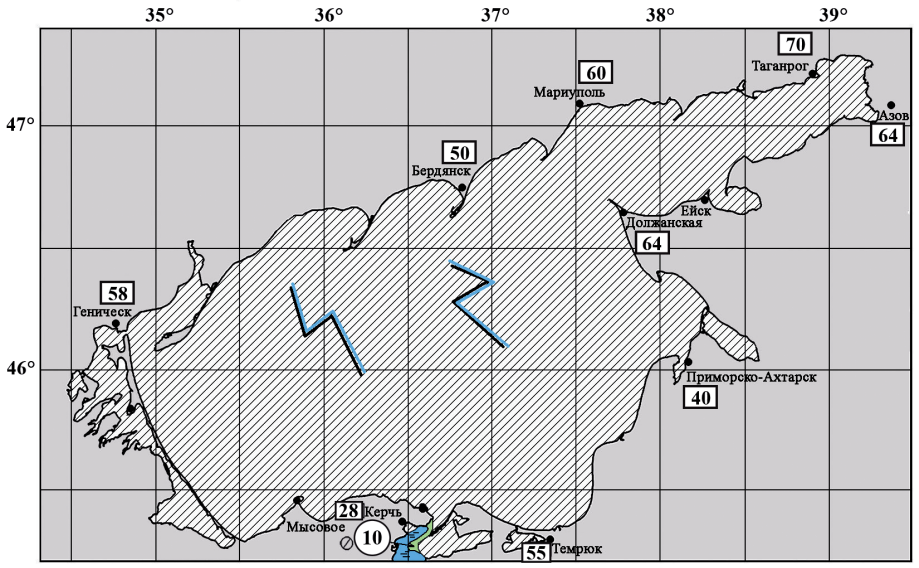


Рис. 5.18. Ледовая обстановка в Азовском море в марте 1954 года. После самой суровой зимы.

Таблица 5.2

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Таганрог – Керченский пролив в середине января

Участок трассы	Таганрогский залив	Район севернее 46°с.ш.	Район южнее 46°с.ш.	Керченский пролив
Мягкая зима				
Толщина припая, см	5–10 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	8–10	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	нилас	чисто	чисто	чисто
Умеренная зима				
Толщина припая, см	15–25 (восточная часть)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	8–10	7–10	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый	нилас	чисто	чисто
Суровая зима				
Толщина припая, см	30–35 (3/4 залива)	–	–	8–10
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	9–10	9–10	9–10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый	серо-белый, серый	серо-белый, серый	серый, нилас
Самая суровая зима				
Толщина припая, см	35–40 (весь участок трассы)	25–35 (весь участок трассы)	25–35 (весь участок трассы)	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	–	–	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	–	–	серо-белый

Таблица 5.3

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Таганрог – Керченский пролив в середине февраля

Участок трассы	Таганрогский залив	Район севернее 46°с.ш.	Район южнее 46°с.ш.	Керченский пролив
Мягкая зима				
Толщина припая, см	10–12 (в вершине)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	8–10	8–10	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый, нилас	нилас, начальные виды,	чисто	чисто
Умеренная зима				
Толщина припая, см	30–40 (3/4 залива)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	9–10	8–10	5–10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый	серо-белый, серый	серо-белый, серый	серый, нилас
Суровая зима				
Толщина припая, см	50–60 (весь залив)	30–45	–	20–30
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	9–10	9–10	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	тонкий однолетний до 40 см, серо-белый	тонкий однолетний до 40 см, серо-белый	серо-белый
Самая суровая зима				
Толщина припая, см	50–65 (весь залив)	45–55 (весь участок трассы)	40–50 (весь участок трассы)	30–40
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	–	–	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	–	–	серо-белый

Таблица 5.4

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Таганрог – Керченский пролив в середине марта

Участок трассы	Таганрогский залив	Район севернее 46°с.ш.	Район южнее 46°с.ш.	Керченский пролив
Мягкая зима				
Толщина припая, см	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	2–5 (в вершине)	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый	чисто	чисто	чисто
Умеренная зима				
Толщина припая, см	25–35 (восточная часть)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	8–10	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый	чисто	чисто	чисто
Суровая зима				
Толщина припая, см	45–50 (весь залив)	30–40	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	4–8	4–10	3–5
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	тонкий однолетний до 45 см	тонкий однолетний до 40 см	тонкий однолетний до 40 см
Самая суровая зима				
Толщина припая, см	65–70 (весь участок трассы)	45–55 (весь участок трассы)	40–55 (весь участок трассы)	40–50 (северная часть)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	–	–	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	–	–	тонкий однолетний до 45 см

На рис. 5.19 и 5.20 представлена ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине апреля 1969 и 1954 гг. (после суровых зим) в Азовском море. Раскраска на рис. 5.19 и 5.20 – по летней шкале – по преобладающей сплоченности дрейфующего льда [76].

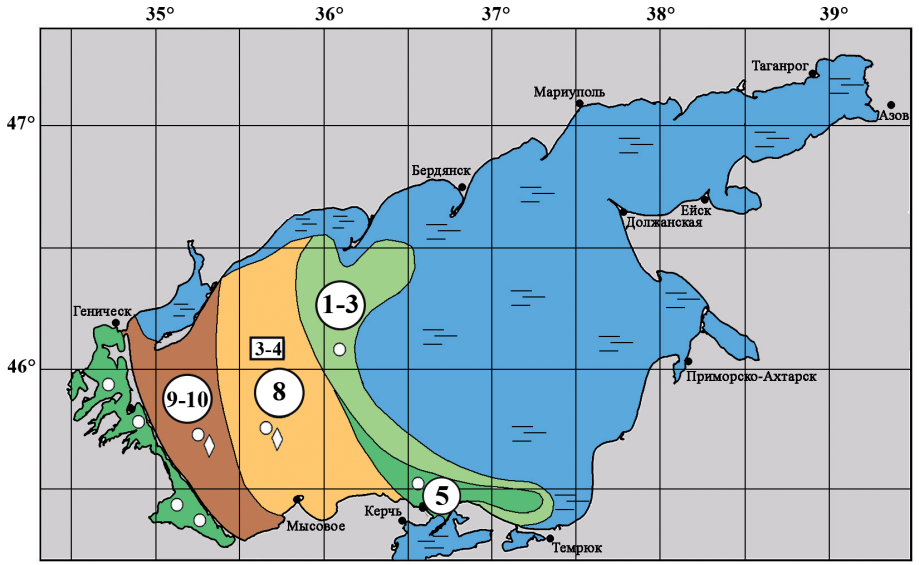


Рис. 5.19. Ледовая обстановка в Азовском море в апреле 1969 года. После суровой зимы.

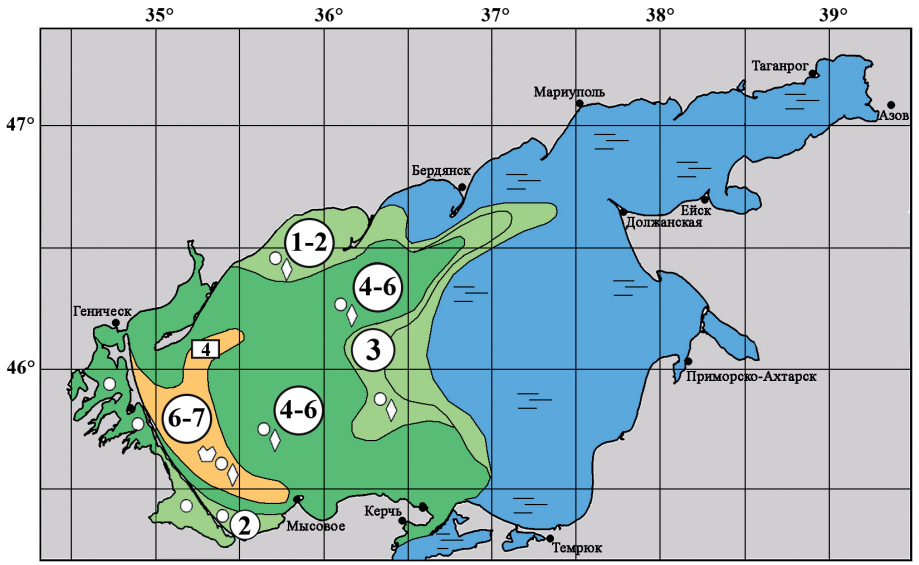


Рис. 5.20. Ледовая обстановка в Азовском море в апреле 1954 года. После самой суровой зимы.

В мягкие и умеренные зимы в середине апреля Азовское море свободно ото льда.

После суровых зим лед в середине апреля может сохраняться в западной части моря. На трассе Таганрог – Керченский пролив наблюдается чистая вода на всем протяжении, кроме подходов к Керченскому проливу, где возможна встреча со льдом сплоченностью 4–6 баллов.

5.4. Ледообразование в Азовском море

В табл. 5.5 приведены даты наступления ледовых фаз по данным ГМС Азовского моря. Анализ осуществлен за полные ряды наблюдений по станциям (77–90 лет) и за последние 30 лет.

Таблица 5.5

Даты наступления основных ледовых фаз в Азовском море

Характерные даты	Первое появление льда	Появление припая	Первый взлом припая	Исчезновение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
ТАГАНРОГ (с сезона 1922/1923 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 90 лет). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая или заберега – 0 %.						
Средняя	4.12	18.12	11.03	15.03	25.03	111
Ранняя	31.10 (1946)	7.11 (1953)	8.01 (1999)	8.01 (1999)	25.02 (1999)	50 (1960/61)
Поздняя	19.01 (1961)	26.02 (2007)	15.04 (1929)	20.04 (1929)	27.04 (1929)	163 (1955/56)
СКО	18	21	19	19	13	24
ТАГАНРОГ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая или заберега – 0 %.						
Средняя	10.12	27.12	23.02	28.02	19.03	99
Ранняя	6.11 (1975, 1993)	13.11 (1993)	8.01 (1999)	8.01 (1999)	25.02 (1999)	58 (1989/90)
Поздняя	8.01 (2011)	26.02 (2007)	28.03 (1996)	3.04 (2012)	21.04 (1987)	138 (1993/94)
СКО	16	25	18	19	13	21

Продолжение табл. 5.5

Характерные даты	Первое появление льда	Появление припая	Первый взлом припая	Исчезновение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
МАРИУПОЛЬ (Украина) (с сезона 1924/1925 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 88 лет). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – 9 %.						
Средняя	16.12	21.12	4.03	9.03	19.03	93
Ранняя	8.11 (1953)	8.11 (1953)	12.01 (2009)	12.01 (2009)	2.02 (1981)	6 (1980/81)
Поздняя	5.02 (1966)	24.02 (1948)	18.04 (1929)	18.04 (1929)	24.04 (1929)	157 (1953/54)
СКО	18	22	21	21	15	27
МАРИУПОЛЬ (Украина) (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – 13 %.						
Средняя	17.12	3.01	21.02	27.02	14.03	87
Ранняя	13.11 (1993)	27.11 (2000)	12.01 (2009)	12.01 (2009)	15.02 (1999)	59 (2008/09)
Поздняя	22.01 (2012)	7.02 (2005)	25.03 (1996)	25.03 (1996)	19.04 (2012)	127 (1993/94)
СКО	15	18	19	20	13	18
ЕЙСК (с сезона 1923/1924 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 89 лет). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – 4 %.						
Средняя	14.12	21.12	5.03	10.03	17.03	94
Ранняя	4.11 (1953)	16.11 (1941)	6.01 (1939)	25.01 (1939)	5.02 (2009)	4 (1965/66)
Поздняя	6.02 (2007)	24.02 (2007)	17.04 (1929)	17.04 (1929)	24.04 (1929)	164 (1953/54)
СКО	18	23	21	20	17	28
ЕЙСК (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – 7 %.						
Средняя	20.12	9.01	19.02	22.02	8.03	79
Ранняя	11.11 (1993)	15.11 (1994)	24.01 (2008)	25.01 (2009)	5.02 (2009)	23 (2006/07)
Поздняя	6.02 (2007)	24.02 (2007)	20.03 (2012)	20.03 (2012)	4.04 (1997)	130 (1985/86)
СКО	21	28	19	17	15	25

Продолжение табл. 5.5

Характерные даты	Первое появление льда	Появление припая	Первый взлом припая	Исчезновение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
ПРИМОРСКО-АХТАРСК – лиман (с сезона 1923/1924 гг. по сезон 2011/2012 – 89 лет). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – 2%.						
Средняя	8.12	21.12	20.02	24.02	10.03	93
Ранняя	1.11 (1953)	15.11 (1941)	4.01 (1998)	9.01 (1999)	13.01 (1999)	19 (1989/90)
Поздняя	28.01 (1948)	26.02 (2007)	4.04 (1954)	4.04 (1954)	18.04 (1929)	156 (1953/54)
СКО	19	24	22	17	18	28
ПРИМОРСКО-АХТАРСК – лиман (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – 3 %.						
Средняя	9.12	22.12	16.02	21.02	1.03	83
Ранняя	10.11 (1986)	23.11 (1993)	4.01 (1998)	9.01 (1999)	13.01 (1999)	19 (1989/90)
Поздняя	14.01 (2011)	26.02 (2007)	20.03 (2012)	21.03 (2012)	1.04 (1987)	142 (1986/87)
СКО	18	26	21	18	20	30
БЕРДЯНСК (Украина) (с сезона 1923/1924 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 89 лет). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – 8 %.						
Средняя	22.12	2.01	1.03	7.03	13.03	81
Ранняя	13.11 (1993)	25.11 (1953)	9.01 (1955)	9.01 (1955)	27.01 (1990)	2 (2000/01)
Поздняя	25.02 (2007)	20.02 (1948)	11.04 (1929)	16.04 (1929)	24.04 (1954)	152 (1953/54)
СКО	22	21	21	21	18	31
БЕРДЯНСК (Украина) (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – 20 %.						
Средняя	29.12	14.01	14.02	22.02	3.03	65
Ранняя	13.11 (1993)	3.12 (1993)	13.01 (1993)	29.01 (2009)	27.01 (1990)	2 (2000/01)
Поздняя	25.02 (2007)	9.02 (2005)	10.03 (2003)	20.03 (2012)	1.04 (1987)	112 (1993/94)
СКО	23	19	18	16	18	29

Продолжение табл. 5.5

Характерные даты	Первое появление льда	Появление припая	Первый взлом припая	Исчезновение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
ГЕНИЧЕСК (Украина) (с сезона 1924/1925 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 88 лет). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – 4 %.						
Средняя	16.12	31.12	19.02	7.03	22.03	96
Ранняя	2.11 (1953)	16.11 (1993)	2.01 (1998)	11.01 (1999)	21.01 (1990)	5 (1980/81)
Поздняя	8.02 (1975)	25.02 (2008)	6.04 (1969)	17.04 (1969)	7.05 (1929, 1956)	175 (1953/54)
СКО	20	28	24	22	23	35
ГЕНИЧЕСК (Украина) (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – 6 %.						
Средняя	22.12	31.12	15.02	1.03	12.03	81
Ранняя	12.11 (1993)	16.11 (1993)	2.01 (1998)	11.01 (1999)	21.01 (1990)	17 (1989/90)
Поздняя	31.01 (2005)	25.02 (2007)	27.03 (1996)	4.04 (1996)	19.04 (1987)	154 (1983/84)
СКО	20	28	23	21	27	34
ТАМАНЬ (с сезона 1935/1936 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 77 лет). Повторяемость отсутствия льда – 10%. Повторяемость отсутствия припая – н.с.						
Средняя	28.12	1.01	15.02	18.02	27.02	61
Ранняя	13.11 (1993)	20.11 (1945)	14.01 (1937)	14.01 (1937)	5.01 (2004)	3 (2003/04)
Поздняя	26.02 (1938)	6.03 (1955)	30.03 (1954)	3.04 (1985)	7.04 (1954)	132 (1953/54)
СКО	23	26	23	19	18	30
ТАМАНЬ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия льда – 17 %. Повторяемость отсутствия припая – 33 %.						
Средняя	29.12	6.01	15.02	18.02	18.02	50
Ранняя	13.11 (1993)	30.11 (1993)	24.01 (2001, 2002, 2009)	24.01 (2009)	5.01 (2004)	3 (2003/04)
Поздняя	25.02 (2007)	26.02 (2007)	26.03 (1987)	3.04 (1985)	3.04 (1985)	103 (1993/94)
СКО	22	23	20	20	20	29

Окончание табл. 5.5

Характерные даты	Первое появление льда	Появление припая	Первый взлом припая	Исчезновение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
КЕРЧЬ (с сезона 1924/1925 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 88 лет). Повторяемость отсутствия льда – 15 %. Повторяемость отсутствия припая – 42 %.						
Средняя	12.01	12.01	20.02	24.02	2.03	51
Ранняя	26.11 (1953)	2.12 (1931)	5.01 (1925)	22.01 (2008)	5.01 (2004)	1 (1947/48, 1988/89, 1989/90)
Поздняя	6.03 (1983)	17.02 (2003)	23.03 (1956)	31.03 (1956)	25.04 (1954)	150 (1953/54)
СКО	22	19	16	17	25	34
КЕРЧЬ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия льда – 17 %. Повторяемость отсутствия припая – 52 %.						
Средняя	20.01	24.01	11.02	15.02	21.02	33
Ранняя	27.11 (1993)	4.01 (2008)	22.01 (2008)	22.01 (2008)	5.01 (2004)	1 (1988/89, 1989/90)
Поздняя	6.03 (1983)	17.02 (2003)	26.02 (1994)	10.03 (2003)	31.03 (1987)	92 (2002/03)
СКО	24	17	13	16	27	31

Примечание. «Н.с.» – нет сведений, СКО – среднее квадратическое отклонение.

Согласно табл. 5.5, в ряде случаев на станциях Азовского моря ранние даты взлома припая зафиксированы позже, чем ранние даты очищения моря ото льда. Это связано с тем, что припай в мягкие зимы на отдельных станциях не образовывался, а очищение происходило в аномально ранние сроки именно в такие зимы.

Вследствие мелководности, температура воды Азовского моря быстро реагирует на изменение погодных условий. Севернее параллели 46° с.ш. в районах портов Таганрог, Азов, Ейск, Мариуполь, Бердянск, Геническ, Приморско-Ахтарск лед появляется ежегодно. Начальные виды льда образуются в среднем через 3–10 суток после устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С к отрицательным значениям. Этот период зависит от интенсивности похолодания и температуры воды на момент перехода воздуха через 0 °С. Так, при температуре воды у побережья 6 °С и средней суточной температуре воздуха –2 °С, процесс ледообразования с наибольшей вероятностью начнется через 8 суток. Если же температура

воды на момент перехода температуры воздуха через 0 °С составляла 2 °С, ледообразование следует ожидать (при той же температуре воздуха) уже через 3 дня [92].

В прибрежных районах Таганрогского и Ясенского заливов при раннем ледообразовании начальные виды льда могут появляться в начале ноября. В районе Бердянска раннее ледообразование возможно в середине ноября, в южных районах (Стрелковое, Мысовое, Керчь, Темрюк) – в третьей декаде ноября.

Наиболее вероятным временем первого появления льда в районе Таганрога и Приморско-Ахтарска является первая декада декабря; в районах Мариуполя, Ейска, Гениченска – вторая декада декабря, в Бердянске – третья декада декабря, в Керчи – начало второй декады января.

Раннее и позднее появление начальных видов льда не обязательно связано с суровой или мягкой зимой. Так, например, зимой 1971/1972 гг. наблюдались тяжелые ледовые условия, лед появился в Таганроге 16 декабря (на 12 дней позже нормы), а в Мариуполе и Бердянске – 5–7 января (на 15–20 дней позже нормы). Очень интересен с этой точки зрения недавний ледовый сезон 2011/2012 гг., оказавшийся сложным для судоходства. При этом ледообразование в Таганрогском заливе, по данным Мариуполя и Ейска, началось более чем на месяц позже нормы – 22–25 января.

В табл. 5.6 приведены средние даты первого появления льда, окончательного очищения моря ото льда и продолжительности ледового периода для первых 12 лет XXI века. За последнее 30-летие даты ледообразования сдвинулись в сторону более поздних сроков в среднем на 2–8 дней, а даты очищения моря ото льда – в сторону более ранних сроков на 6–10 дней. Продолжительность ледового периода сократилась в среднем на 1–2 недели. Для большинства станций уменьшилась повторяемость образования припая в среднем на 2–10 %.

Таблица 5.6

Средние даты наступления ледовых фаз в Азовском море по 12-летнему ряду наблюдений в XXI веке

ГМС	Первое появление льда	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
Таганрог	11.12	15.03	94
Мариуполь	22.12	13.03	81
Ейск	5.01	4.03	58
Приморско-Ахтарск	13.12	25.02	74
Бердянск	10.01	3.03	53
Геническ	1.01	11.03	69
Тамань	9.01	10.02	32
Керчь	20.01	16.02	27

Сравнение табл. 5.5 и 5.6 показывает, что в первые 12 лет XXI века даты ледообразования (по сравнению со средними многолетними значениями) сдвинулись в сторону более поздних сроков на 1–3 недели, а даты очищения моря ото льда – в сторону более ранних сроков на 1–2 недели. Продолжительность ледового периода сократилась в среднем на 2–4 недели.

На рис. 5.21–5.23 приведены карты изохрон ранних, средних и поздних сроков первого появления льда на Азовском море.

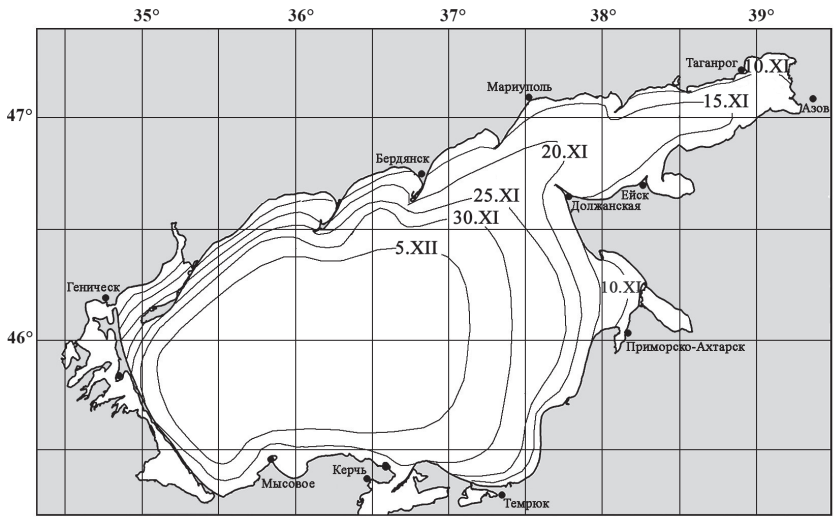


Рис. 5.21. Ранние сроки начала образования льда в Азовском море.

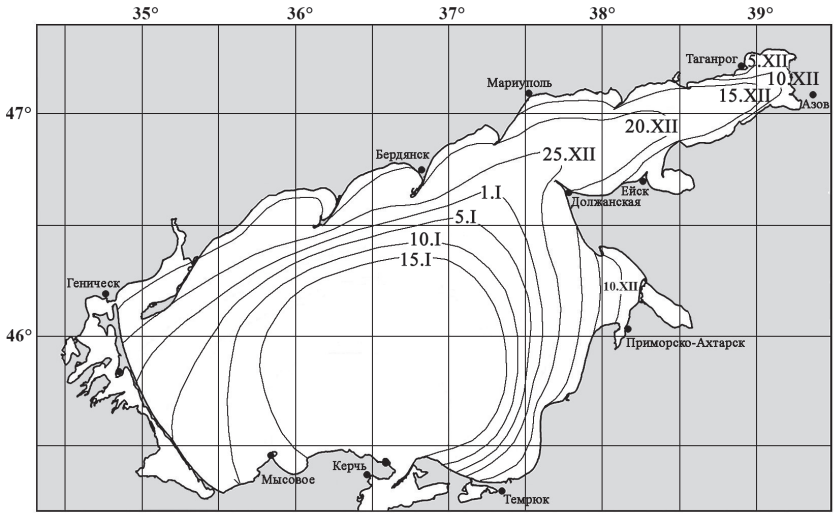


Рис. 5.22. Средние сроки начала образования льда в Азовском море.

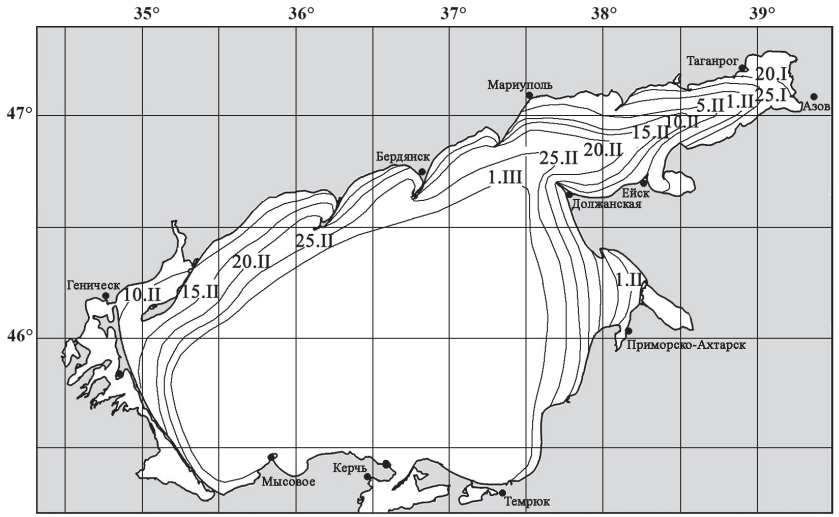


Рис. 5.23. Поздние сроки начала образования льда в Азовском море.

Наиболее вероятно появление льда на всей акватории моря во второй половине января. При ранних сроках ледообразования море может полностью покрыться льдом уже в первой – второй декадах декабря. Так было, например, в декабре 1959, 2001, 2002 годов. В дальнейшем ледовые условия в сезоны 1959/1960, 2001/2002, 2002/2003 гг. развивались по типу умеренных зим.

Часто первое ледообразование на Азовском море не является устойчивым и прерывается выносами тепла на акваторию моря. Средние даты первого появления льда и даты устойчивого ледообразования вдоль северного побережья Азовского моря отличаются между собой в среднем на 7–15 суток.

В течение ледового сезона, по данным различных ГМС России и Украины, отмечается в среднем 3–6 случаев очищения ото льда, а в некоторых пунктах (Должанская, Приморско-Ахтарск, Мариуполь, Керчь) в отдельные годы таких очищений может быть 10–12.

5.5. Нарастание и распространение льда в Азовском море

После устойчивого ледообразования в море и у берегов дальнейшее развитие ледовых процессов определяется условиями, которые складываются в результате взаимодействия атмосферы с подстилающей водной поверхностью. В закрытых бухтах, лиманах, в прибрежных районах и на судоходных каналах Азовского моря после устойчивого появления льда в случае дальнейшей потери тепла морем почти сразу происходит полное замерзание (устанавливается припай до горизонта). В отрытой части Азовского моря и в Керченском проливе полное замерзание наблюдается только в суровые и в самые суровые зимы. Полное замерзание всего моря за весь период наблюдений произошло

только один раз: в ледовый сезон 1953/1954 гг. (рис. 5.10, 5.14, 5.18). При этом следует отметить, что по данным ледовых разведок в течение всего периода полного замерзания моря (с января по март) сплошное покрытие повсеместно нарушалось трещинами и каналами, заполненными дрейфующим льдом. В каналах наблюдались процессы сжатия льда, а по всей площади ледяного покрытия шли процессы торошения. Особенно много торосов было зафиксировано в марте 1954 г. на подходах к Керченскому проливу с севера. Степень торосистости в этом районе составляла 4–5 баллов.

Припай вдоль побережья Азовского моря образуется в среднем во второй-третьей декадах декабря, на юге моря – в первой декаде января. В последние 30 лет образование припая на большинстве станций происходило позже средних многолетних сроков на 8–15 дней.

В табл. 5.7 приведены данные о среднемесячной (осредненной по трем декадам) ледовитости Азовского моря за весь период наблюдений (с сезона 1949/1950 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 63 года), за последние 30 лет и за первые 12 лет XXI века.

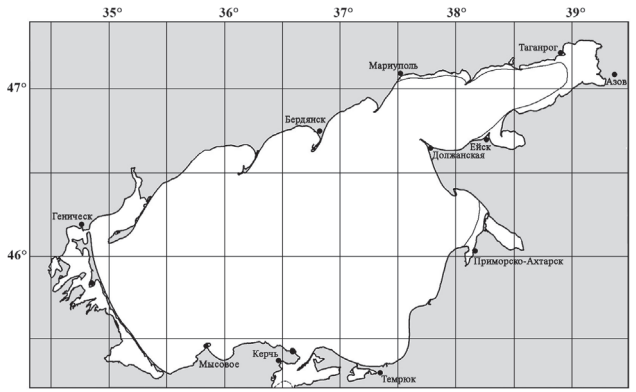
Таблица 5.7

Среднемесячная (осредненная по трем декадам) ледовитость Азовского моря за весь период наблюдений, за последние 30 лет и за первые 12 лет XXI века (%)

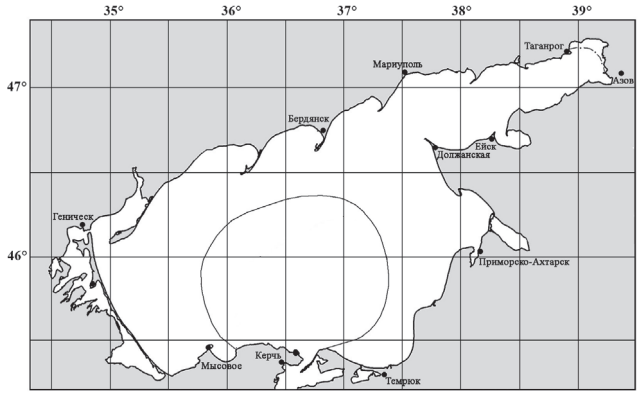
Месяц	XII	I	II	III	IV	V
(с сезона 1949/1950 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 63 года)						
Средняя	15	51	63	32	5	0
Макс.	100	100	100	100	71	2
Мин.	0	1	2	0	0	0
СКО	24	31	34	31	13	–
(с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет)						
Средняя	15	49	58	22	1	0
Макс.	99	96	99	95	15	0
Мин.	0	5	3	0	0	0
СКО	26	32	35	24	–	–
(с сезона 2000/2001 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 12 лет)						
Средняя	17	46	51	16	0	0
Макс.	99	96	99	78	3	0
Мин.	0	5	3	0	0	0
СКО	33	33	35	1	–	–

Анализ табл. 5.7 показывает, что в отдельные зимы ледовитость моря 90–100 % может наблюдаться в любой из месяцев с декабря по март. В среднем максимум ледовитости приходится на февраль. При этом средняя многолетняя ледовитость Азовского моря составляет 63 %. В мягкие зимы в любой период времени с декабря по апрель среднемесячная ледовитость моря может быть менее 5 %.

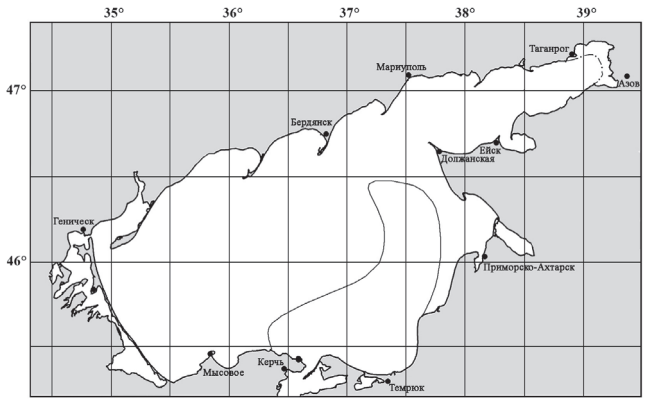
Положение границ распространения льда в море имеет большую межгодовую изменчивость. На рис. 5.24 представлены границы среднего многолетнего, максимального и минимального распространения льда в море на середину месяца для декабря–апреля



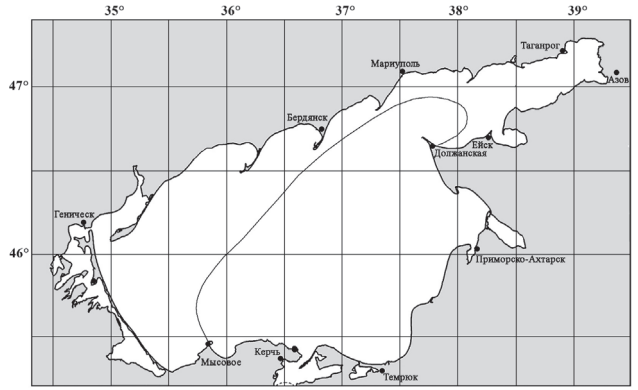
5.24а



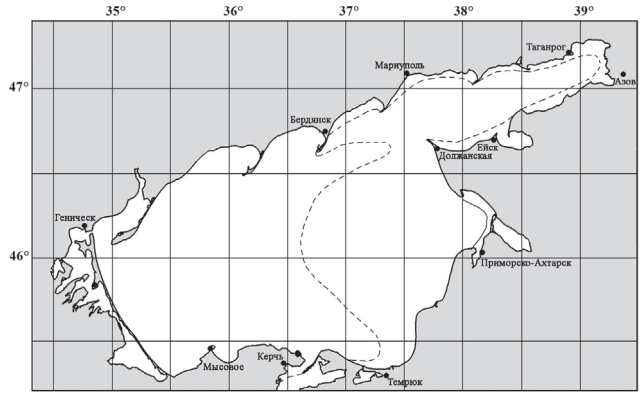
5.24б



5.24в



5.24г



5.24д

Рис. 5.24. Положение границ льда в Азовском море на середину месяца:
——— – среднее; – – – – – максимальное; – · – · – – минимальное;
декабрь (а); январь (б); февраль (в); март (г); апрель (д).

В середине декабря льда в Азовском море может еще не быть (повторяемость отсутствия льда в это время 30 %). В отдельные годы ледовитость моря в это время может достигать 100 % (повторяемость такого события 5 %). Среднее положение кромки на середину декабря соответствует присутствию льда только в вершине Таганрогского залива и в районе Приморско-Ахтарска (рис. 5.24а). Средняя ледовитость моря составляет 15 %.

В середине января ледовитость моря составляет в среднем 50–55 %. При наименьшем развитии ледяного покрова кромка располагается в вершине Таганрогского залива, при наибольшем развитии льда все море, включая Керченский пролив, покрыто льдом (рис. 5.24б).

В феврале ледяной покров получает свое наибольшее развитие. В это же время максимального распространения достигает припай. В середине февраля ледовитость моря составляет в среднем 60–65 %. При наименьшем развитии ледяного покрова кромка располагается в вершине Таганрогского залива,

при наибольшем – все море покрыто льдом, а кромка льда располагается в Черном море (рис. 5.24в).

В середине марта обычно активно идет процесс очищения моря ото льда. Среднемесячная ледовитость моря уменьшается до 30–35 % (рис. 5.24г). В 22 % случаев к середине марта Азовское море свободно ото льда. В 4 % случаев ледовитость моря в это время составляет 100 %. В середине апреля лед в Азовском море может наблюдаться лишь в 20 % случаев.

В табл. 5.8 приведены декадные (средние, максимальные и минимальные) значения толщины припайного льда в Азовском море за весь период наблюдений на морских ГМС (77–89 лет) и за последнее 30-летие. В табл. 5.9 приведены данные о толщине льда за первые 12 лет XXI века.

Таблица 5.8

Толщина припайного льда в Азовском море (см)

Месяц	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель		
Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
ТАГАНРОГ (с сезона 1923/1924 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 89 лет). Повторяемость отсутствия припая – 0 %.																		
Средняя	0	0	0	0	15	19	22	26	29	32	35	37	37	37	0	0	0	0
Макс.	11	16	31	40	40	40	47	51	51	58	70	78	76	70	69	64	36	0
Мин.	0	0	0	0	3	3	5	4	4	4	6	6	6	6	0	0	0	0
СКО	–	–	–	–	9	10	11	11	12	14	15	17	19	19	–	–	–	–
ТАГАНРОГ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия припая – 0 %.																		
Средняя	0	0	0	0	13	14	16	21	22	23	28	31	32	0	0	0	0	0
Макс.	0	15	31	31	31	33	33	35	45	53	44	47	50	46	30	0	0	0
Мин.	0	0	0	0	3	4	5	6	9	8	8	8	8	0	0	0	0	0
СКО	–	–	–	–	6	7	8	8	9	13	12	11	12	–	–	–	–	–
МАРИУПОЛЬ (Украина) (с сезона 1926/1927 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 86 лет). Повторяемость отсутствия припая – 9 %.																		
Средняя	0	0	0	0	14	16	19	24	29	32	33	34	37	0	0	0	0	0
Макс.	0	0	31	32	32	40	53	54	60	64	65	70	77	76	59	52	0	0
Мин.	0	0	0	0	3	3	3	3	3	6	6	6	4	0	0	0	0	0
СКО	–	–	–	–	8	10	11	13	13	14	17	18	19	–	–	–	–	–
МАРИУПОЛЬ (Украина) (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия припая – 13 %.																		
Средняя	0	0	0	0	0	22	26	26	29	33	32	32	0	0	0	0	0	0
Макс.	0	0	31	32	32	40	40	41	47	52	68	61	57	59	0	0	0	0
Мин.	0	0	0	0	0	9	17	7	10	15	10	20	–	0	0	0	0	0
СКО	–	–	–	–	–	9	6	11	11	11	15	15	–	–	–	–	–	–

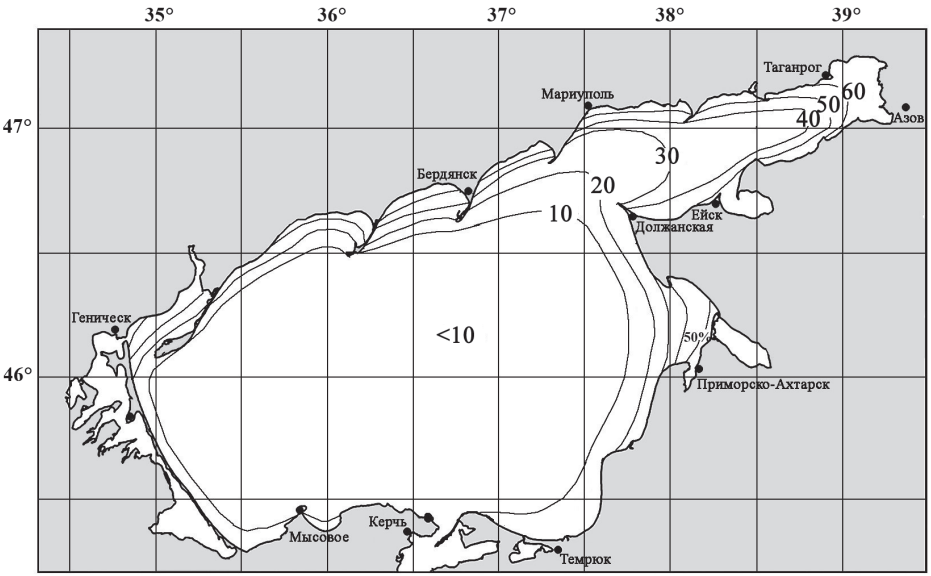
Месяц	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель		
Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
ПРИМОРСКО-АХТАРСК – лиман (с сезона 1923/1924 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 89 лет). Повторяемость отсутствия припая – 2 %.																		
Средняя	0	0	0	10	12	14	15	17	20	22	24	24	0	0	0	0	0	0
Макс.	0	18	25	30	35	35	35	35	43	50	50	50	50	55	55	42	31	0
Мин.	0	0	0	3	2	3	4	2	2	2	8	4	0	0	0	0	0	0
СКО	–	–	–	10	7	7	8	8	10	11	10	10	–	–	–	–	–	–
ПРИМОРСКО-АХТАРСК – лиман (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия припая – 3 %.																		
Средняя	0	0	0	0	9	10	12	14	15	18	20	22	0	0	0	0	0	0
Макс.	0	18	20	30	30	30	30	30	37	40	40	40	43	45	0	0	0	0
Мин.	0	0	0	0	2	3	4	2	2	2	10	4	0	0	0	0	0	0
СКО	–	–	–	–	6	6	6	7	9	10	8	9	–	–	–	–	–	–
ТАМАНЬ (с сезона 1935/1936 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 77 лет). Повторяемость отсутствия припая – 10 %.																		
Средняя	0	0	9	12	13	19	19	19	23	27	28	28	28	0	0	0	0	0
Макс.	0	2	13	14	22	35	41	42	45	53	60	64	60	58	51	36	0	0
Мин.	0	0	0	8	7	11	3	5	6	10	5	10	11	0	0	0	0	0
СКО	–	–	–	3	5	7	10	10	10	11	14	15	15	–	–	–	–	–
ТАМАНЬ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия припая – 33 %.																		
Средняя	0	0	0	0	0	0	13	16	23	22	21	0	0	0	0	0	0	0
Макс.	0	0	9	8	15	22	22	34	27	31	27	17	15	15	0	0	0	0
Мин.	0	0	0	0	0	4	4	8	21	10	5	0	0	0	0	0	0	0
СКО	–	–	–	–	–	–	5	9	4	6	6	–	–	–	–	–	–	–

Таблица 5.9

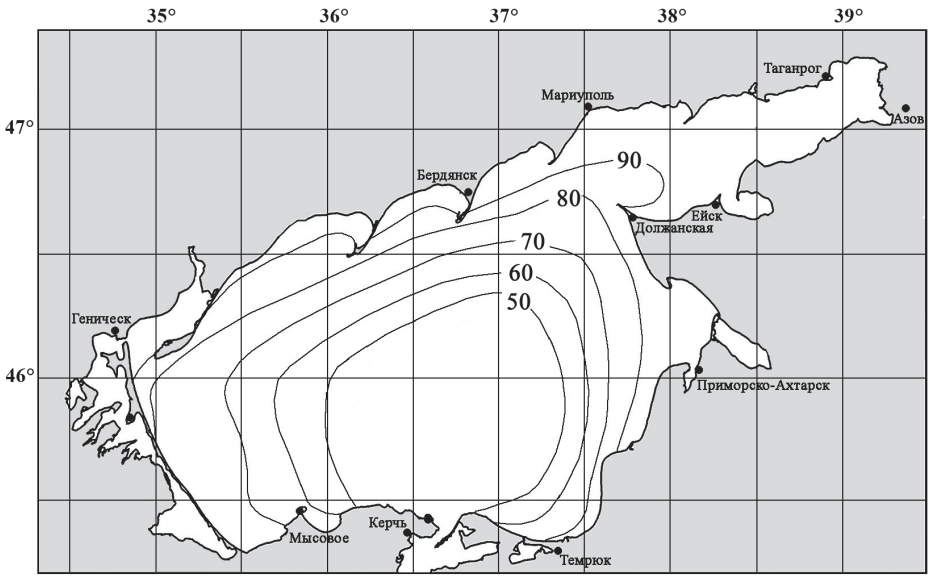
Средняя и максимальная толщина льда в Азовском море на момент наибольшего развития ледяного покрова в феврале – начале марта для всего периода наблюдений и для первых 12 лет XXI века (см)

ГМС	Средняя толщина льда за весь период наблюдений	Максимальная толщина льда за весь период наблюдений	Средняя толщина льда за 12 лет XXI века	Максимальная толщина льда за 12 лет XXI века
Таганрог	37	78	30	49
Мариуполь	37	77	32	68
Приморско-Ахтарск	24	55	21	40
Тамань	28	64	23	34

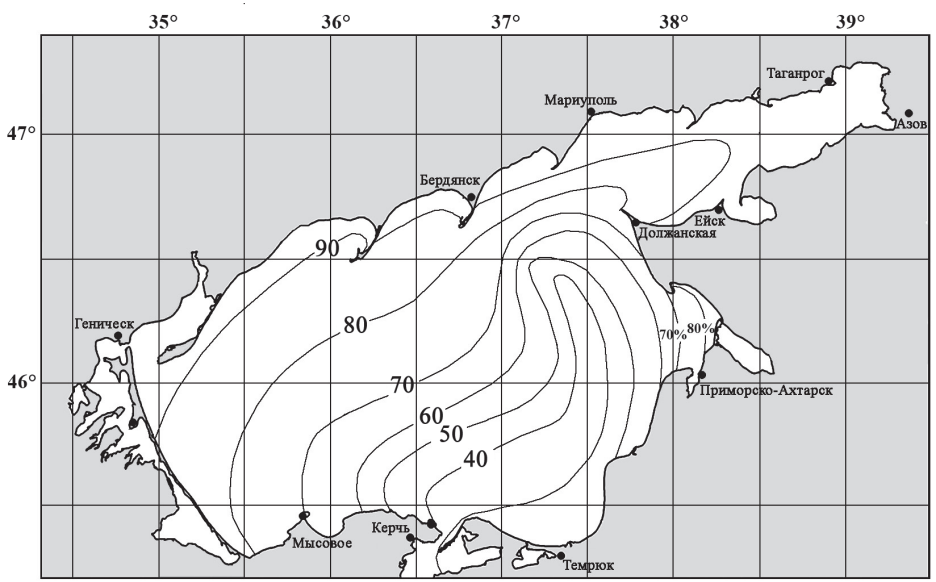
На рис. 5.25 представлены карты повторяемости наличия льда в Азовском море в середине месяца (с декабря по апрель), полученные по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века. На рис. 5.26 – аналогичные карты повторяемости, полученные по данным ИСЗ за первые 12 лет XXI века.



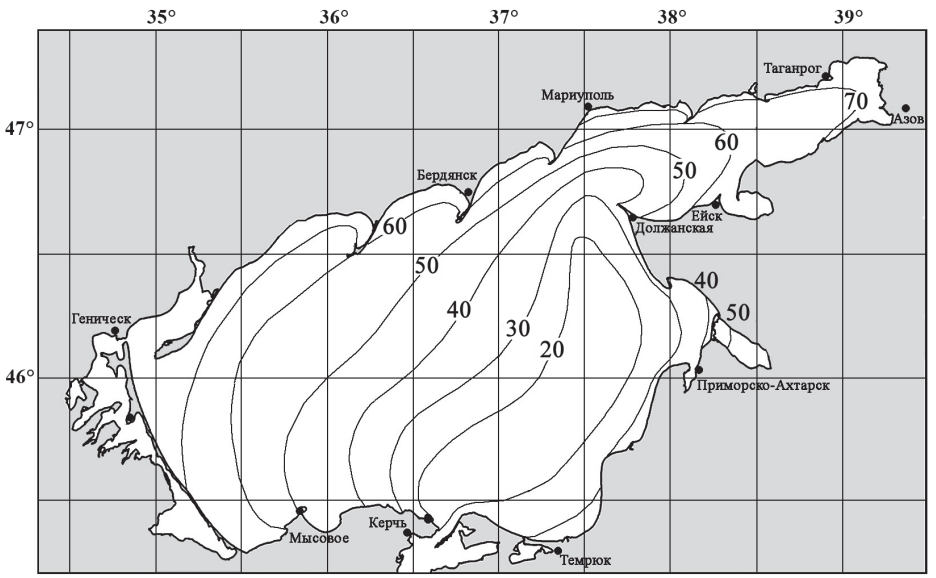
5.25а (декабрь)



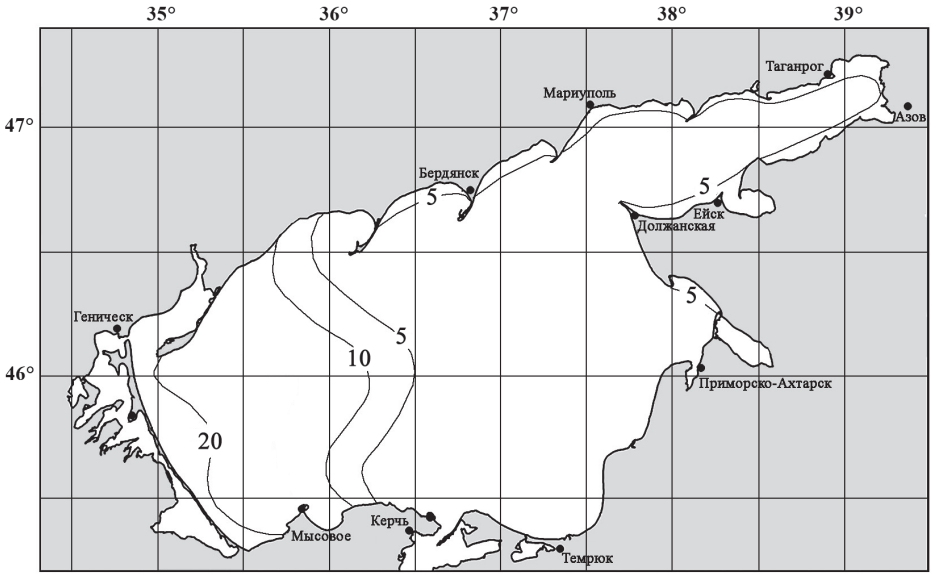
5.25б (январь)



5.25в (февраль)

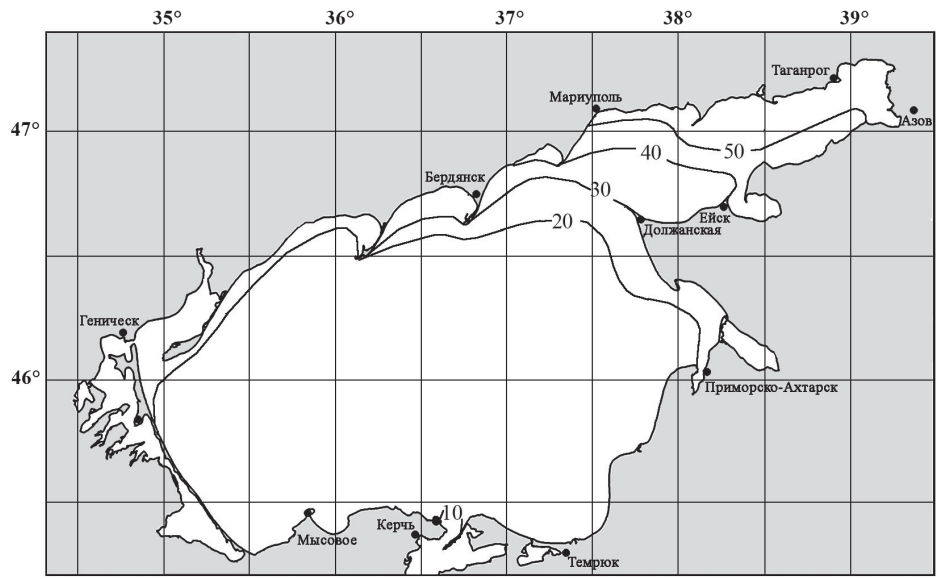


5.25г (март)

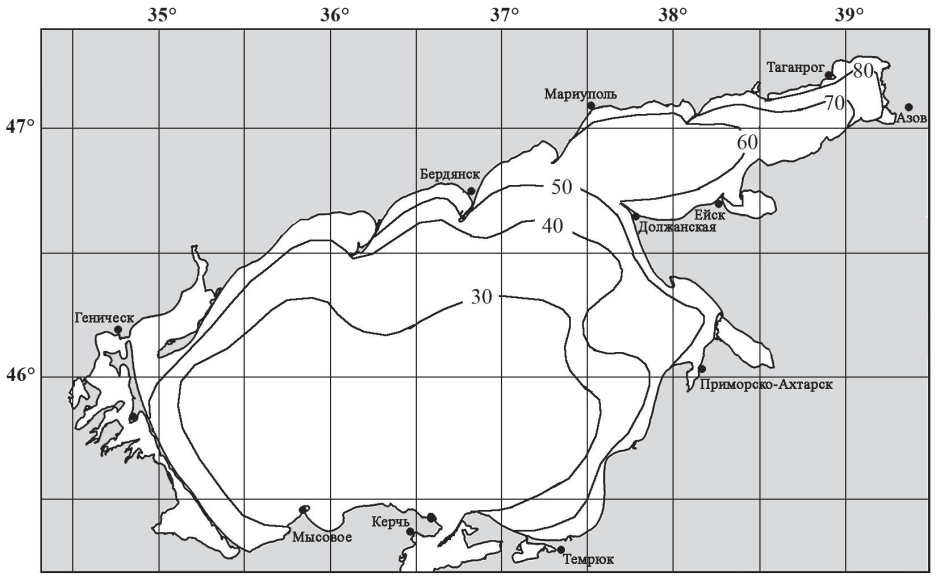


5.25д (апрель)

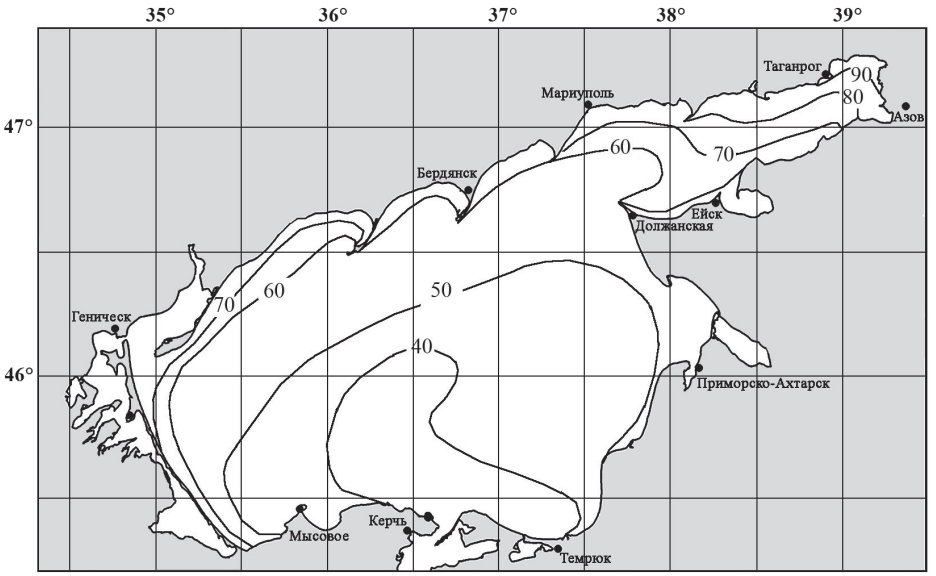
Рис. 5.25. Повторяемость наличия льда в Азовском море на середину месяца, рассчитанная по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века.



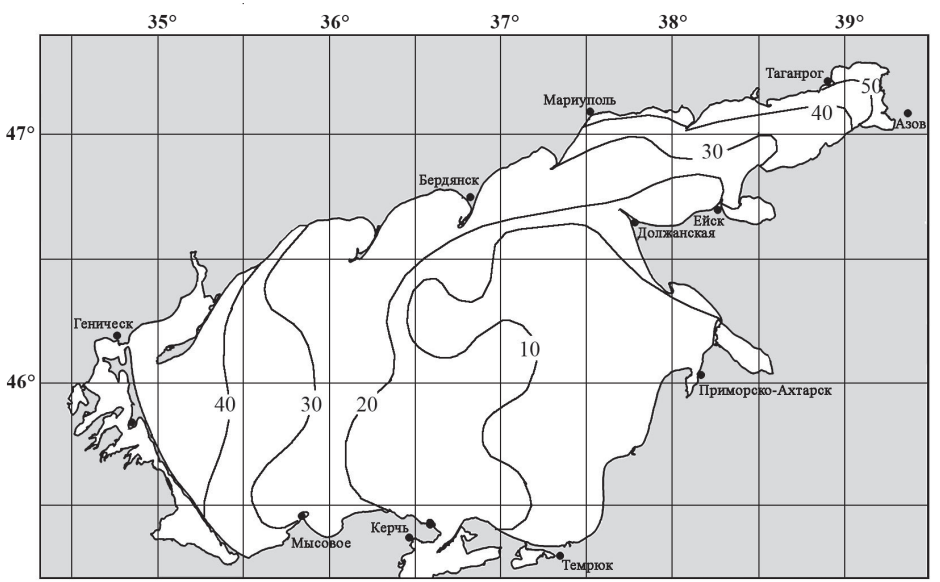
5.26а (декабрь)



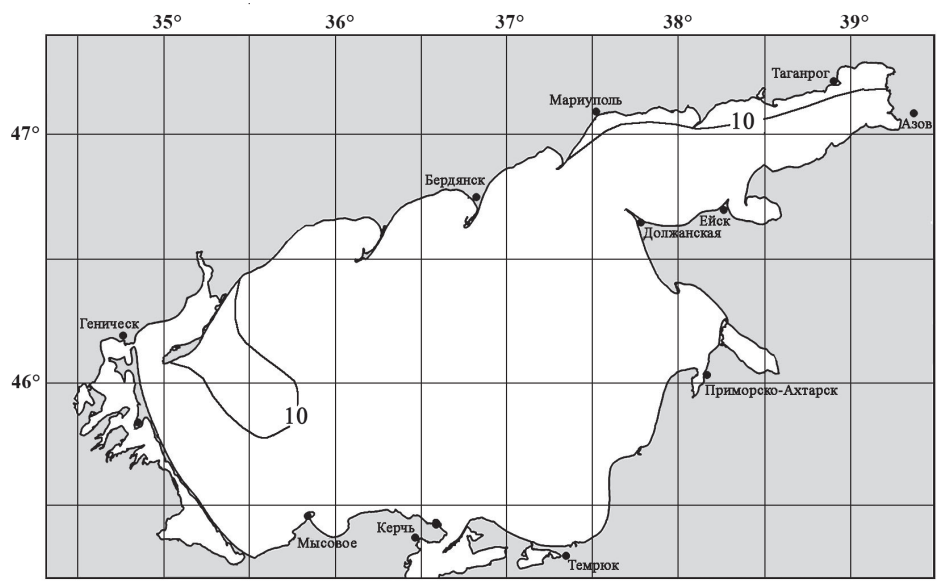
5.26б (январь)



5.26в (февраль)



5.26г (март)



5.26д (апрель)

Рис. 5.26. Повторяемость наличия льда в Азовском море на середину месяца, рассчитанная по данным ИСЗ за первые 12 лет XXI века.

Ледовый режим каждого района Азовского моря имеет свои особенности.

Таганрогский залив (районы 7, 8, 9) отличается более постоянными ледовыми условиями, по сравнению с другими районами моря. Восточная и центральная части Таганрогского залива почти ежегодно (с повторяемостью 80 %) покрываются льдом (рис. 5.25б) и с повторяемостью 50 % покрываются припаем (рис. 5.28б). Восточный район залива (район 9) открывает ледовый сезон на Азовском море наиболее ранним появлением льда. В течение ледового сезона лед здесь имеет наибольшую, по сравнению с другими районами, толщину.

В течение ледового сезона Таганрогский залив может покрываться льдом неоднократно. В умеренные зимы в районах Должанской и Мариуполя полное замерзание сохраняется в среднем 60 суток, в Таганроге и Азове – 80 суток, в мягкие зимы – соответственно, 15 и 25 суток, в суровые – 90 и 105 суток.

Наибольшей толщины припай в районе Таганрога в умеренные зимы достигает к концу февраля (в среднем 30–40 см, в суровые зимы – 60–78 см). В западной части залива (район 7) припай может неоднократно в течение ледового сезона частично взламываться, а в мягкие зимы он образуется узкой полосой только вдоль побережья на короткое время.

В районе косы Долгая наряду с образовавшимся салом и шугой в декабре могут появляться выносимые из Таганрогского залива ледяные поля и битый серый лед.

Как показывает анализ табл. 5.8 и 5.9, средняя толщина припайного льда на момент максимального развития в Таганрогском заливе в последние 30 лет на 5–7 см меньше среднемноголетних значений; максимальная толщина – на 10–25 см меньше наибольших значений, определенных по полному ряду наблюдений. В остальных районах Азовского моря средняя толщина припая в момент наибольшего развития льда уменьшилась на 2–5 см, а максимальная толщина – на 15–30 см.

В **восточном районе** моря (район 1) в порту Приморско-Ахтарск и в лиманах устойчивый ледяной покров образуется в среднем в первой декаде декабря (на 4 дня позже, чем в Таганроге), а в отдельные зимы – в ноябре и держится до конца февраля. В последнее 30-летие ледообразование в вершине Таганрогского залива и в районе Приморско-Ахтарска в среднем начинается одновременно.

Для **юго-восточного района** (район 2) характерны самые низкие, по сравнению с другими районами моря, толщины льда. В восточной части (Темрюкский залив) лед появляется с повторяемостью 80 %, хотя число дней со льдом в мягкие зимы может составлять всего 5–6 дней. Полное замерзание района отмечается только в суровые зимы. В умеренные зимы относительно неширокая полоса припая образуется вдоль берега Темрюкского залива, а в суровые зимы в январе-феврале весь юго-восточный район моря полностью покрывается льдом. Повторяемость присутствия припая в юго-восточном районе не превышает 40 %. Среднее число дней с припаем в этом районе моря равно 20, максимальное – 73. В открытой части этого района окончательно замерзание бывает очень редко.

Темрюкский залив – район с наиболее легкими ледовыми условиями, так как образующийся здесь местный лед не получает интенсивного развития, а приносной лед в этом заливе играет незначительную роль. Припай в Темрюкском заливе более развит, чем в Арабатском заливе. Толщина припая в Темрюкском заливе в среднем составляет 20–25 см, максимальная толщина припая – 45–55 см.

В **южном районе** Азовского моря (район 3), располагающемся к востоку от Арабатского залива и включающем подходы к Керченскому проливу с севера, ледовый режим характеризуется сравнительно малой ледовитостью. Льды здесь бывают как местные, так и приносные. Местные льды (забереги и припай) образуются не повсеместно и не каждый год. В мягкие зимы в этом районе лед вообще не появляется. Полное замерзание в южной части района (Керченский пролив) отмечается только в суровые зимы.

В Керченском проливе лед наблюдается в умеренные и суровые зимы. В открытой части пролива в основном бывает приносной лед, местный образуется в бухтах и заливах, но в суровые зимы лед местного происхождения может быть и в открытых частях пролива. Наибольшая ледовитость отмечается в северной части пролива. В мягкие зимы лед в Керченском проливе не наблюдается. В суровые зимы большая часть пролива может покрыться припайным льдом, но ветры штормовой силы взламывают припай даже в самые суровые зимы. Сильные ветры северо-восточных и северных направлений образуют у входа в Керченский пролив (со стороны Азовского моря) зоны сжатий и торошений, что затрудняет проводку судов в порты Азовского моря. Наиболее опасными из-за подвижек льда районами являются Камыш-Бурунское, районы острова Тузла и Церковной банки.

В Таманском заливе ледяной покров отличается большей устойчивостью, чем в других частях Керченского пролива. Лед местного происхождения появляется в среднем в конце декабря, в январе образуется неподвижный ледяной покров толщиной до 20–30 см, в суровые зимы – до 55–60 см.

При скоплении дрейфующего льда в Керченском проливе возникает явление «ледяной реки», когда наблюдаются мощные перемещения битого льда со скоростью несколько узлов [30]. Это явление представляет реальную навигационную угрозу для судов любого класса (особенно при плавании в караване), а также для гидротехнических сооружений. С начала 90-х гг. XX века было разработано более десятка проектов моста через Керченский пролив. При проектировании и строительстве любого гидротехнического сооружения, в том числе и моста, требуется обязательное проведение гидрометеорологических изысканий и осуществление гидрометеорологической экспертизы проекта. При этом в полной мере должно быть оценено влияние на сооружение таких факторов, как ветровые, снеговые, волновые и ледовые нагрузки. Построенный в 1944 г. мост из Крыма на Таманский п-ов уже через несколько месяцев после открытия был разобран, так как металлические опоры моста, не защищенные ледорезами, в феврале 1945 г. были разрушены льдом.

В **западном районе** моря (район 4) в Утлюкском лимане ежегодно образуется местный лед, тогда как южнее Арабатской Стрелки, в большинстве случаев наблюдается приносной лед. Полное замерзание Утлюкского лимана происходит в 70 % случаев.

В районе Стрелкового со стороны моря припай вдоль Арабатской Стрелки образуется полосой, ширина которой зависит от суровости зимы, наиболее вероятная ширина припая в третьей декаде января – 10 миль. В отдельные мягкие зимы припай не образуется. Средняя толщина припая в момент максимального развития ледяного покрова в районе Арабатской Стрелки – 20–30 см, но в суровые зимы она может достигать 50–55 см.

Западный район Азовского моря наиболее подвержен влиянию преобладающих на море ветров восточной четверти. В феврале и марте в направлении западного района, как правило, дрейфуют льды центральной части моря. И в эти месяцы повторяемость наличия льда в западном районе очень высокая – 70–90 % (рис. 5.25в, г). Для апреля повторяемость наличия льда здесь наибольшая по отношению к другим районам моря и составляет 20 % (рис. 5.25д). Именно в западном районе обычно вытаивают последние азовские льды после умеренных и суровых зим.

В **центральном районе** (район 5) окончательного замерзания открытой части моря не бывает даже в суровые зимы. В суровые зимы при слабом ветре или штиле и интенсивном выхолаживании поля дрейфующего льда смерзаются, образуя сплошной ледовый покров, который при первых сильных ветрах взламывается. В самую суровую зиму 1953/1954 гг. с середины января до середины марта наблюдалось полное замерзание Азовского моря (за исключением южной части Керченского пролива). В открытой части Азовского моря максимальные толщины ровного дрейфующего льда в суровые зимы достигают 50–70 см, а в умеренные составляют 25–35 см (табл. 5.4).

Ледовый режим Арабатского залива почти целиком зависит от приносного льда. Здесь в умеренные зимы преобладает дрейфующий, очень сплоченный лед, главным образом в форме ледяных полей и их обломков (преимущественно из серого льда), принесенных с севера. Арабатский залив относится к зоне наиболее интенсивных процессов сжатия и торошения льда.

В **северном районе** моря (район 6) вдоль северного побережья на участке коса Обиточная – коса Белосарайская местный лед образуется в виде полосы припая шириной от 5 до 10 миль в первой-второй декадах января. В районе Бердянска и Обиточной косы первое полное замерзание обычно происходит в середине января, а иногда и в феврале, но наблюдается не каждый год. В мягкие зимы здесь образуется прерывистая полоса припая. Наиболее позднее полное замерзание в районе Бердянска отмечалось в третьей декаде февраля.

Вдоль всего северного побережья припай отличается своей неустойчивостью. В течение каждого ледового сезона он взламывается в среднем

4 раза. Особенно часто ветровой взлом припая происходит в районе Бердянска. В среднем у северного побережья припай сохраняется около 30 дней, причем большая часть этого периода приходится на февраль, но в некоторые суровые зимы (1953/1954, 1968/1969 гг.) припай у северного побережья моря сохранялся в течение трех месяцев. Толщина припайного льда достигает максимума в конце февраля: 25–30 см – в умеренные зимы и 50–55 см – в суровые.

Анализ рис. 5.25а показывает, что в середине декабря с повторяемостью 50 % лед может наблюдаться только в вершине Таганрогского залива и в районе Приморско-Ахтарска, повторяемость присутствия льда в центральной части моря менее 10 %.

В середине января (рис. 5.25б) с повторяемостью 90 % лед наблюдается на акватории всего Таганрогского залива и с повторяемостью 50 % – в центральной части моря.

В середине февраля (рис. 5.25в) высокая повторяемость (80–90 %) наличия льда в Таганрогском заливе сохраняется. Увеличивается повторяемость наличия льда в западном секторе открытой части моря до 70–80 %, уменьшается повторяемость наличия льда в юго-восточной части моря до 40 %.

В середине марта (рис. 5.25г) в Азовском море активизируются весенние процессы. Повторяемость наличия льда в Таганрогском заливе уменьшается до 60–70 %. В это время сохраняется достаточно высокая повторяемость наличия льда в западном секторе открытой части моря (50–60 %), наименьшая повторяемость – в юго-восточной части моря (20–30 %).

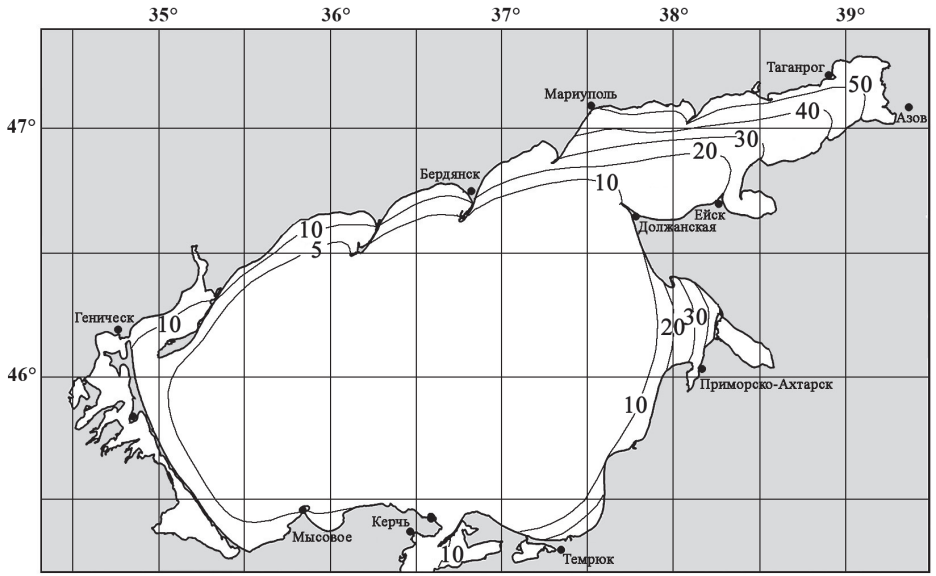
В середине апреля (рис. 5.25д) после мягких и умеренных зим, как было показано выше, Азовское море свободно ото льда. Повторяемость присутствия льда у побережья Таганрогского залива и в центральной части моря менее 5 %. В это время наиболее вероятна встреча со льдом западнее меридиана 36° в.д. (повторяемость – 10–20 %).

Сопоставление рис. 5.25 и 5.26 показывает, что за первые 12 лет XXI века в оценке повторяемости наличия льда (в середине каждого месяца) произошли существенные изменения, по сравнению со второй половиной XX века, например:

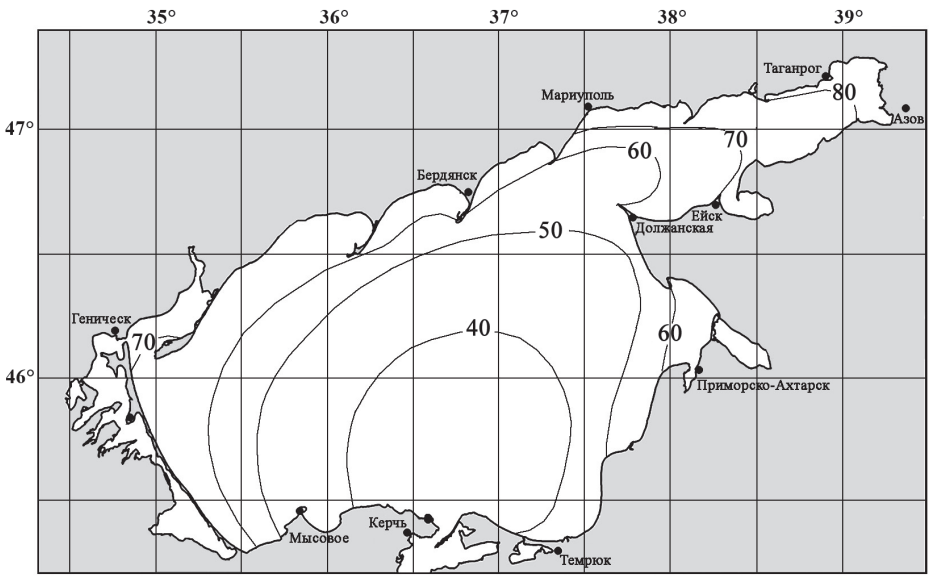
– в середине декабря второй половины XX века повторяемость наличия льда в центральной части Азовского моря составляла менее 10 %, что на 5–10 % меньше, чем в первые 12 лет XXI века;

– в январе–апреле наблюдалась ледовая ситуация, обратная декабрьской: в большинстве районов моря повторяемость наличия льда при переходе от второй половины XX века к началу XXI века уменьшилась на 15–30 %.

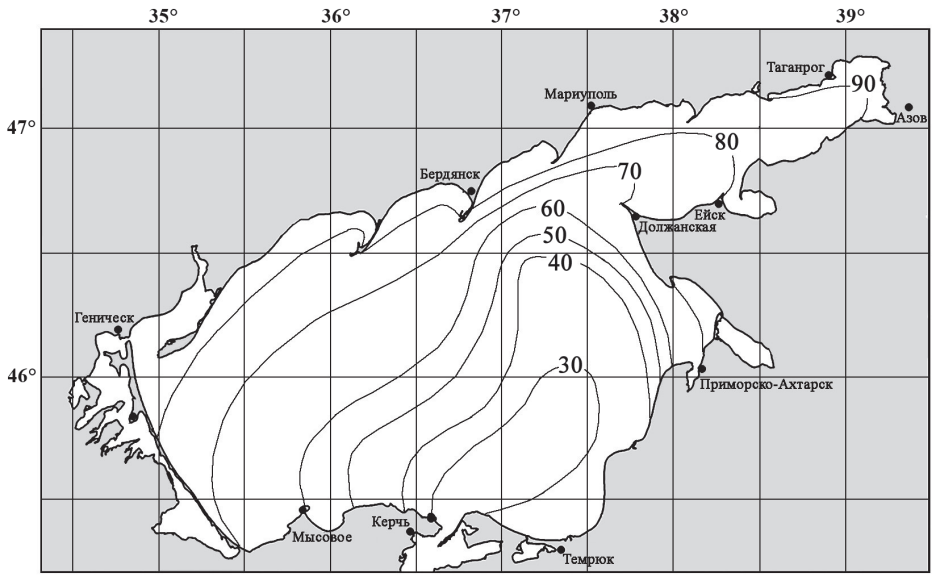
Важной для судоводителей характеристикой является также повторяемость наличия зон очень сплоченного льда (9–10 баллов). На рис. 5.27 приведена повторяемость наличия зон очень сплоченного льда в Азовском море в середине декабря–апреля, рассчитанная по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века.



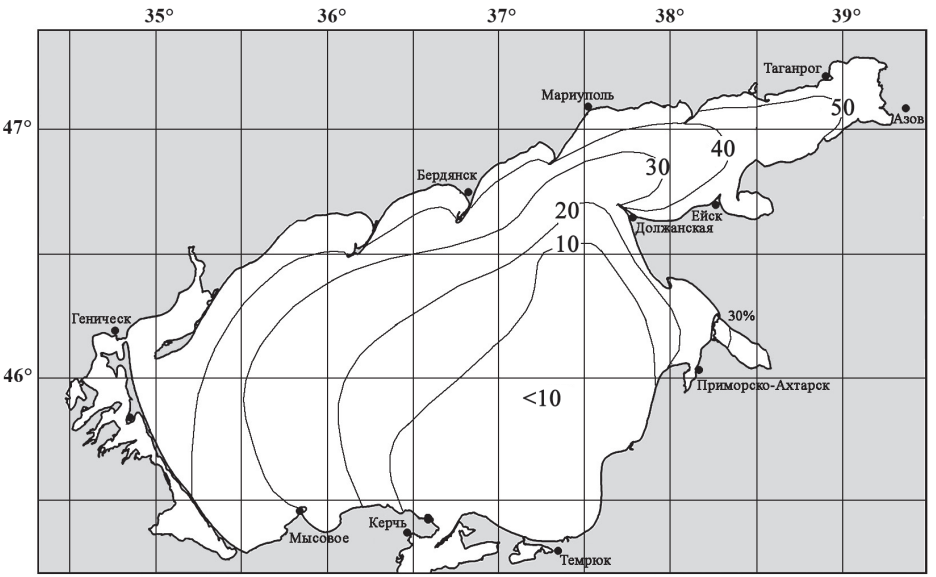
5.27а (декабрь)



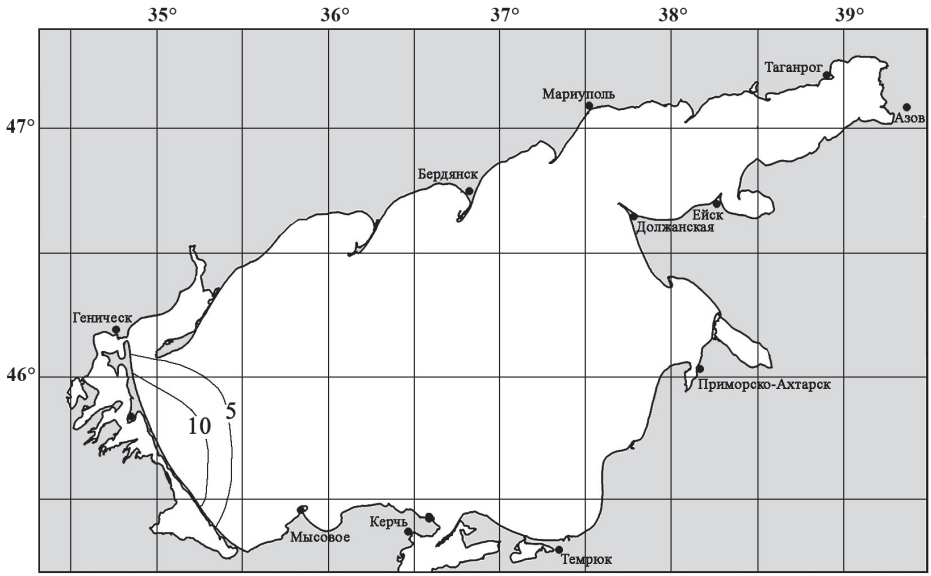
5.27б (январь)



5.27в (февраль)



5.27г (март)



5.27д (апрель)

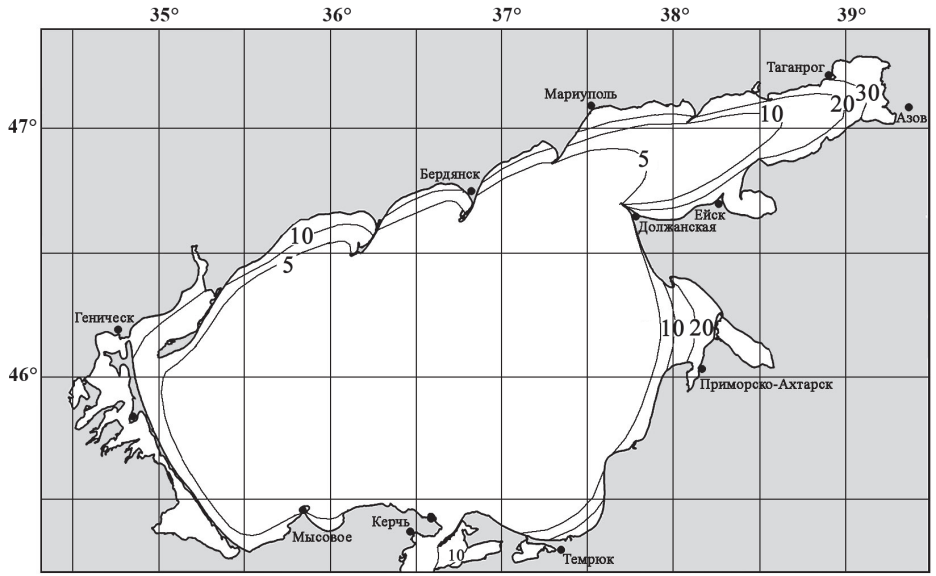
Рис. 5.27. Повторяемость наличия зон льда сплоченностью 9–10 баллов в Азовском море в середине месяца, рассчитанная по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века.

Анализ рис. 5.27а показывает, что в середине декабря с повторяемостью более 40 % очень сплоченный лед (либо припай) может наблюдаться только в вершине Таганрогского залива и в районе Приморско-Ахтарска.

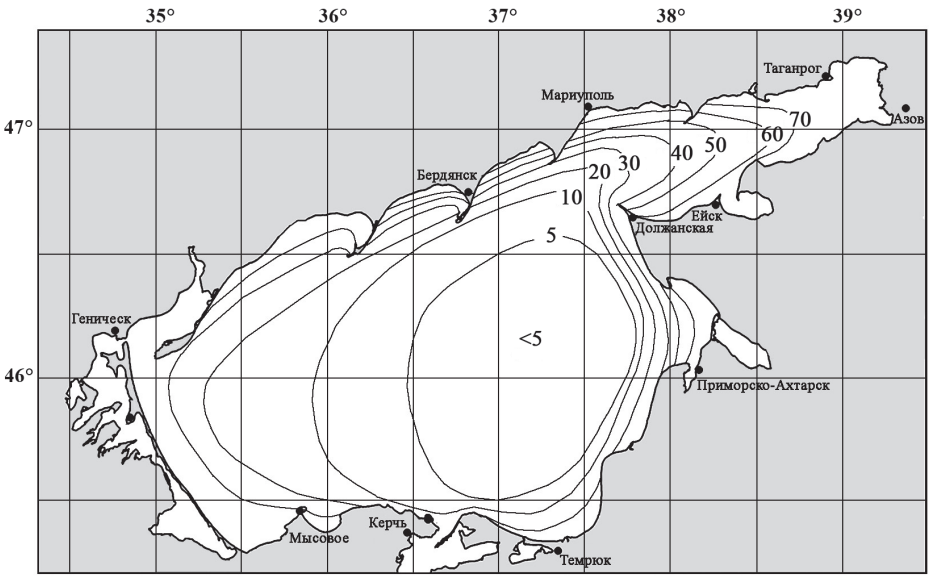
В середине января (рис. 5.27б) с повторяемостью 60 % очень сплоченный лед наблюдается на акватории всего Таганрогского залива и с повторяемостью 40 % – в центральной части моря. В середине февраля (рис. 5.27в) высокая повторяемость (70–80 %) наличия зон очень сплоченного льда в Таганрогском заливе сохраняется. Повторяемость наличия льда сплоченностью 9–10 баллов в западном секторе открытой части моря увеличивается до 60–70 %, а в юго-восточной части моря уменьшается до 30 %.

В середине марта (рис. 5.27г) повторяемость наличия зон льда сплоченностью 9–10 баллов в Таганрогском заливе уменьшается до 30–50 %, в западном секторе открытой части моря – до 20–40 %. Наименьшая повторяемость на юго-востоке моря – менее 10 %. В середине апреля (рис. 5.27д) повторяемость наличия зон льда сплоченностью 9–10 баллов минимальна: на крайнем востоке моря в районе Арабатской Стрелки возможно сохранение пятен очень сплоченного льда (повторяемость этого события – 5–10 %).

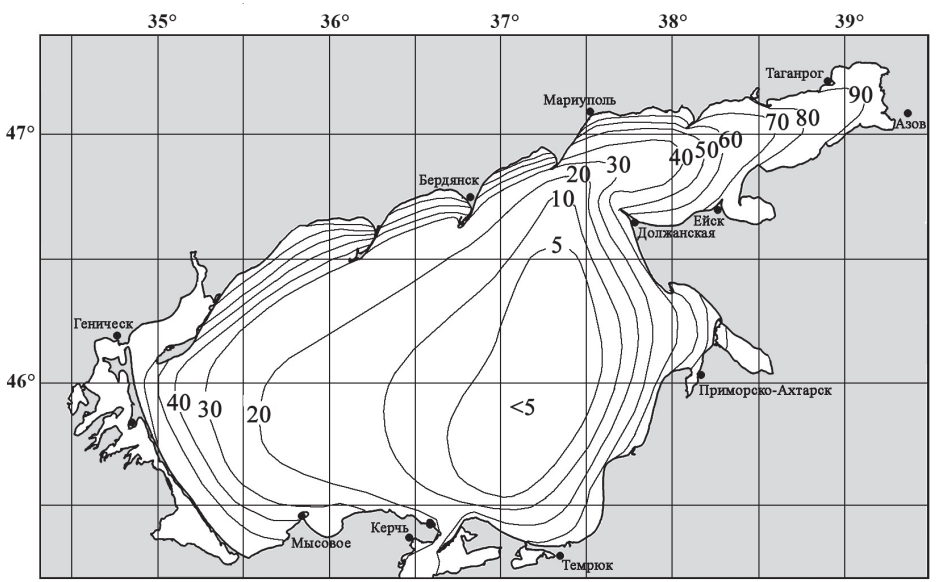
На рис. 5.28 приведена повторяемость присутствия припая в Азовском море в середине месяца (декабрь–март), рассчитанная по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века.



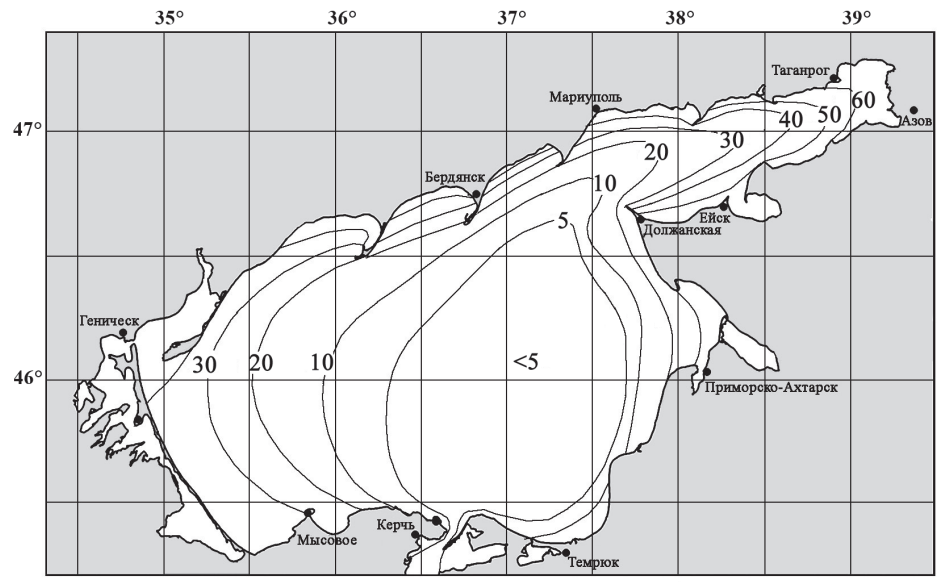
5.28а (декабрь)



5.28б (январь)



5.28в (февраль)



5.28г (март)

Рис. 5.28. Повторяемость присутствия припая в Азовском море в середине месяца, рассчитанная по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века..

Азовское море мелководное. Дно его очень ровное, однообразие дна нарушается только отмелями, простирающимися от многочисленных кос и отмелями в открытом море. На мелководных участках открытого моря зимой очень часто наблюдаются ледяные образования в виде беспорядочного нагромождения обломков льда (торосы, барьеры торосов). Образование подобных ледяных нагромождений, их форма и размеры обусловлены рельефом дна, интенсивностью дрейфа льда, сгонно-нагонными явлениями, а также скоростью и направлением ветра.

В мягкие зимы на всем море торосистость невелика – 1–2 балла. Опасные для судоходства торосистые образования наблюдаются в умеренные и суровые зимы.

В [84] Ю.Н. Синюриным были проанализированы авиаразведки льдов в суровые и умеренные зимы 1948/1949, 1953/1954, 1963/1964, 1968/1969, 1972/1973, 1973/1974, 1975/1976, 1976/1977 гг., а также диспетчерские сообщения с судов и ледоколов, работавших на Азовском море в зимние периоды 1968/1969, 1969/1970, 1971/1972, 1972/1973, 1973/1974 годов. Следует отметить, что при оценке торосистости основное внимание уделялось периодам, когда все море было покрыто льдом, то есть рассматривалась ледовая обстановка на море с момента, когда в результате динамических причин, в основном ветра, наличие торосов наиболее вероятно. Анализировались ледовые разведки, осуществленные в феврале-марте. В результате обобщения данных были построены карты распределения значений степени торосистости в суровые и умеренные зимы (рис. 5.29 и 5.30).

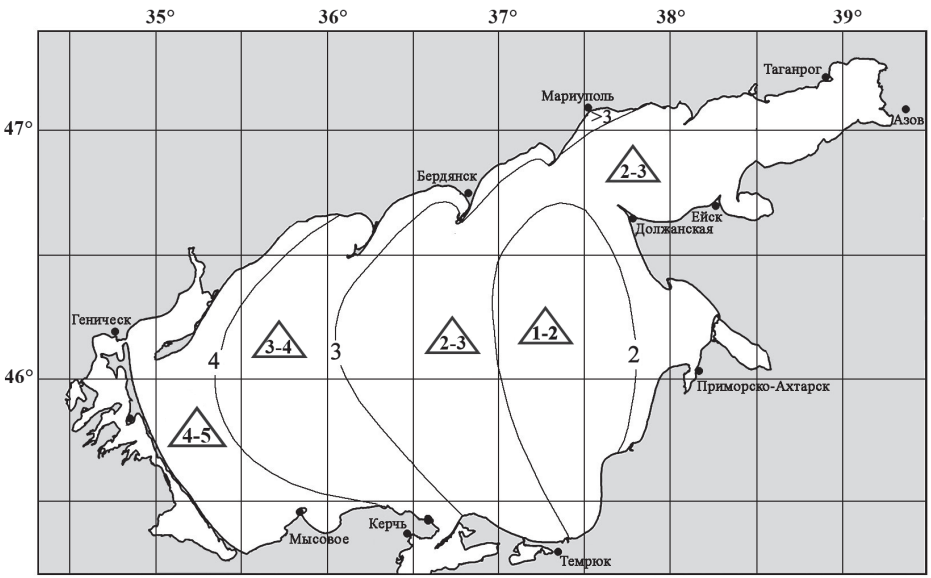


Рис. 5.29. Торосистость в феврале-марте в умеренную зиму.

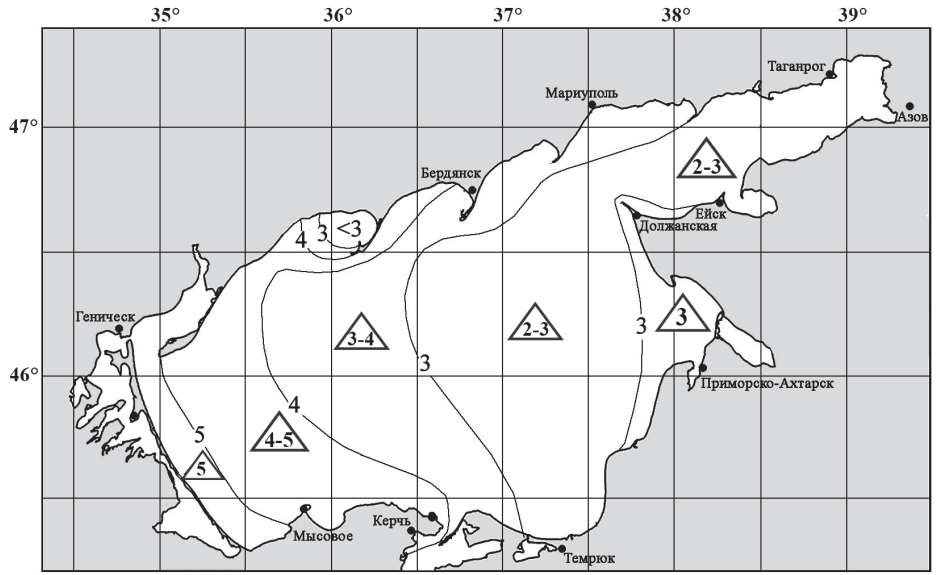


Рис. 5.30. Торосистость в феврале-марте в суровую зиму.

В умеренные зимы в центральной части моря преобладает лед торосистостью 1–3 балла, в районах Белосарайской, Бердянской, Обиточной кос – 2–4 балла. Высокая торосистость (4–5 баллов) может наблюдаться в конце умеренной зимы на северных подходах к Керченскому проливу, а также вдоль Арабатской Стрелки [92].

В суровые зимы максимальная торосистость, наблюдаемая в районах Арабатского залива, Мысового, Стрелкового, составляет 4–5 баллов; в районах Белосарайской, Бердянской, Обиточной кос, Мариуполя, Ейска, Должанской, Приморско-Ахтарска и Керчи, а также в западной части центрального района моря – 3–4 балла; в Таганроге, а также в восточной части открытого района моря – 2–3 балла.

Наибольшая торосистость и максимальное число барьеров торосов, образующихся в юго-западной части открытого моря, связаны с преобладающим выносом льда в этот район, а также наличием здесь большого числа банок и мелководий, что создает благоприятные условия для образования подсовов, наслоений и торосистых образований.

Барьеры торосов состоят, как правило, из мелкобитого сильно спрессованного льда. Длина их обычно не превышает 50–60 м, а высота над поверхностью воды в этой части моря от 4 до 8 м. Однако встречаются и значительно более мощные торосистые образования.

Вот для примера сообщение с л/к «Афанасий Никитин» от 3.02.1972 г.: «В районе каравана судов (45°37' с.ш., 36°37' в.д.) восточный ветер усилился до 20–25 м/с, началось интенсивное сжатие, продвижение судов прекратилось.

В районе дрейфа т/х "Кореиз" началась подвижка льда, торошение. Высота торосов – 6–7 м. Лед был выжат на главную палубу. Судно получило крен». В феврале 1972 г. л/к «Афанасий Никитин» проходил рядом с барьером торосов льда высотой (по измерениям) 12–14 м. Барьеры торосов имели направление с юго-востока на северо-запад и состояли в основном из мелкобитого льда. Толщина пластин льда, образующих барьер торосов, составляла 20–30 см. Такая толщина пластин указывает на то, что это торосистое образование возникло в середине зимы.

В середине марта 1976 г. (умеренная зима) восточнее Арабатской Стрелки на протяжении 25–30 миль в сторону моря преобладала торосистость 3–4 балла, при этом высота торосов составляла 5–6 м.

В зонах повышенной активности образования торосов (к северо-западу от Керченского пролива между меридианами 36° в.д. и 37° в.д., а также в районах Белосарайской, Бердянской, Обиточной, Должанской кос) их высота может достигать в умеренные зимы 4–8 м, в суровые зимы – 10–15 м.

Торосы состоят из обломков льда (пластин) толщиной 25–30 см, а более низкие торосистые образования (4–8 м) – из льдин толщиной 10–20 см. В умеренные зимы в открытой части Азовского моря преобладает лед толщиной около 15–20 см, поэтому в такие зимы наиболее вероятна максимальная высота барьеров торосов не более 8 м.

В Арабатском заливе в умеренные и суровые зимы степень торосистости здесь может достигать 4–5 баллов. Темрюкский залив является районом наименьшего количества льда во всем море. Для этого района характерно образование ниласа. Среди такого льда даже сильные ветры не могут вызывать серьезных сжатий и торошения (однако может происходить наслоение льда).

При ветрах восточных румбов в северной части Керченского пролива образуются зоны очень сильного торошения (со степенью торосистости до 4–5 балов). При доминирующем направлении развития гряд торосов с северо-востока на юго-запад могут наблюдаться также иные направления торошения. Вдоль береговой линии торосистость велика повсеместно, что объясняется сильной изрезанностью береговой линии, неоднократными вскрытиями и замерзанием прибрежных районов.

В открытом море дрейфующий лед подвергается сжатиям и торошению при ветрах любых направлений силой более 7–10 м/с. Сжатия сопровождаются торошением на стыках полей, где при продолжительных и сильных ветрах образуются барьеры торосов. Их высота значительно меньше тех, которые образуются в прибрежных зонах, и составляет в среднем 1–2 м.

Барьеры торосов в Таганрогском заливе как в умеренные, так и в суровые зимы по высоте примерно одинаковы, так как они образуются, как правило, до образования припая. Их высота составляет 1–1,5 м.

Кроме того, что сжатия являются причиной торошения льда, само по себе это явление крайне опасно для судоходства в ледовый период, поскольку усиливает механическое воздействие льда на корпус судна, что может привести к авариям и даже гибели судов. В центральной части Азовского моря, где проходят традиционные трассы плавания судов, сжатия могут быть весьма

значительными, поэтому судоводителям имеет смысл использовать заприпайные полыньи. Ветер, скорость которого менее 7–10 м/с, редко вызывает сжатия в открытом море, но в районах, где трасса проходит вблизи от берега (район Мариуполя, северная часть Керченского пролива), при ветрах даже с такими скоростями возможны сжатия до 1 балла. В открытом море продолжительное действие таких ветров может «сводить» канал во льду.

Под действием ветров со скоростями 10–15 м/с в открытом море наиболее вероятны сжатия до 2 баллов. Ветры со скоростями более 15 м/с в период максимального развития льда на Азовском море (февраль-март) в зонах сплоченного льда толщиной 15–20 см и более вызывают сжатия, степень которых составляет 2–3 балла. Ветры, скорость которых больше 20 м/с, вызывают сжатия силой 3 балла. В прибрежных районах, у мысов, кос, в узкостях и каналах в случае прижимных ветров сжатие силой 3 балла может возникать уже при скорости ветра 15 м/с.

Анализ большого количества судовых сообщений, выполненный в [84], позволяет сделать вывод о том, что в открытом море усиление и ослабление сжатий происходят достаточно быстро. При временном ослаблении сильного ветра до 10–12 м/с происходит ослабление сильного сжатия, а при усилении ветра процессы сильного сжатия и торошения сразу же возобновляются. Имея краткосрочный прогноз погоды, можно с достаточной уверенностью сказать, какое сжатие встретят суда на трассе. Сведения о торосистости и сжатиях необходимы при формировании состава каравана, расчета скорости его движения через ледовые зоны.

5.6. Очищение ото льда Азовского моря

Ледовый режим на Азовском море весной из-за неустойчивости погодных условий также изменчив, как и в осенне-зимний период. На рис. 5.31 приведена карта изохрон средних сроков очищения открытой части Азовского моря ото льда.

Во второй половине февраля – начале марта начинаются весенние подвижки и взлом припая. Разрушение льда сопровождается изменением его структуры, уменьшением прочности. На поверхности появляется вода, лед становится рыхлым. При таком состоянии льда для взлома припая достаточно незначительного шторма. Совместно с действием ветра на взлом припая влияют и другие динамические факторы: волнение, сгонно-нагонные колебания уровня, течения.

После разрушения припая и появления участков чистой воды среди льда водные массы интенсивно прогреваются по всей толще и происходит активное таяние льда.

В среднем через 10–15 суток после разрушения припая лед в море окончательно исчезает. Раньше всего очищаются южные (Керчь, Темрюк) и восточные (Должанская, Приморско-Ахтарск) районы моря, позже – районы скопления приносного льда (Стрелковое, Мысовое), а также Таганрог и Геническ.

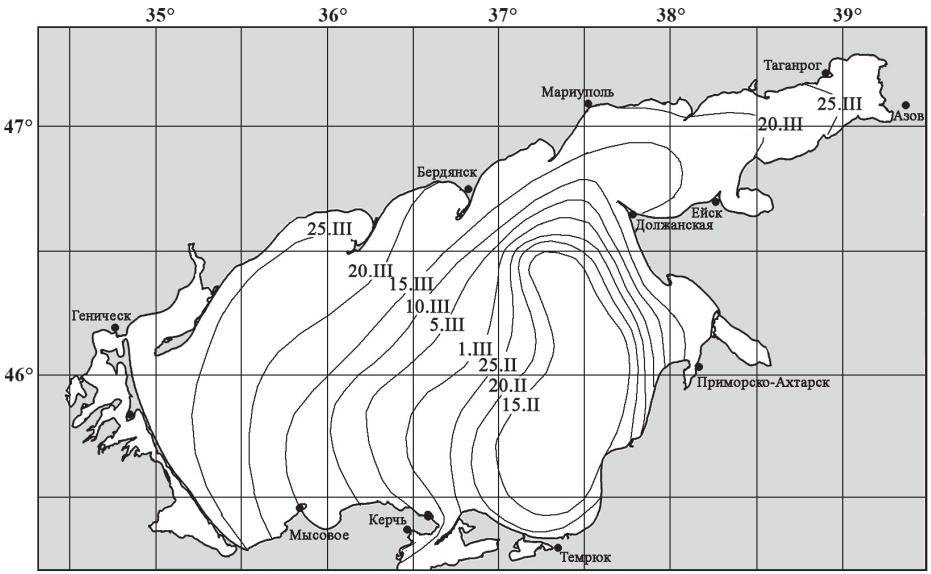


Рис. 5.31. Средние сроки полного очищения ото льда Азовского моря.

В Керчи море очищается в среднем 2 марта, Приморско-Ахтарске – 10 марта, Бердянске – 13 марта, Мариуполе – 19 марта, Геническе – 22 марта, Таганроге – 25 марта. В среднем в прибрежной зоне таяние льдов завершается в марте, за исключением района Арабатской Стрелки (Стрелковое), где приносные льды в отдельные годы сохраняются до конца апреля – начала мая. Наиболее ранние и наиболее поздние сроки исчезновения льда разделены большими интервалами. Ранние сроки в различных районах моря приходятся на январь-февраль, а поздние – на апрель-май. В последние 30 лет наблюдается сдвиг средних сроков очищения моря ото льда в сторону более ранних сроков на 6–14 дней.

5.7. Влияние ледовых процессов на судоходство в Азовском море

В умеренные и суровые зимы возникает необходимость ледокольного обеспечения судоходства на Азовском море. При наличии припайного льда на подходах к портам ледоколы должны прокладывать каналы в зонах неподвижного льда и поддерживать их в рабочем состоянии. На рис. 5.32 приведены основные судоходные трассы Азовского моря.

Существенная межгодовая изменчивость ледовой обстановки в Азовском море оказывает большое влияние на судоходство. В отдельные зимы лед наблюдался только в вершине Таганрогского залива. Но бывали такие годы, когда все море покрывалось льдом за 3–4 суток, еще через несколько суток дрейфующий лед достигал толщины 15–35 см, а в районе наветренного берега формировались торосы высотой до 2–3 м.

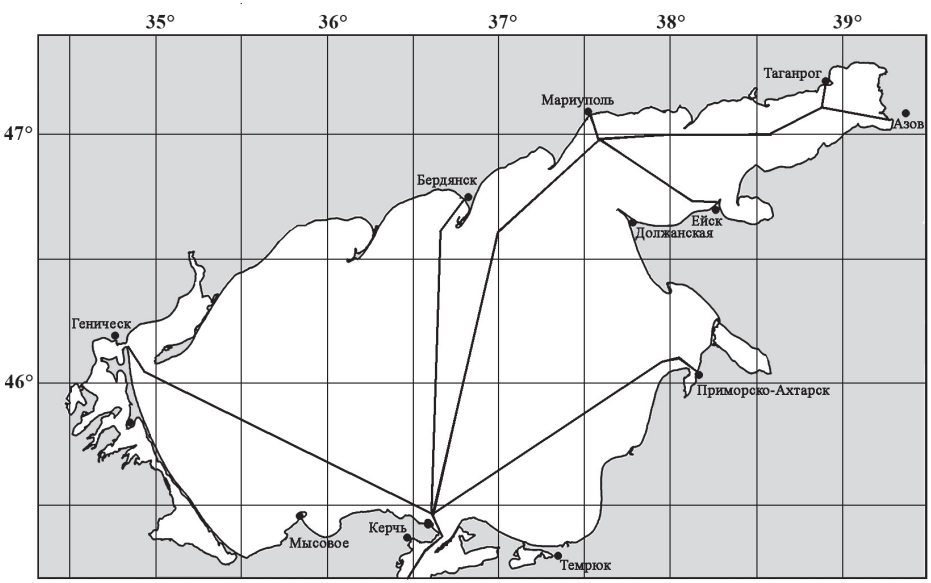
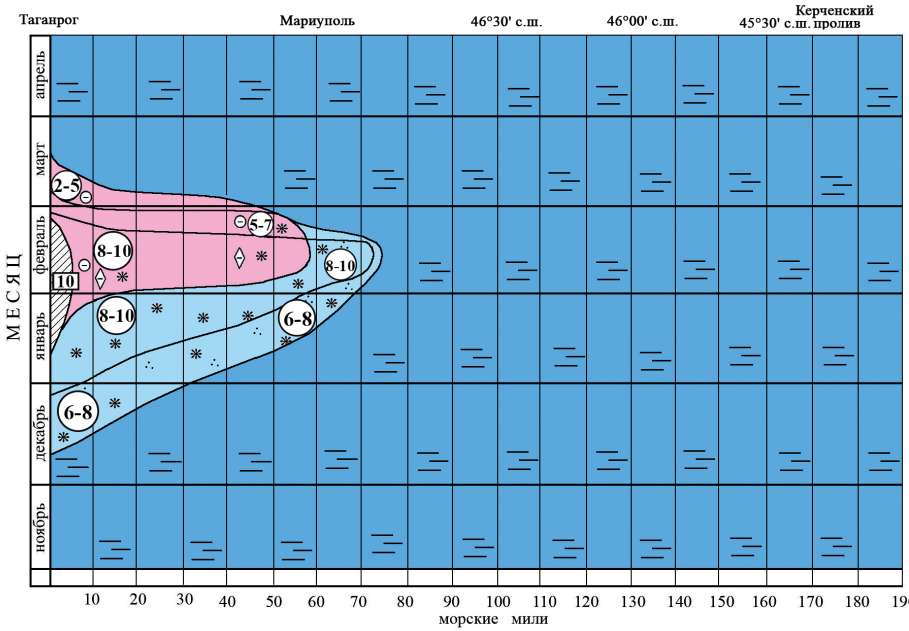


Рис. 5.32. Основные судоходные трассы Азовского моря.

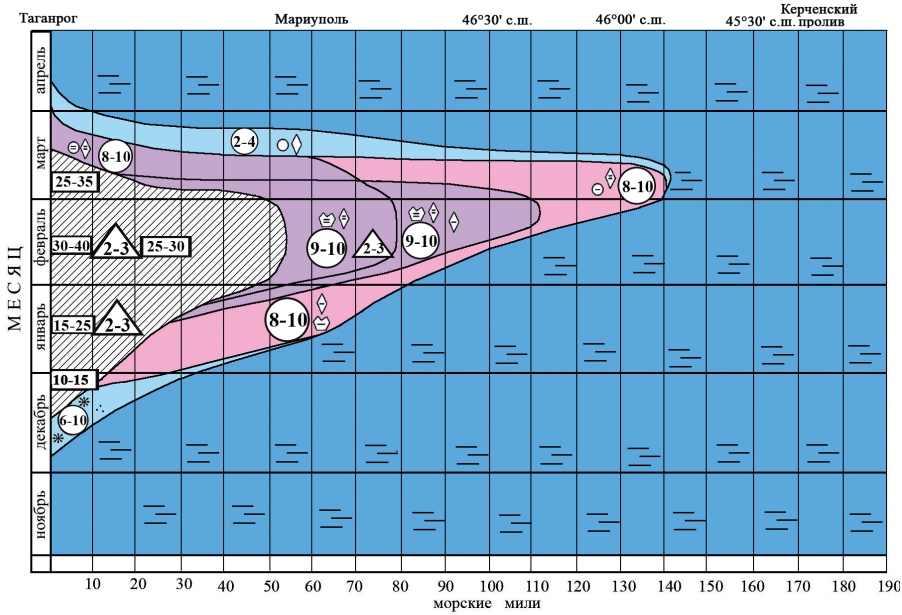
На рис. 5.33 представлены графики типичных ледовых условий на основной ледовой трассе Азовского моря Таганрог – Керченский пролив в мягкую зиму (а), в умеренную зиму (б), в суровую зиму (в) и в самую суровую зиму (г) 1953/1954 годов. Протяженность трассы – 180 миль.

В табл. 5.10 приведена средняя протяженность ледовых зон на трассе Таганрог – Керченский пролив. Анализ таблицы показывает, что в момент максимального распространения льда в феврале протяженность ледового плавания на трассе Таганрог – Керченский пролив составляет в среднем: в мягкую зиму – 75 миль, в умеренную зиму – 110 миль, в суровую зиму – 180 миль (вся трасса покрыта льдом). В середине марта протяженность ледового плавания на трассе в среднем составляет: после мягких зим – 10 миль, после умеренных зим – 100 миль, после суровых зим – 180 миль (вся трасса покрыта льдом). В середине апреля протяженность ледового плавания на трассе после мягких и умеренных зим равна нулю, после суровых зим на подходах к Керченскому проливу с севера могут наблюдаться отдельные пятна льда различной сплоченности на участке трассы протяженностью 20–50 миль.

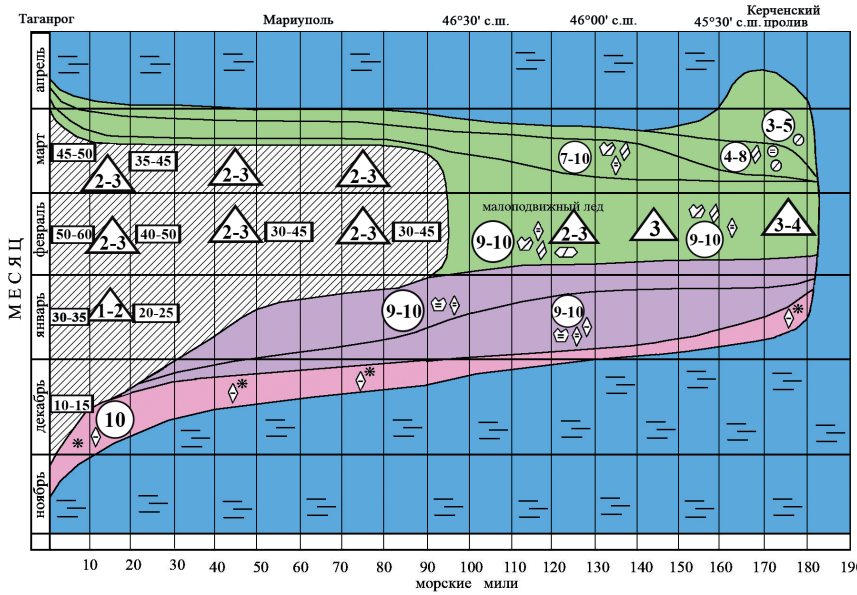
В табл. 5.11 представлены возможные толщины льда на трассе Таганрог – Керченский пролив в зависимости от толщины припайного льда в районе Таганрога. Данные для таблицы по открытой части моря получены путем обобщения результатов натурных наблюдений (сообщений с ледокола, данных ледовых авиаразведок) за 20-летний период (с 1960 по 1980 г.) [84].


Таганрог
Мариуполь
46°30' с.ш.
46°00' с.ш.
Керченский
45°30' с.ш. пролив
МЕСЯЦ
апрель
март
февраль
январь
декабрь
ноябрь
2-5
5-7
8-10
8-10
10
8-10
6-8
6-8
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190
морские мили

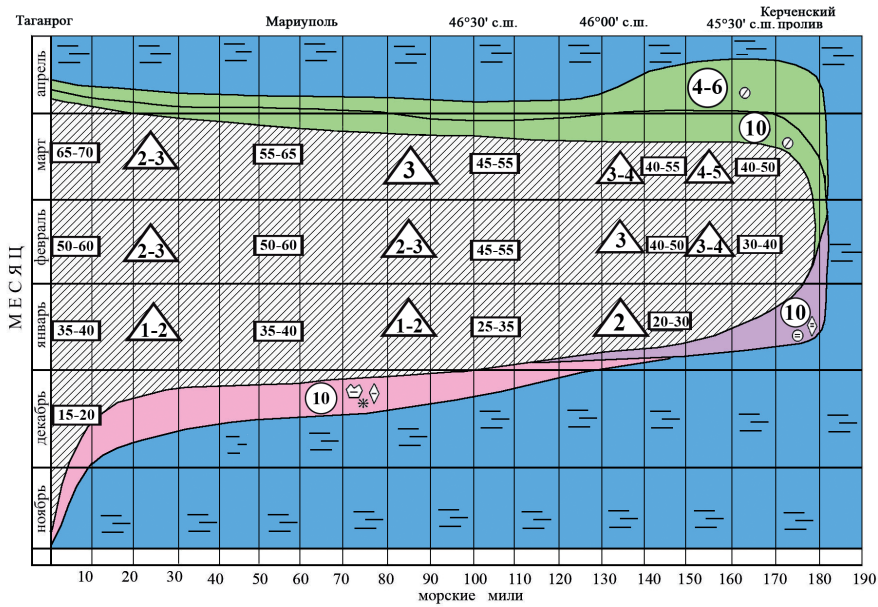
5.33а


Таганрог
Мариуполь
46°30' с.ш.
46°00' с.ш.
Керченский
45°30' с.ш. пролив
МЕСЯЦ
апрель
март
февраль
январь
декабрь
ноябрь
2-4
8-10
25-35
8-10
30-40
2-3
25-30
9-10
2-3
9-10
15-25
2-3
8-10
10-15
6-10
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190
морские мили

5.33б



5.33в



5.33г

Рис. 5.33. Графики типичных ледовых условий на трассе Таганрог – Керченский пролив в мягкую зиму (а), в умеренную зиму (б), в суровую зиму (в) и в самую суровую зиму (г) 1953/1954 годов.

Таблица 5.10

Протяженность ледовых зон на трассе Таганрог – Керченский пролив (мили)

Характеристика зоны	Месяцы					
	XI	XII	I	II	III	IV
Мягкая зима						
Чистая вода	180	165	120	105	170	180
Нилас и начальные виды льда	–	15	56	20	–	–
Серый лед	–	–	–	50	–	–
Серо-белый и серый лед	–	–	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	–	–	–	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	10	–
Припай в Таганрогском заливе	–	–	4	5	–	–
Ледовая зона	**0**	**15**	**60**	**75**	**10**	**0**
Умеренная зима						
Чистая вода	180	162	110	70	80	180
Нилас и начальные виды льда	–	18	–	–	–	–
Серый лед	–	–	43	–	–	–
Серо-белый и серый лед	–	–	–	30	20	–
Серо-белый лед	–	–	–	27	50	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	–	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	15	–
Припай в Таганрогском заливе	–	–	27	53	15	–
Ледовая зона	**0**	**18**	**70**	**110**	**100**	**0**
Суровая зима						
Чистая вода	180	140	0	0	0	160
Нилас и начальные виды льда	–	–	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	25	15	–	–	–
Серо-белый и серый лед	–	–	65	–	–	–
Серо-белый лед	–	–	50	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	95	88	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	–	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	20
Припай в Таганрогском заливе	–	15	50	85	92	–
Ледовая зона	**0**	**40**	**180**	**180**	**180**	**20**

Характеристика зоны	Месяцы					
	XI	XII	I	II	III	IV
Самая суровая зима						
Чистая вода	180	130	0	0	0	130
Нилас и начальные виды льда	–	–	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	35	–	–	–	–
Серо-белый и серый лед	–	–	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	–	20	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	2	2	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	50
Припай в Таганрогском заливе	–	15	160	178	178	–
Ледовая зона	**0**	**50**	**180**	**180**	**180**	**50**

Таблица 5.11

Толщины льда (в см) на трассе Таганрог – Керченский пролив в зависимости от толщины припайного льда в районе Таганрога (H_{Tar})

H_{Tar} / Широта	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
47°00′	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
46°50′	5	10	15	20	25	30	35	40	40	45	50	55
46°40′	5	10	10	20	20	25	30	35	40	45	50	50
46°30′	5	5	10	15	20	25	30	35	35	45	45	50
46°20′	0	5	10	15	20	25	25	35	35	40	45	45
46°10′	0	5	10	15	20	25	25	30	35	40	40	45
46°00′	0	5	10	15	20	20	25	30	35	40	40	45
45°50′	0	5	10	15	20	20	25	30	35	40	40	45
45°40′	0	5	10	15	20	20	25	30	35	40	40	45
45°30′	0	0	10	10	20	20	20	30	30	40	40	45
45°25′	0	0	10	10	20	20	20	25	30	35	40	45

Из анализа табл. 5.11 следует, что при толщине льда в Таганроге 10 см в центральной части моря (на широте 46° 00′с.ш.) с наибольшей вероятностью лед отсутствует; при толщине припайного льда 15 см в центральной части моря наблюдаются начальные виды льда; при толщине 20 см – светлый нилас и серый лед, при толщине 25–40 см – серо-белый лед; при толщине 45–65 см – тонкий однолетний лед.

Льды Азовского моря отличаются большой подвижностью и разнообразием, особенно в умеренные зимы, когда скопления льда перемежаются с пространствами чистой воды. В результате неравномерного дрейфа на судоходной трассе образуются многослойные и торосистые льды, сильно затрудняющие ледокольную проводку.

Для судоводителей наибольший интерес представляют данные о торосистости льда в открытом море на судоходной трассе. В суровые зимы наиболее сложная ледовая обстановка с точки зрения торосистости бывает на юге трассы: от параллели 45° 50' с.ш. на юг до входа в Керченский пролив. Торосистость на этом участке достигает 3–4 балла, местами – 5 баллов. Во вторую половину зимы на каналах, ведущих к портам, а также в Керченском проливе часто наблюдается набивной лед, представляющий собой плотную ледяную кашу, которая может распространяться подо льдом до самого дна (забои). Движение в такой «подушке» невозможно даже для портовых ледоколов.

Наименьшая торосистость дрейфующего льда, как правило, бывает на участке трассы между параллелями 45°50′ и 46°40′ с.ш. Здесь средняя торосистость в суровые зимы – 2–3 балла, а в умеренные – около 2 баллов.

В суровые зимы лед через Керченский пролив из Азовского моря в Черное выносится обычно сплошной массой, часто сильно торосистый (около 4 баллов), образуя на косах Чушка и Тузла нагромождения в виде стамух.

В целом на Азовском море в суровые зимы в период максимального развития льда торосистость его в открытом море и на судоходной трассе примерно на один балл выше, чем в умеренные. Исключение составляет крайний западный район моря, где торосистость льда в суровые зимы незначительно отличается от торосистости в умеренные зимы и составляет 4–5 баллов. Тем не менее следует иметь в виду, что максимальная высота барьеров торосов в умеренные зимы по всему морю на 4–6 м меньше, чем в суровые зимы, что объясняется разной толщиной льда в открытом море в суровые и умеренные зимы.

В середине января 2008 г. Минтранс России обратился в Гидрометцентр России с просьбой дать оценку ситуации и определить, следует ли считать ледовые условия в Азовском море очень сложными для судоходства, соответствующими суровой зиме. В это время у кромки льда в Керченском проливе около 150 судов ожидали ледокольной проводки. Ледовое обеспечение осуществляли три ледокола: «Капитан Мошкин», «Капитан Демидов» и «Капитан Крутов», которые не справлялись с потоком скопившихся у кромки льда судов. На рис. 5.34 – снимок с ИСЗ, характеризующий ледовую обстановку в Азовском море в январе 2008 года.

Проведенное исследование показало, что зима 2007/2008 гг. на Азовском море соответствовала критериям умеренной зимы. Суровыми в Азовском море считаются такие ледовые сезоны, когда толщины припайного льда достигают 50 см и более, все море покрыто льдом и на трассе наблюдается тонкий однолетний лед

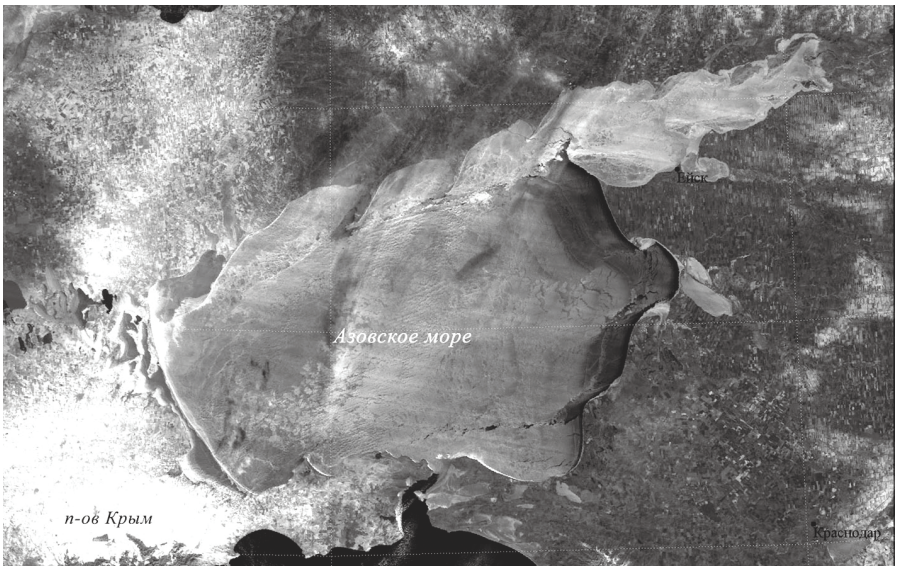


Рис. 5.34. Ледовая обстановка в Азовском море 11 января 2008 года. Снимок с ИСЗ TERRA (MODIS).

(35–50 см). Такие события действительно наблюдаются не чаще чем 1–2 раза в 10 лет, и такие ледовые условия являются тяжелыми для судоходства в Азовском море. Тяжелые ледовые условия наблюдались в Азовском море, например, в сезоны 1953/1954, 1968/1969, 1971/1972 годов. В эти годы были периоды, когда Азовское море на 60–100 % было покрыто припайным льдом. События ледового сезона 2007/2008 гг. еще раз показали, насколько серьезным препятствием для судоходства является лед даже в умеренную зиму [53].

5.8. Ледовые условия в портах Азовского моря

Таганрог

Географические координаты порта: 47°12′ с.ш., 38°57′ в.д.

Порт Таганрог расположен на северном побережье Азовского моря в Таганрогском заливе. К акватории порта через прибрежную отмель ведет подходной канал длиной 10,1 мили, шириной 80 м и глубиной 5,0 м. Плавание по каналу и акватории порта разрешается судам с запасом воды под килем не менее 20 см. Акватория порта Таганрог защищена молами и дамбой. Она состоит из трех соединенных друг с другом бассейнов: Нового, Петровского и Ремонтного.

Порт имеет 13 причалов с глубинами до 5,0 м. В морском порту перегружаются черные и цветные металлы, уголь, мазут, глинозем, руда, контейнеры, оборудование, зерновые культуры, цитрусовые и другие грузы.

Порт замерзает на достаточно продолжительное время. Ледовый период продолжается в среднем 111 дней. Наибольший ледовый период – 163 дня.

Лед в районе Таганрога появляется каждый год, причем ледообразование начинается раньше других районов моря, а очищение, как правило, наблюдается позднее. Средняя дата первого появления льда 4 декабря. Раннее появление льда наблюдалось 31 октября 1946 г., позднее – 19 января 1961 года. Период от первого появления льда до начала устойчивого ледообразования составляет в среднем 7–10 суток, в суровые зимы этот период сокращается до 1–3 суток, а в мягкие зимы колеблется от 5 суток до одного месяца и более. Припай устанавливается в суровые и умеренные зимы в среднем через 2–6 суток после устойчивого появления льда, в мягкие – через месяц и более. В суровые и умеренные зимы максимальная толщина припайного льда наблюдается во второй-третьей декадах февраля. В умеренные зимы она составляет 30–40 см, в суровые – 55–78 см. В мягкие зимы толщина припая обычно не превышает 15–25 см. В декабре-январе в Таганрогском заливе степень торосистости составляет от 1 до 3 баллов.

Первый взлом припая в среднем наблюдается в феврале-марте, но при определенных условиях (сильный ветер восточного или северного направления, адвекция теплой воздушной массы) первый взлом припая может наблюдаться в январе, а в суровые зимы дата первого взлома смещается на конец марта – первую половину апреля.

Исчезновение припая в Таганроге наблюдается в среднем во второй декаде марта, но в зависимости от гидрометеорологических условий эта дата может колебаться от первой декады января до второй декады апреля. Окончательное очищение ото льда акватории порта в среднем приходится на третью декаду марта, раннее очищение зафиксировано 25 февраля 1999 г., самое позднее – 27 апреля 1929 года.

За последнее 30-летие сроки ледообразования и появления припая сдвинулись в среднем на неделю в сторону более поздних дат, срок разрушения припая – на 2 недели в сторону более ранних дат, а срок полного очищения – на 6 дней в сторону более ранних дат. Средняя продолжительность ледового сезона составила 99 дней, сократившись, по сравнению со средней многолетней, на 12 дней.

Мариуполь (Украина)

Географические координаты порта: 47°03′ с.ш., 37°30′ в.д.

Порт Мариуполь расположен в северо-западной части Таганрогского залива Азовского моря в 14 милях от входа в залив. Средние глубины на подходе к порту составляют 12,0 м и позволяют обслуживать суда большой грузоподъемности. Берега в районе порта окаймлены отмелью шириной 4–5 миль с глубинами менее 5 м. Вход в порт осуществляется по подходному каналу, длина которого составляет 8,4 мили. Порт принимает суда с осадкой до 8,0 м и длиной до 240 м. Длина причальной линии порта 3,9 км. В зимнее время проводка судов осуществляется ледоколами.

Лед того или иного возраста здесь появляется ежегодно и наблюдается в течение длительного времени. Ледовые условия акватории порта являются достаточно сложными. Средняя дата первого появления льда – 16 декабря (наиболее раннее появление льда наблюдалось 8 ноября 1953 г., наиболее позднее – 5 февраля 1966 г.), период до начала устойчивого ледообразования составляет в среднем 7–10 суток, часто появление льда на акватории порта связано с ветровым выносом дрейфующего льда с востока и северо-востока Таганрогского залива. В мягкие зимы лед может появляться и исчезать несколько раз.

Припай устанавливается в среднем в конце декабря – начале января. В суровые и умеренные зимы максимальная толщина припайного льда наблюдается в феврале-марте и достигает 35–50 см в умеренные зимы, 55–77 см – в суровые. В мягкие зимы толщина припая составляет 15–20 см. Первый взлом припая наблюдается в первой декаде марта, но не исключен и в середине января, а в суровые зимы – в середине апреля. Торошение здесь может наблюдаться на протяжении всего ледового периода, но интенсивность его небольшая – от 1 до 2 баллов. Исчезновение припая наблюдается в среднем в конце первой декады марта, в зависимости от зимних и весенних гидрометеорологических условий эта дата может колебаться от второй декады января до второй декады апреля.

Окончательное очищение ото льда акватории порта происходит в среднем 19 марта (раннее – 2 февраля 1981 г., позднее – 24 апреля 1929 г.). Очищение моря ото льда в районе порта Мариуполь происходит в большинстве случаев под действием ветра. Если взлом припая сопровождается штормовым ветром, даты взлома и очищения моря ото льда могут совпадать. Штормовые ветры ускоряют разрушение льда и способствуют быстрому очищению порта. Средняя продолжительность ледового периода составляет 93 дня (наибольшая – 157 дней – зафиксирована в ледовый сезон 1953/1954 гг.).

За последнее 30-летие срок ледообразования сдвинулся в среднем на один день в сторону более поздних дат, срок появления припая сдвинулся в среднем на 13 дней в сторону более поздних дат. Срок разрушения припая сдвинулся на 10 дней в сторону более ранних дат, а срок полного очищения – на 5 дней в сторону более ранних дат. Средняя продолжительность ледового сезона составила 87 дней, сократившись, по сравнению со средней многолетней продолжительностью, на 6 дней. При этом следует отметить, что повторяемость случаев, когда припай в районе Мариуполя не устанавливался, увеличилась с 9 до 13 %.

Приморско-Ахтарск

Географические координаты порта: 46°04′ с.ш., 38°17′ в.д.

Морской грузовой терминал Приморско-Ахтарск расположен в восточной части Азовского моря на выходе из Ахтарского лимана. В настоящее время вопрос о строительстве нового крупного терминала находится в стадии обсуждения.

Лед в порту бывает каждую зиму. Начальные виды льда в среднем появляются 8 декабря (наиболее раннее ледообразование отмечалось 1 ноября 1953 г., позднее – 28 января 1948 г.). Припайный лед появляется спустя 10–15 суток после даты первого появления льда. Окончательное замерзание акватории порта наблюдается во второй декаде января, но при раннем ледообразовании бывает в начале третьей декады ноября, при позднем ледообразовании – в конце третьей декады февраля.

Торошение льда интенсивно во все месяцы ледового периода. Степень торосистости более 2 баллов наблюдается в январе-феврале умеренной зимы. В феврале-марте суровой зимы может наблюдаться степень торосистости более 3 баллов.

Толщина припайного льда зависит от суровости зимы: в суровые зимы в феврале-марте она составляет 40–55 см, в умеренные – 20–35 см, в мягкие – менее 20 см. Первый взлом припая происходит в среднем в третьей декаде февраля. Исчезновение припая приходится в среднем на начало марта, однако в течение зимы припай может неоднократно разрушаться и появляться вновь. Окончательное очищение ото льда в среднем отмечается в конце первой декады марта, позднее очищение возможно в середине апреля (в суровую зиму 1928/1929 гг. акватория порта очистилась18 апреля).

Средняя продолжительность ледового сезона составляет 93 дня (наименьшая зафиксирована в мягкую зиму 1989/1990 гг. – 19 дней, максимальная – в суровую зиму 1953/1954 гг. – 156 дней).

За последнее 30-летие сроки ледообразования и появления припая сдвинулись в среднем на один день в сторону более поздних дат, сроки разрушения припая и полного очищения – на 9 дней в сторону более ранних дат. Средняя продолжительность ледового сезона составила 83 день, сократившись, по сравнению со средней многолетней продолжительностью, на 10 дней.

Азов

Географические координаты порта: 47°07′ с.ш., 39°24′ в.д.

Порт Азов расположен на левом берегу р. Дон в 12,5 км от впадения в Таганрогский залив. Имеет 27 причалов различного назначения. Перегрузочный комплекс Азовского порта включает ряд причалов, специализированных на перегрузке металлопродукций, лесных, зерновых грузов, руды, удобрений, угля, строительных грузов. Длина причального фронта составляет 3,9 км. Максимальные габариты принимаемых судов: длина 150 м, осадка 3,7 м. Глубина у причалов – 4,5–8,5 м, глубина подходного канала – 4 м.

Первое появление льда наблюдается в районе Азова в среднем 10 декабря. Изменчивость наступления этого явления варьирует между первой декадой ноября и третьей декадой января. Припай устанавливается в среднем во второй-третьей декадах декабря (при раннем ледообразовании – в третьей декаде ноября, при позднем ледообразовании – в конце января). Толщина

припайного льда зависит от суровости зимы: в суровые зимы в феврале-марте она составляет 50–60 см (в самую суровую зиму 1953/1954 гг. во второй декаде марта наблюдалась толщина льда 64 см), в умеренные – 20–35 см, в мягкие – менее 20 см.

Разрушение припая и очищение района порта ото льда приходится в среднем на третью декаду марта, позднее очищение возможно в середине апреля.

Ейск

Географические координаты порта: 46°44′ с.ш., 38° 16′ в.д.

Порт расположен в юго-восточной части Таганрогского залива. К порту ведет подходной канал длиной 2,2 км и глубиной 4,6 м. Общая протяженность причалов 1,3 км. Обрабатываются суда класса река–море с осадкой до 4,2 м и длиной до 150 м.

Первое появление льда наблюдается в районе Ейска в среднем 14 декабря. Раннее ледообразование наблюдалось 4 ноября 1953 г., позднее – 6 февраля 2007 года. Припай устанавливается в среднем в третьей декаде декабря (раннее появление припая зафиксировано 16 ноября 1941 г., позднее – 24 февраля 2007 г.). Толщина припайного льда в суровые зимы в феврале-марте составляет 50–62 см, в умеренные – 25–40 см, в мягкие – менее 20 см (либо вообще не образуется). Разрушение припая происходит в среднем в первой декаде марта (наиболее ранний взлом припая наблюдался 25 января 1939 г., наиболее поздний – 17 апреля 1929 г.).

Окончательное очищение акватории порта ото льда в среднем отмечается во второй декаде марта (раннее очищение наблюдалось 5 февраля 2009 г., позднее – 24 апреля 1929 г.). Среднее число дней со льдом составляет 94 дня, минимальное – 4 дня (1965/1966 гг.), максимальное 164 дня (1953/1954 гг.).

За последнее 30-летие срок первого появления льда в среднем сместился на 5 дней, а появление припая на 2,5 недели в сторону более поздних дат. Повторяемость отсутствия в Ейске припая увеличилась с 4 до 7 %. Сроки разрушения припая сдвинулись на 16 дней, а полного очищения порта ото льда – на 9 дней в сторону более ранних дат. Средняя продолжительность ледового сезона составила 79 дня, сократившись, по сравнению со средней многолетней продолжительностью, на 15 дней.

Геническ (Украина)

Географические координаты порта: 46°10′ с.ш., 34°48′ в.д.

Порт расположен в западной части Азовского моря, у северного берега пролива Тонкий, ведущего из Азовского моря в залив Сиваш.

Начало ледообразования здесь приходится в среднем на вторую декаду декабря, но может быть и в первой декаде ноября и в начале февраля. Устойчивое ледообразование начинается через 1–5 суток после первого появления льда. Толщина припайного льда достигает максимальных значений в феврале-марте. Средняя толщина припайного льда в умеренные зимы составляет 20–35 см, в суровые зимы – 45–55 см. В самую суровую зиму 1953/1954 гг. толщина припайного льда достигала 62 см.

Максимальное торошение льда до 3–4 баллов наблюдается в феврале-марте, когда сформировавшийся на Азовском море лед под воздействием ветра восточной четверти испытывает сильные сжатия на западе моря.

Первый взлом припая наблюдается во второй декаде февраля, спустя 12–17 суток припай полностью разрушается. Окончательное очищение моря ото льда в среднем приходится на начало третьей декады марта, но в суровые зимы может сдвигаться до конца апреля – первой декады мая. Продолжительность ледового периода составляет в среднем 96 дней, а в суровые зимы увеличивается до 160–175 дней.

За последнее 30-летие сроки ледообразования и появления припая сдвинулись в среднем на 6 дней в сторону более поздних дат. Срок разрушения припая сдвинулся на 6 дней в сторону более ранних дат, а срок полного очищения – на 10 дней в сторону более ранних дат. Средняя продолжительность ледового сезона составила 81 день, сократившись, по сравнению со средней многолетней продолжительностью, на 15 дней. Повторяемость случаев, когда припай в районе Геническа не образовывается, увеличилась с 4 до 6 %.

Темрюк

Географические координаты порта: 45°23′ с.ш., 37°25′ в.д.

Морской порт Темрюк расположен в Темрюкском заливе Азовского моря при впадении в него реки Кубань, в 4 км от города Темрюк. Имеет 10 причалов. Длина причального фронта 1,4 км. Максимальные габариты принимаемых судов: длина – 140 м, осадка – 4,8 м. Имеет комплексы по обработке углеводородов, навалочных и наливных грузов.

Для порта Темрюк характерны наиболее легкие ледовые условия, по сравнению с другими портами Азовского моря. Средний срок первого появления льда в районе порта Темрюк 26 декабря. Однако раннее ледообразование может наблюдаться уже в середине ноября, а позднее – в начале марта. Лед в районе порта Темрюк образуется только в умеренные и суровые зимы. В мягкие зимы акватория порта свободна ото льда. Повторяемость присутствия льда в районе Темрюка в середине декабря составляет 15 %, припая – 10 %. К середине января повторяемость наличия льда в Темрюкском заливе

увеличивается до 70–80 %, льда сплоченностью 9–10 баллов (преимущественно ниласа) – до 50 %, а припая вдоль берега – до 20 %.

В середине февраля повторяемость наличия зон льда любой сплоченности в Темрюкском заливе составляет 40–50 %, припая – 30 %. Средняя толщина припайного льда составляет в это время 15–25 см. Максимальная толщина припайного льда в районе Темрюка наблюдалась в феврале-марте самой суровой зимы 1953/1954 гг. и составляла 50–55 см.

В середине марта повторяемость наличия льда в Темрюкском заливе 25 %.

Первый взлом припая наблюдается в районе Темрюка в среднем 18 февраля, а окончательное разрушение припая происходит в среднем 24 февраля (раннее разрушение припая наблюдалось 14 января 2002 г., позднее – 3 апреля в самую суровую зиму 1953/1954 гг.). Окончательное очищение района порта ото льда наблюдается в среднем 24 февраля. Наиболее позднее очищение произошло 20 апреля 1954 года.

За последнее 30-летие срок первого появления льда в Темрюке не изменился, однако срок очищения моря ото льда сдвинулся на две недели в сторону более ранних дат. Средняя продолжительность ледового сезона составила 48 дней, сократившись, по сравнению со средней многолетней продолжительностью (62 дня), на 14 дней.

Порт Кавказ

Географические координаты порта: 45°20′ с.ш., 36°40′ в.д.

Порт Кавказ расположен на косе Чушка, омываемой с запада водами Керченского пролива, а с востока – водами Таманского залива. Функционируют паромные линии между морским портом Кавказ и портами п-ва Крым, Поти (Грузия), Варна (Болгария). Принимаются паромы длиной до 150 м с осадкой 3,8 м. Длина причального фронта – 1070 м. Обустроен причал для перевалки нефтепродуктов. Вводится в эксплуатацию комплекс по перегрузке жидких химических грузов. Порт в стадии активного развития.

Начало ледообразования в районе порта приходится в среднем на конец декабря, но лед может появиться и во второй декаде ноября, и в третьей декаде февраля. В 17 % случаев лед в районе порта не наблюдается. Толщина припайного льда достигает максимальных значений в феврале-марте. Средняя толщина припайного льда для умеренной зимы – 15–20 см, в суровые зимы – 30–40 см. В самую суровую зиму 1953/1954 гг. толщина припайного льда в районе Таманского залива и косы Чушка в конце февраля составляла 45–50 см.

Окончательное очищение моря ото льда в среднем происходит в третьей декаде февраля, но после суровых зим сдвигается до первой декады апреля. Продолжительность ледового периода составляет в среднем 40–50 дней, а в суровые зимы увеличивается до 80–120 дней.

Керчь

Географические координаты порта: 45°11′ с.ш., 36°29′ в.д.

Керченский морской торговый порт играет важную роль в морских перевозках в Азово-Черноморском регионе. Порт расположен на берегу Керченской бухты и открыт для захода судов круглый год. В порту имеется два перегрузочных комплекса, которые располагают 9 причалами с глубинами от 3,0 до 8,1 м. Порт принимает суда длиной до 200 м.

В силу своего географического положения Керченская бухта имеет довольно мягкие ледовые условия. Лед здесь появляется или при интенсивных затоках холода, или в результате дрейфа уже сформировавшегося льда из более северных районов Керченского пролива, часто оба этих фактора совпадают. Но в отдельные зимы (в 15 % случаев) лед здесь может не появляться вовсе. Часто лед появляется и исчезает по нескольку раз, иногда до 5–10 раз в сезоне.

Начальные виды льда появляются в среднем во второй декаде января, хотя разброс дат первого появления льда имеет широкий диапазон – от третьей декады ноября до первой декады марта. В суровые зимы первое полное замерзание (бухта покрывается припаем) происходит достаточно быстро, спустя 2–4 суток после появления начальных видов льда. В феврале – начале марта средняя степень торосистости льда составляет 2–3 балла. В самом Керченском проливе торошение льда, особенно во второй половине сезона, может быть очень интенсивным.

Толщина припайного льда достигает наибольших значений в первой– третьей декадах февраля и составляет 35–45 см в суровые зимы, 20–30 см – в умеренные зимы. В мягкие зимы припай в районе Керчи не наблюдается. Нарастание льда происходит неравномерно вследствие неоднократных разрушений припая и выноса льда из бухты. Первый взлом припая приходится в среднем на третью декаду февраля, спустя 2–4 суток припай окончательно разрушается. Дата окончательного очищения ото льда в этом районе имеет большой диапазон – от первой декады января до третьей декады апреля (в среднем – первая декада марта).

В весенний период нередки случаи появления приносного льда, выносимого в Керченский пролив из Таманского залива или прилегающих районов Азовского моря. Продолжительность ледового периода относительно небольшая, в среднем составляет 51 день, но в суровые зимы может увеличиваться до 100–150 дней.

За последнее 30-летие в районе Керчи сроки ледообразования сдвинулись в среднем на 8 дней, а появления припая – на 12 дней в сторону более поздних дат, по сравнению со средними многолетними датами. Сроки разрушения припая и полного очищения района порта ото льда сдвинулись на 9 дней в сторону более ранних дат. Средняя продолжительность ледового сезона составила 33 дня, сократившись, по сравнению со средней многолетней продолжительностью, на 18 дней. Повторяемость случаев, когда припай в районе Керчи не образовывается, увеличилась с 42 до 56 %.

Глава 6

ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ

6.1. Общие сведения о гидрометеорологическом режиме Черного моря

Черное море лежит во впадине в пределах двух зон Альпийской складчатости и отделяет Восточную Европу от Малой Азии. Площадь собственно Черного моря 423 тыс. км^2. Вместе с Азовским морем (38 тыс. км^2), являющимся большим заливом или лагуной, Черное море занимает площадь 461 тыс. км^2. Средняя глубина Черного моря 1197 м, максимальная – 2245 м [77]. На рис. 6.1 приведено районирование Черного моря.

Многочисленные реки, впадающие в Черное море, вливают в него за год около 346 км^3 пресной воды. Наибольший сток дает Дунай (по средним многолетним данным около 200 км^3/год), Днепр дает примерно 52 км^3/год, Днестр – 10 км^3/год, Южный Буг – несколько более 2 км^3/год, Ингул – 0,2 км^3/год. Таким образом, 80 % суммарного речного стока поступает в северо-западную часть моря.

Из Днепра и Южного Буга вода поступает в Днепро-Бугский лиман – открытый пресноводный лиман в северной части Черного моря. Днепро-Бугский лиман состоит из вытянутого в широтном направлении Днепровского лимана (шириной до 17 км), а также узкого (шириной от 5 до 11 км) и извилистого Бугского лимана, вытянутого в меридиональном направлении. С Черным морем Днепро-Бугский лиман соединяется проливом шириной 3,6 км.

Сравнительно много речной воды получает море вдоль кавказских берегов из горных рек. Паводок рек Черноморского бассейна приходится на весну, в этот сезон в море поступает наибольшее количество пресной воды.

Внутриматериковое положение, вытянутость вдоль параллели при небольшой разности широт северного и южного побережий, относительно малая площадь водного зеркала определяют относительно однородные климатические условия на Черном море. Основные черты климата моря формируются под влиянием макроциркуляционных процессов, протекающих в средиземноморском климатическом регионе. Однако орография (совокупность форм земной поверхности в данной местности) некоторых участков побережья создает заметные климатические отличия одних районов Черного моря от других. На большей части пространства черноморский климат сходен

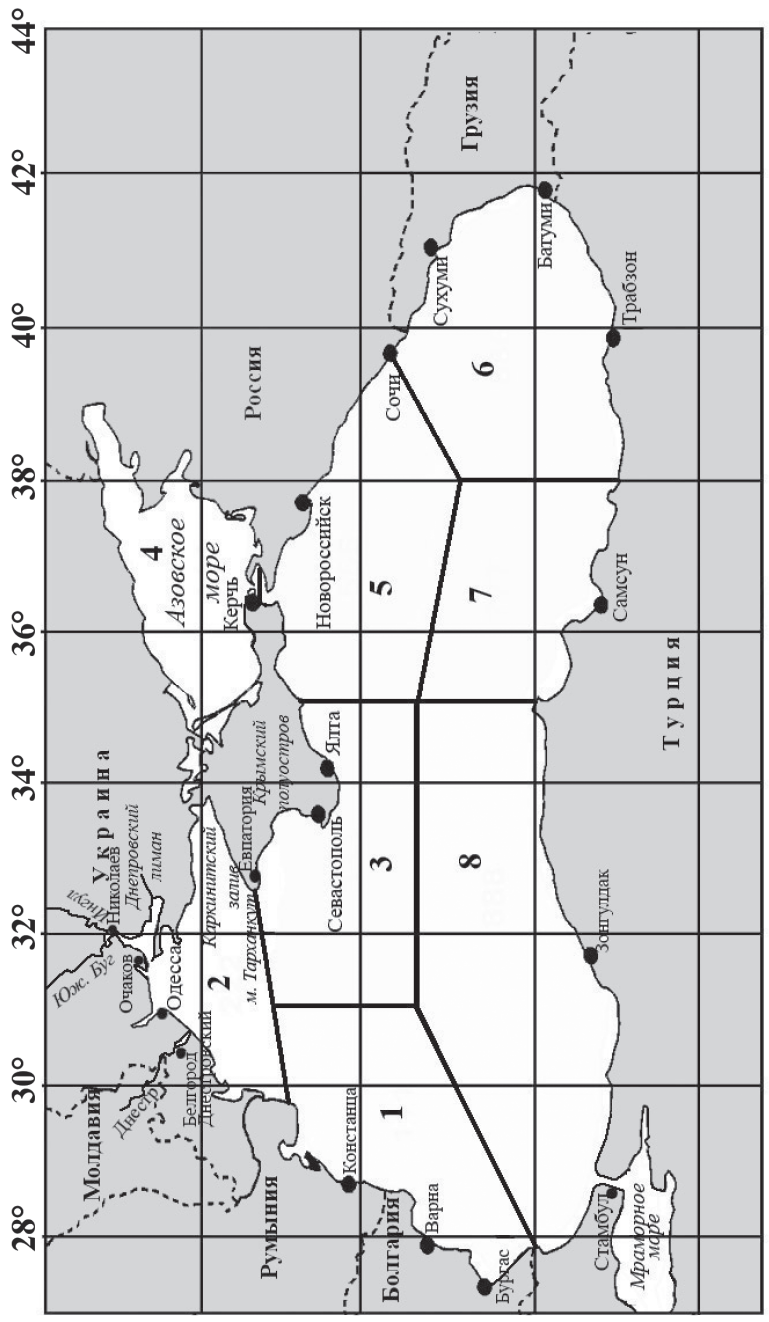


Рис. 6.1. Районирование Черного моря:

1 – западный район, 2 – северо-западный район, 3 – северный район, 4 – Азовское море, 5 – северо-восточный район, 6 – юго-восточный район, 7 – южный район, 8 – юго-западный район.

со средиземноморским (теплая влажная зима, жаркое и сухое лето). Юго-восточный район моря, защищенный горами, характеризуется климатом влажных субтропиков (обилие осадков, теплая зима и жаркое лето).

Основные сезонные особенности погоды в средиземноморском климатическом регионе, и в частности над Черным морем, определяются взаимодействием сибирского и азорского максимумов. Ледовый режим отличается большой изменчивостью условий и в течение зимы, и от года к году. Лед наблюдается в основном в северо-западной части Черного моря, в умеренные и суровые зимы небольшое количество льда появляется в западном и северо-восточном районах моря [37, 44].

Ветровой режим. Летом над всем Черным морем преобладают северо-западные ветры. Их средняя скорость над открытым морем равна 3–5 м/с, а над побережьем – 2–5 м/с. Скорость ветра уменьшается с запада на восток. Сильные, в особенности штормовые, ветры летом наблюдаются редко. Они возникают при прохождении циклонов. Режим ветра меняется от сезона к сезону. Над открытой частью моря зимой и осенью преобладают северо-восточные ветры со средней месячной скоростью 7–8 м/с. На побережье преобладают северные, восточные и северо-восточные ветры, суммарная повторяемость которых составляет для разных пунктов от 40 до 55 %. Сильные ветры ($\geq$15 м/с) связаны главным образом с прохождением циклонов над морем.

Температура воздуха. Температура воздуха зимой понижается от открытого моря к берегам до –2 °С на северо-западе, до 0 °С на северо-востоке и до 4...5 °С на юго-востоке. Минимальная среднемесячная температура воздуха над центральной частью моря редко бывает ниже 0 °С, в северо-западной части она достигает –5...–4 °С.

Период отрицательной температуры воздуха зимой в северо-западном районе может продолжаться от 30 до 120 суток. Самыми холодными месяцами являются январь и февраль. Самые низкие наблюденные температуры воздуха у северного побережья моря в эти месяцы составляют –30...–25 °С, у южного побережья эти величины равны –10...–5 °С. Летом поле температуры воздуха над морем довольно однородно: средняя месячная температура воздуха в августе составляет 21...22 °С на северо-западе моря, 23...24 °С – в центре, на юге и на востоке моря.

Температура воды. Температура воды в самые холодные месяцы (январь-февраль) в мелководном северо-западном районе Черного моря составляет –1,0...–0,5 °С у берегов и 5...7 °С – в открытой части. В области больших глубин в центральной части моря температура воды на поверхности в это время года равна 7...8 °С, а на юго-востоке моря – 8,5 °С. Глубинные воды круглый год имеют температуру 8...9 °С. Летом вода на поверхности моря прогревается до 25...26 °С.

Соленость воды. Средняя соленость поверхностного слоя центральной и северо-западной частей Черного моря 16–18 ‰. На глубине 150–200 м соленость увеличивается до 21–22 ‰. Величины поверхностной солености изменяются по сезонам, что отчетливо проявляется в опресняемых районах.

Зимой соленость несколько повышена в связи с уменьшением притока речных вод в море. В северо-западной части моря увеличению солености способствует льдообразование. В устьевых участках рек весной соленость на поверхности уменьшается до 8–10 ‰, местами до полного опреснения [37, 44].

Течения. Движение поверхностных вод обусловливается как ветрами, так и речным стоком. Поверхностные воды Черного моря циркулируют вдоль берегов против часовой стрелки. На северо-западе Черного моря основной силой, которая приводит к перемещению поверхностных вод, является ветер. При наиболее часто повторяющихся северо-восточных и восточных ветрах в Черном море отчетливо прослеживается циклоническое кольцо течений (основное Черноморское течение), ветви которого, идущие вдоль Крымского п-ова, заходят в северо-западную часть моря. Под влиянием ветра и речного стока основной поток, следуя направлению берега, вблизи устья Дуная усиливается. Иногда при сильных западных и юго-западных ветрах поверхностные течения образуют антициклонический круговорот. При этом скорость течений уменьшается. При отсутствии ветра наблюдается циклоническая система течений. Скорость течений может достигать 35–40 см/с, а в районах устьев рек – до 50 см/с. На рис. 6.2 приведена схема поверхностных течений Черного моря [29, 77].

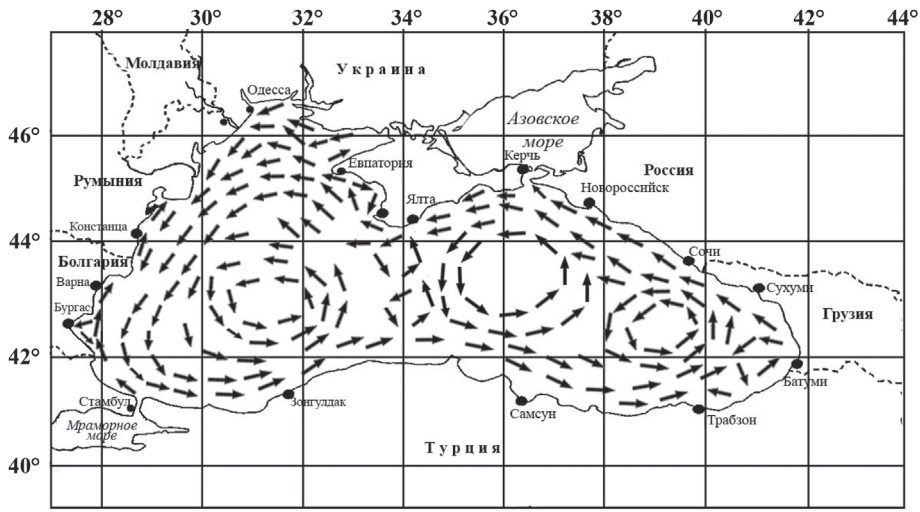


Рис. 6.2. Схема поверхностных течений Черного моря.

Уровень моря. Из всех видов колебаний уровня моря на Черном море наибольшее значение имеют сгонно-нагонные колебания, связанные со штормовой деятельностью. Особенно активно они проявляются с октября по февраль в северо-западной и западной частях моря и достигают высоты 1,5 м. Продолжительность сгонно-нагонных явлений здесь составляет 3–5 суток. Сейши на Черном море незначительны по высоте и не превышают 60 см. Приливно-отливные колебания неправильные полусуточные, высотой 8–10 см.

Волнение. Сильные ветры, дующие над Черным морем преимущественно осенью и зимой, развивают интенсивное волнение. В прибрежных районах северо-западной части моря (на подходах к Днепро-Бугскому лиману) в зимнее время преобладают волны высотой 0,5–1,0 м. При штормовых ветрах юго-восточных направлений (более 20 м/с) высота волн может достигать 2,5–3,0 м. Повторяемость такого волнения не более 3 %. Преобладающие зимой ветры северо-восточного направления иногда достигают скорости 20–30 м/с, однако на северо-западе Черного моря они не вызывают опасного волнения из-за малого разгона волн. Волны высотой 6,0 м и более наблюдаются на акватории Черного моря редко, повторяемость их не превышает 1 % [37, 44].

6.2. Факторы, обусловливающие состояние ледяного покрова Черного моря

Северо-западный район, южная граница которого проходит по линии м. Тарханкут – устье р. Дунай, отличается от остальных районов Черного моря малыми глубинами, наличием мелководных заливов, небольшой соленостью, связанной с выносом речных вод, равнинным характером прилегающей суши, обеспечивающим свободный доступ вторжению воздушных масс, преобладанием ветров северо-восточной четверти. Все это способствует образованию льда в зимний период. С другой стороны, выход средиземноморских циклонов, сильные ветры, свободное сообщение с водами открытого моря, волнение, подток придонных вод при сгонах препятствуют образованию льда и установлению припая в северо-западном районе. Совокупное влияние этих факторов приводит к значительным колебаниям ледовитости Черного моря, наиболее резкие из которых зависят от изменчивости погодных условий.

Атмосферные процессы определяют суровость зим. Воздушные потоки северных румбов приносят в район моря холодный и сухой воздух из северных областей, т.е. суровые зимы связаны с ослаблением зональной и усилением меридиональной циркуляции над Западной Европой и европейской частью России.

При ослаблении меридионального переноса, вызывающего адвекцию холода из высоких широт, и усилении зональной циркуляции над Западной Европой, Северной Атлантикой и европейской частью России, на Черное море распространяется адвекция тепла и влаги с океана и Средиземного моря, создавая аномально теплые зимние условия. Умеренные зимы характеризуются относительно равномерным чередованием похолоданий и потеплений, вызванных сменой меридиональных и зональных процессов.

Теплозапас моря и температура воздуха в период, предшествующий ледообразованию, определяет первое появление льда. Показателем теплозапаса может служить температура воды в момент перехода температуры воздуха через 0 °С в сторону отрицательных значений. Адвекция тепла, вызванная поступлением теплых водных масс открытого моря в северо-западную часть Черного моря, задерживает начало ледообразования. Волнение также

задерживает ледообразование, способствуя перемешиванию воды. Изменчивость солености моря влияет на колебания температуры замерзания воды. С увеличением солености температура замерзания морской воды понижается, задерживая тем самым сроки образования льда в море.

На перераспределение льда по акватории района оказывают влияние направление и скорость ветра, течения и волнение. Сплоченность льда в большой мере зависит от силы и направления ветра. Весной под действием ветра ускоряются взлом и разрушение припая. Господствующие в холодный сезон года в северо-западной части моря ветры северного и северо-восточного направлений способствуют отрыву припая и образованию дрейфующего льда, который под действием течений и ветра дрейфует в южном направлении [37, 56].

6.3. Типизация зим по степени суровости в Черном море

Для Черного моря по 100-летнему периоду наблюдений (с ледового сезона 1900/1901 гг. по сезон 1999/2000 гг.) по данным Одессы (Украина) рассчитаны интервалы критериев суровости зим по суммам градусодней мороза (в °С):

– мягкая зима <35;
– умеренная зима 35–250;
– суровая зима >250.

Средняя за весь период наблюдений сумма градусодней мороза (СГДМ) составила 155 °С (средняя за 100-летний период в XX в. – 146 °С) , максимальная – 639 °С (1953/1954 гг.), минимальная – 0 °С (наблюдалась в 12 % случаев).

За 131-летний период наблюдений за СГДМ (с зимнего сезона 1881/1882 гг. по сезон 2011/2012 гг.) были выявлены 30 мягких и 30 суровых зим (23 и 23 % соответственно). За 100-летний период наблюдений за температурой воздуха на Черном море (с зимнего сезона 1900/1901 гг. по сезон 1999/2000 гг.) были выявлены 23 мягких и 22 суровых зимы (23 и 22 % соответственно). За последний 30-летний период (с зимнего сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг.) наблюдалось 10 мягких зим и только 4 суровые зимы (33 и 13 % соответственно); за 12 лет XXI века – 5 мягких зим и одна суровая зима (42 и 8 % соответственно).

В табл. 6.1 представлены результаты типизации зим по суровости в Одессе за 131-летний период.

По данным ГМС Одесса, для мягкой зимы в большой степени соответствующим типовым характеристикам (по средним в группах типовых зим значениям СГДМ и изменчивости среднемесячных температур воздуха) оказался ледовый сезон 2008/2009 гг., для умеренной зимы – 2009/2010 гг., для суровой 1963/1964 годов.

На рис. 6.3 и 6.4 представлена ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине декабря 1963 г. (суровая зима) и 1953 г. (самая суровая зима) в Черном море. В мягкую зиму 2008/2009 гг. и умеренную зиму 2009/2010 гг. в середине декабря лед на северо-западе Черного моря не наблюдался. Условные обозначения ледовых характеристик на картах соответствуют «Номенклатуре

морских льдов». Раскраска на рис. 6.3–6.13 – по зимней шкале – по преобладающей возрастной характеристике дрейфующего льда [76].

Таблица 6.1

Типизация зим в Одессе (М – мягкая зима, У – умеренная зима, С – суровая зима)

Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы
1881/82	У	1914/15	М	1947/48	У	1980/81	М
1882/83	С	1915/16	М	1948/49	У	1981/82	У
1883/84	У	1916/17	У	1949/50	С	1982/83	М
1884/85	У	1917/18	У	1950/51	М	1983/84	У
1885/86	У	1918/19	У	1951/52	М	1984/85	С
1886/87	У	1919/20	М	1952/53	У	1985/86	У
1887/88	С	1920/21	У	1953/54	С	1986/87	С
1888/89	С	1921/22	С	1954/55	М	1987/88	У
1889/90	С	1922/23	У	1955/56	У	1988/89	М
1890/91	С	1923/24	С	1956/57	У	1989/90	М
1891/92	У	1924/25	У	1957/58	М	1990/91	М
1892/93	С	1925/26	У	1958/59	У	1991/92	У
1893/94	У	1926/27	У	1959/60	У	1992/93	У
1894/95	М	1927/28	С	1960/61	У	1993/94	У
1895/96	С	1928/29	С	1961/62	М	1994/95	У
1896/97	У	1929/30	М	1962/63	С	1995/96	С
1897/98	У	1930/31	У	1963/64	С	1996/97	У
1898/99	М	1931/32	С	1964/65	У	1997/98	М
1899/00	У	1932/33	У	1965/66	М	1998/99	У
1900/01	У	1933/34	С	1966/67	У	1999/00	У
1901/02	М	1934/35	С	1967/68	У	2000/01	М
1902/03	У	1935/36	М	1968/69	С	2001/02	У
1903/04	У	1936/37	У	1969/70	М	2002/03	С
1904/05	У	1937/38	У	1970/71	М	2003/04	М
1905/06	М	1938/39	У	1971/72	С	2004/05	У
1906/07	С	1939/40	С	1972/73	У	2005/06	У
1907/08	У	1940/41	У	1973/74	У	2006/07	М
1908/09	С	1941/42	С	1974/75	М	2007/08	М
1909/10	М	1942/43	У	1975/76	У	2008/09	М
1910/11	С	1943/44	У	1976/77	У	2009/10	У
1911/12	У	1944/45	У	1977/78	У	2010/11	У
1912/13	У	1945/46	У	1978/79	У	2011/12	У
1913/14	У	1946/47	С	1979/80	У		

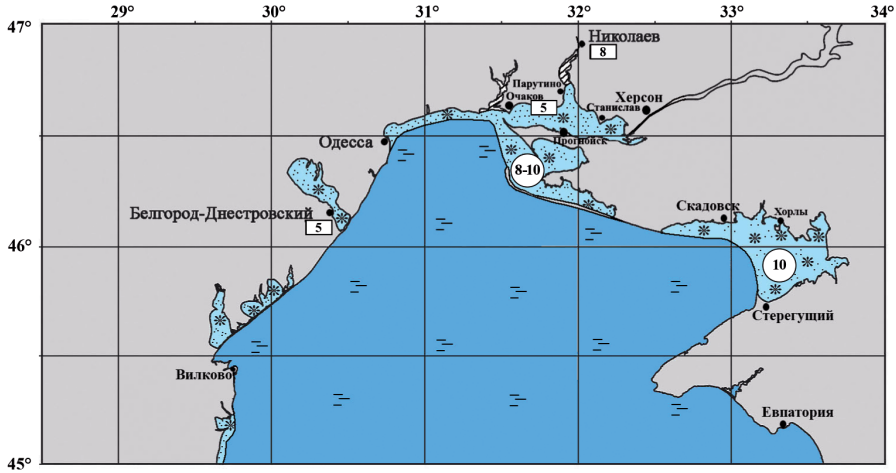


Рис. 6.3. Ледовая обстановка в Черном море в декабре 1963 года. Суровая зима.

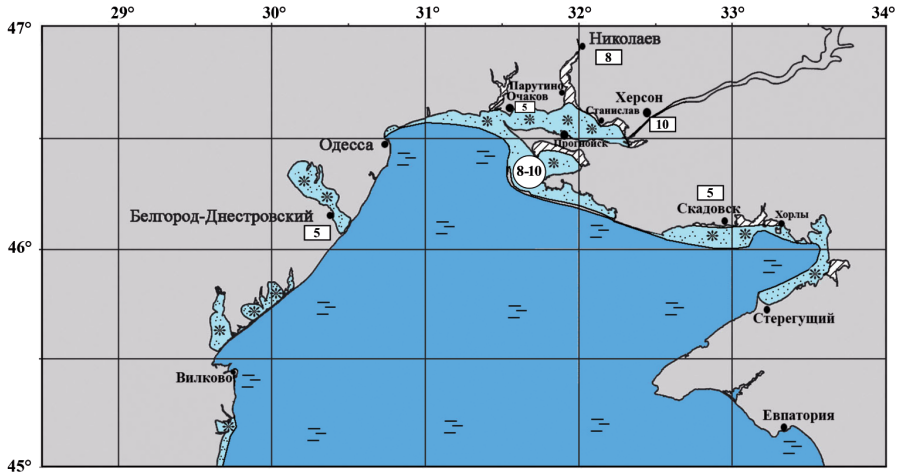


Рис. 6.4. Ледовая обстановка в Черном море в декабре 1953 года. Самая суровая зима.

В табл. 6.2 приведена информация о преобладающих характеристиках ледовой обстановки на трассе Николаев – Очаков – Одесса (Украина) в январе.

На рис. 6.5–6.8 представлена ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине января 2009, 2010,1964 и 1954 гг. в Черном море.

В табл. 6.3 приведена информация о преобладающих характеристиках ледовой обстановки на трассе Николаев – Очаков – Одесса в феврале.

На рис. 6.9–6.13 представлена ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине февраля-марта 2010,1964 и 1954 гг. в Черном море. В середине февраля-марта 2009 г. (мягкая зима) и в середине марта 2010 г. (умеренная зима) Черное море было свободно ото льда.

Таблица 6.2

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Николаев – Очаков – Одесса в январе

Участок трассы	Николаев – Парутино (Бугский лиман)	Парутино–Очаков	Очаков–Одесса
Мягкая зима			
Толщина припая, см	5–10 (в вершине лимана)	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	9–10	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	нилас, начальные виды	чисто	чисто
Умеренная зима			
Толщина припая, см	10–20 (весь участок трассы)	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	10	2–4
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	нилас, начальные виды	нилас, начальные виды
Суровая зима			
Толщина припая, см	20–30 (весь участок трассы)	20–30 (весь участок трассы)	10–20 (район Одессы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	–	5–9
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	–	нилас, начальные виды
Самая суровая зима			
Толщина припая, см	25–35 (весь участок трассы)	25–35 (весь участок трассы)	15–25 (район Одессы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	–	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	–	нилас, начальные виды

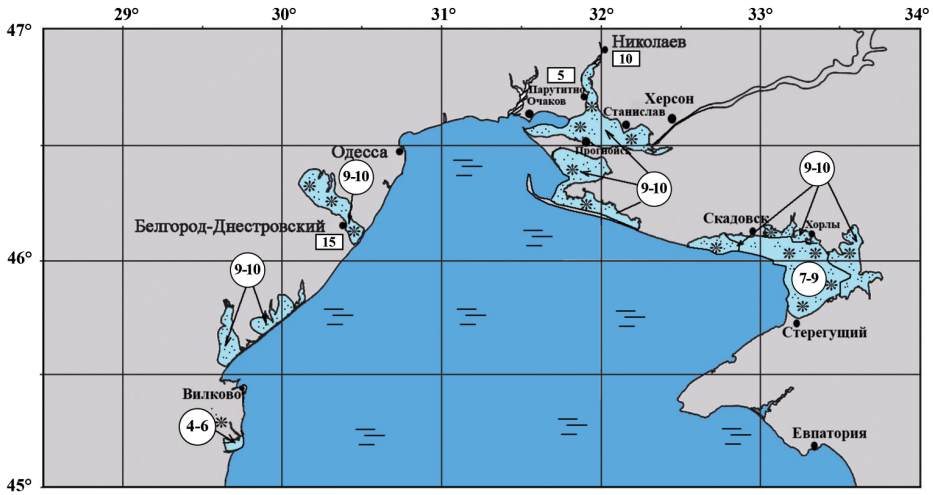


Рис. 6.5. Ледовая обстановка в Черном море в январе 2009 года. Мягкая зима.

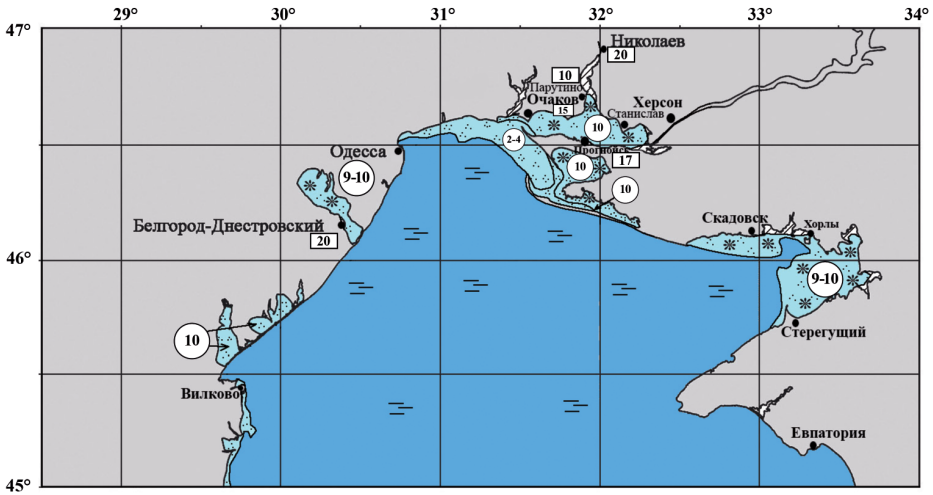


Рис. 6.6. Ледовая обстановка в Черном море в январе 2010 года. Умеренная зима.

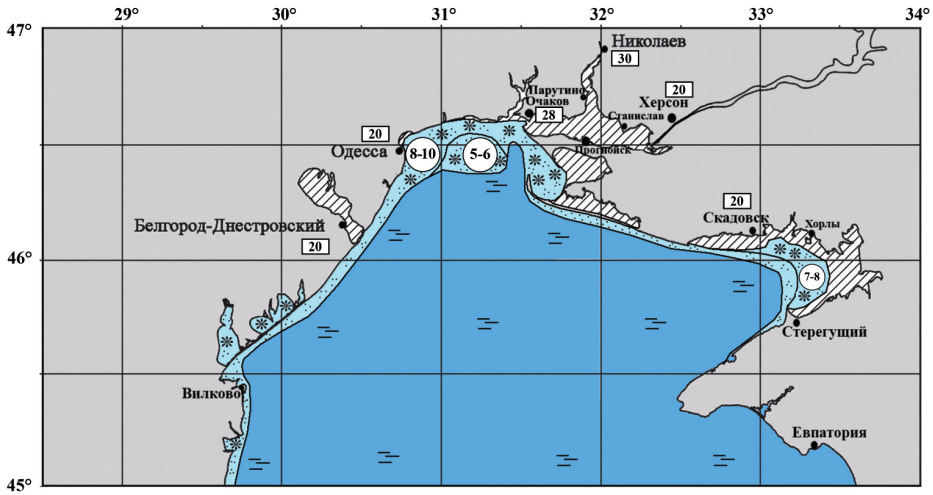


Рис. 6.7. Ледовая обстановка в Черном море в январе 1964 года. Суровая зима.

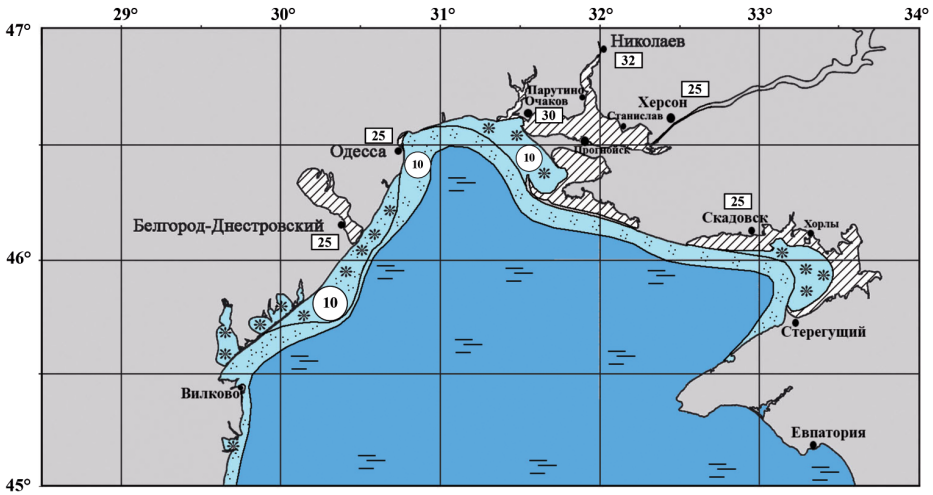


Рис. 6.8. Ледовая обстановка в Черном море в январе 1954 года. Самая суровая зима.

Таблица 6.3

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе Николаев – Очаков – Одесса в феврале

Участок трассы	Николаев – Парутино (Бугский лиман)	Парутино–Очаков	Очаков–Одесса
Мягкая зима			
Толщина припая, см	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	чисто	чисто	чисто
Умеренная зима			
Толщина припая, см	20–30 (в вершине лимана)	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	7–10	7–10	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый, нилас	серый, нилас	чисто
Суровая зима			
Толщина припая, см	30–40 (весь участок трассы)	30–40 (весь участок трассы)	20–30 (район Одессы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	–	8–10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	–	серый, нилас
Самая суровая зима			
Толщина припая, см	35–45 (весь участок трассы)	35–45 (весь участок трассы)	25–35 (район Одессы)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	–	10
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	–	серый, нилас

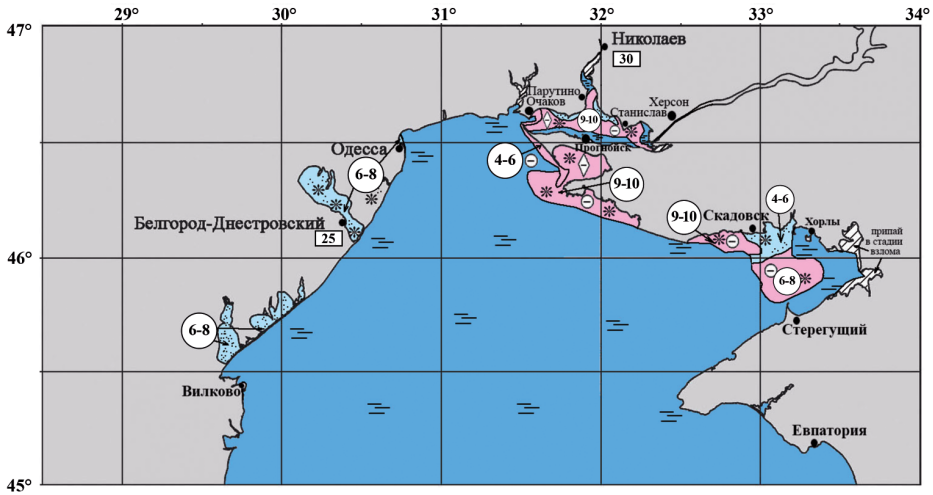


Рис. 6.9. Ледовая обстановка в Черном море в феврале 2010 года. Умеренная зима.

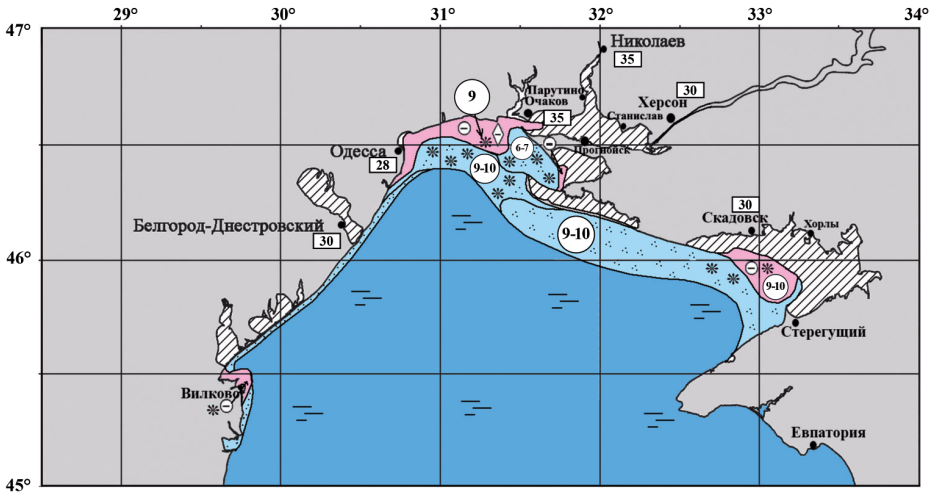


Рис. 6.10. Ледовая обстановка в Черном море в феврале 1964 года. Суровая зима.

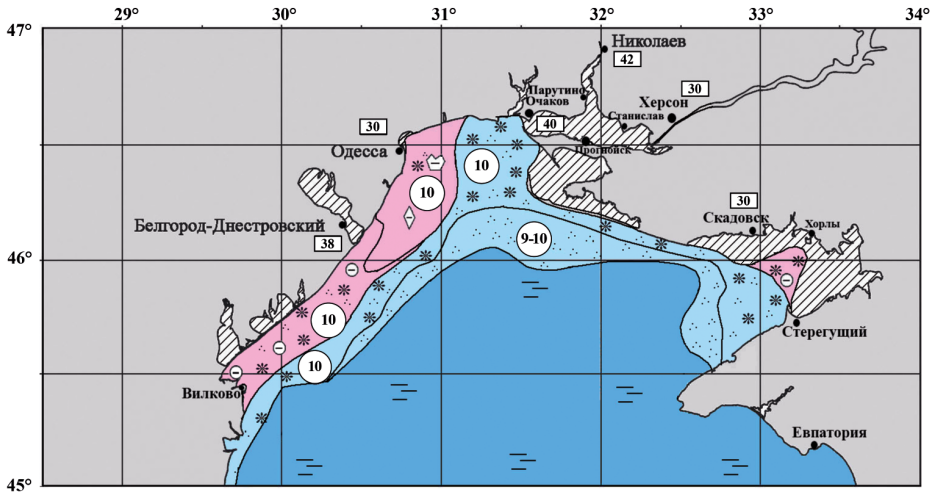


Рис. 6.11. Ледовая обстановка в Черном море в феврале 1954 года. Самая суровая зима.

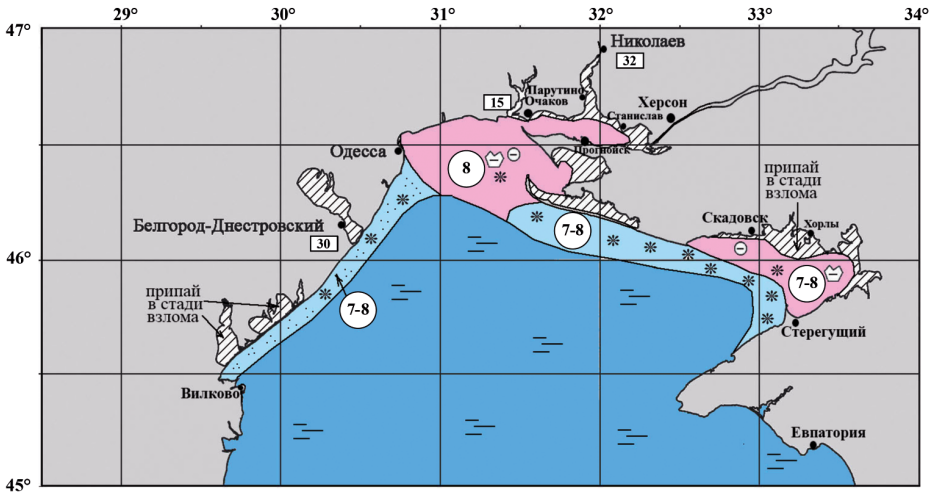


Рис. 6.12. Ледовая обстановка в Черном море в марте 1964 года. После суровой зимы.

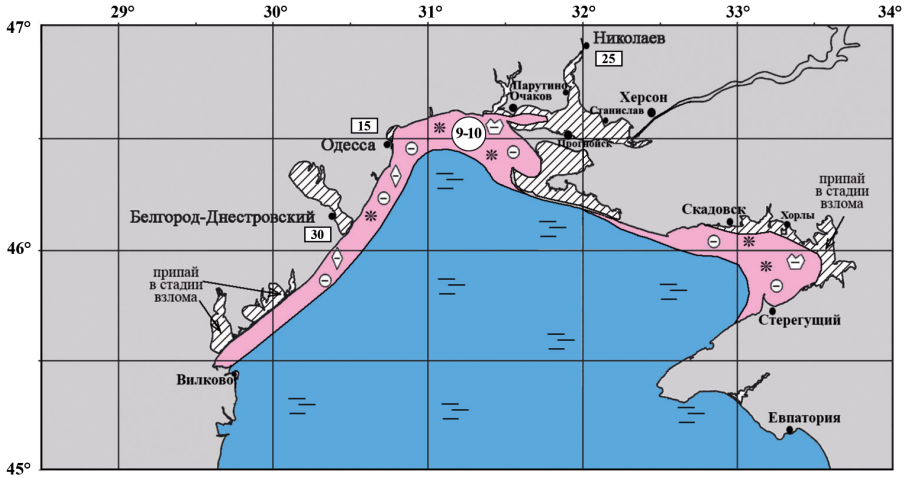


Рис. 6.13. Ледовая обстановка в Черном море в марте 1954 года. После самой суровой зимы.

Следует отметить, что в первой половине марта 1964 г. средняя суточная температура воздуха в Одессе составила в среднем –3,7 °С, в то время как в 1954 г. (после экстремально суровой зимы) весна была более дружной, и средняя температура за первые 15 дней марта составила 0,5 °С. В связи с этим к середине марта 1964 г. толщины припайного льда на северо-западе Черного моря мало изменились, по сравнению с февральскими толщинами, а в зонах дрейфующего льда продолжалось образование начальных видов льда (рис. 6.12). К середине же марта 1954 г. толщина припайного льда уменьшилась на 7–17 см, кроме того, среди дрейфующего льда вытаяли начальные виды льда и нилас (рис. 6.13).

6.4. Ледообразование в Черном море

В табл. 6.4 приведены даты наступления ледовых фаз по данным украинских ГМС Черного моря. Анализ осуществлен за полные ряды наблюдений по станциям (86–91 год) и за последние 30 лет.

Большие значения СКО указывают на значительную межгодовую изменчивость основных ледовых характеристик, что является обычным для морей с неустойчивым ледовым режимом.

В табл. 6.5 приведены даты первого появления льда, окончательного очищения моря ото льда и продолжительности ледового периода для первых 12 лет XXI века.

Лед в северо-западной части Черного моря наблюдается ежегодно. Сроки появления льда сильно колеблются и в большой степени зависят от погодных условий и географического места.

Таблица 6.4

Даты наступления основных ледовых фаз на северо-западе Черного моря

Характерные даты	Первое появление льда	Появление припая	Первый взлом припая	Исчезновение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
НИКОЛАЕВ (с сезона 1926/1927 гг. по сезон 2011/2012 гг.– 86 лет). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – 3 %.						
Средняя	16.12	24.12	22.02	9.03	12.03	87
Ранняя	9.11 (1953)	25.11 (1935)	28.11 (1965)	17.01 (2009)	23.01 (1990)	25 (1980/81)
Поздняя	3.02 (1975)	24.02 (2007)	3.04 (1932)	3.04 (1929, 1932)	17.04 (1929)	142 (1953/54)
СКО	18	18	29	18	17	25
НИКОЛАЕВ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – 3 %.						
Средняя	20.12	31.12	10.02	27.02	5.03	76
Ранняя	15.11 (1983)	27.11 (1999)	29.12 (1997)	17.01 (2009)	23.01 (1990)	34 (1988/89)
Поздняя	31.01 (2005)	24.02 (2007)	29.03 (1996)	1.04 (1985)	6.04 (1987)	120 (1995/96)
СКО	18	21	26	21	19	24
ОЧАКОВ (с сезона 1925/1926 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 87 лет). Повторяемость отсутствия льда – 3 %. Повторяемость отсутствия припая – 18 %.						
Средняя	21.12	29.12	16.02	4.03	9.03	79
Ранняя	18.11 (1993)	21.11 (1945)	22.12 (1933)	16.01 (1962)	18.01 (1989)	11 (1965/66, 2006/07)
Поздняя	24.02 (2007)	8.03 (1952)	27.03 (1929)	9.04 (1929)	19.04 (1929)	139 (1931/32)
СКО	20	23	22	21	18	30
ОЧАКОВ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия льда – 7 %. Повторяемость отсутствия припая – 30 %.						
Средняя	30.12	6.01	9.02	14.02	27.02	60
Ранняя	18.11 (1993)	25.11 (1993)	29.12 (2001)	26.01 (2002)	18.01 (1989)	11 (2006/07)
Поздняя	24.02 (2007)	7.02 (2005)	26.03 (1996)	26.03 (1996)	4.04 (1985)	113 (1993/94)
СКО	19	23	22	18	20	29

Характерные даты	Первое появление льда	Появление припая	Первый взлом припая	Исчезновение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
ОДЕССА (с сезона 1922/1923 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 90 лет). Повторяемость отсутствия льда – 22 %. Повторяемость отсутствия припая – 50 %.						
Средняя	9.01	14.01	12.02	19.02	25.02	48
Ранняя	4.12 (1998)	12.12 (1927)	29.12 (1948)	29.12 (1948)	4.01 (1970, 1999)	1 (1935/36)
Поздняя	5.03 (1955)	10.03 (1952)	17.03 (1954)	29.03 (1929)	2.04 (1985)	109 (1927/28)
СКО	21	20	19	26	23	31
ОДЕССА (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия льда – 40 %. Данные о припае отсутствуют с 1978 года.						
Средняя	10.01	н.с.	н.с.	н.с.	18.02	39
Ранняя	4.12 (1998)	н.с.	н.с.	н.с.	4.01 (1999)	1 (2003/04)
Поздняя	8.02 (1998)	н.с.	н.с.	н.с.	2.04 (1985)	91 (1984/85)
СКО	21	н.с.	н.с.	н.с.	26	31

Примечание. «Н.с.» – нет сведений, СКО – среднее квадратическое отклонение.

Таблица 6.5

Средние даты наступления ледовых фаз на северо-западе Черного моря по 12-летнему ряду наблюдений в XXI веке

ГМС	Первое появление льда	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
Николаев	31.12	5.03	64
Очаков	8.01	26.02	49
Одесса	17.01	18.02	31

Появление льда происходит при понижении температуры воды до температуры замерзания, значения которой различны для всех станций. В Скадовске, Стерегущем, Хорлах, как показывают наблюдения, лед чаще всего появляется при температуре воды от –0,8 до –1,1 °С. Однако были случаи, когда появление льда отмечалось уже при 0 °С. В Евпатории, в районах Тендровского маяка, Новороссийска и Феодосии лед появляется при понижении температуры воды до –1,1...–1,0 °С. При температуре воды от –0,6 до –0,9 °С появляется лед в Одессе. Наиболее высокая температура замерзания отмечается и Очакове (–0,2...–0,1 °С), где низкие значения солености.

На рис. 6.14 и 6.15 приведены карты изохрон ранних и средних сроков первого появления льда на Черном море.

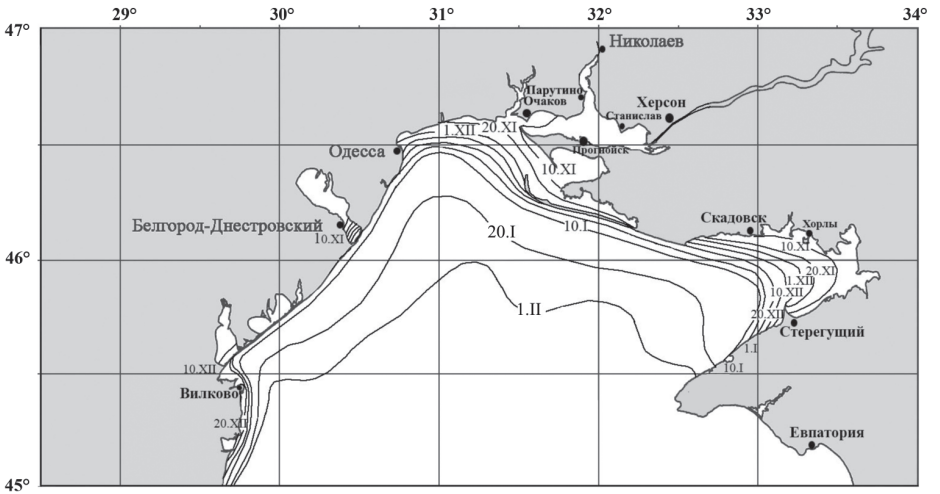


Рис. 6.14. Ранние сроки начала образования льда на Черном море.

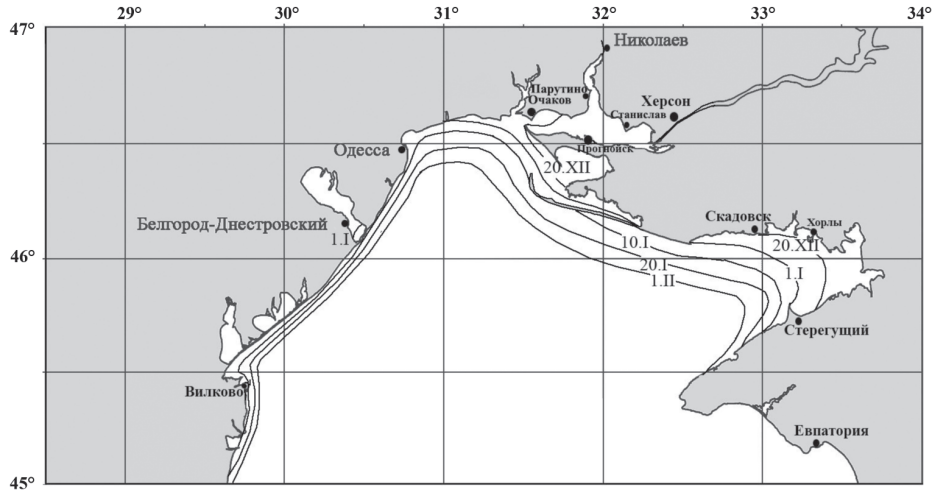


Рис. 6.15. Средние сроки начала образования льда на Черном море.

Первое появление льда в северо-западной части моря в среднем происходит в середине декабря – начале января (рис. 6.15). Ранее всего лед образуется в мелких бухтах и лиманах. Затем лед появляется у побережья Днепро-Бугского лимана и на севере Каркинитского залива. В конце декабря – середине января (в среднем через 9–14 дней после первого появления льда) в вершинах Каркинитского залива и Днепро-Бугского лимана образуется припай.

В открытой части моря ледообразование начинается обычно в середине января. В открытых районах моря первый лед может быть как местным, так и приносным, что особенно характерно для районов Одессы и Тендры, куда ветер северного и северо-восточного направлений приносит лед из восточных районов. В Феодосии первый лед может быть приносным из Керченского пролива; у Стерегущего – из Джарылгачского залива; в Вилково первый лед чаще всего связан с ледоходом на реке Дунай.

Раннее ледообразование в районе Днепро-Бугского лимана возможно в первой декаде ноября, а в открытой части моря – в конце декабря – начале января. Положение изохроны для 1 февраля на рис. 6.14 соответствует ледовой обстановке, наблюдавшейся на Черном море в экстремально суровую зиму 1953/1954 годов. Максимальная ледовитость моря (60–62 %) отмечалась сравнительно недолго – в течение двух декад: третьей декады января и первой декады февраля. Во второй декаде февраля она уменьшилась до 54 % (см. рис. 6.11), а в третьей декаде февраля – до 43 %.

При позднем ледообразовании первый лед на некоторых станциях может появляться в феврале или даже в марте. Например, в Одессе самое позднее появление льда отмечено 5 марта 1955 года.

Даты первого появления припая, так же как и даты первого ледообразования, отличаются большой неустойчивостью. Для Черного моря характерно неоднократное появление и исчезновение льда в течение зимы. Количество очищений за зиму по всем станциям в среднем составляет 2–4, но иногда достигает 10 и более. Также может исчезать и вновь появляться припай. Ежегодное образование припая наблюдается лишь в лиманах и заливах в северо-западной части моря.

Как показывает анализ табл. 6.4, в последнее 30-летие первое появление льда в районах Николаева и Очакова запаздывает на 4–9 дней, по сравнению со среднемноголетними датами. В Одессе средняя дата появления льда почти не изменилась, при этом повторяемость случаев, когда лед в порту не образовывался, увеличилась в 1,8 раза (с 22 до 40 %). Даты очищения северо-западной части Черного моря ото льда сдвинулись в сторону более ранних сроков на 7–10 дней, а продолжительность ледового периода уменьшилась в среднем на 9–19 дней.

Анализ табл. 6.4 и 6.5 показывает, что в течение первых 12 лет XXI века даты появления льда на северо-западе Черного моря сместились в сторону более поздних сроков на 8–18 дней, а даты очищения моря ото льда – в сторону более ранних сроков на 7–11 дней. При этом продолжительность ледового периода сократилась на 17–23 дня.

6.5. Нарастание и распространение льда в Черном море

Следствием неустойчивости ледяного покрова в северо-западной части моря являются большие расхождения между продолжительностью ледового периода (данные о котором приведены в табл. 6.4 и 6.5) и количеством дней в ледовый сезон со льдом. Чаще всего дней со льдом в ледовый сезон бывает на 15–25 меньше, чем продолжительность ледового периода. Продолжительность ледового сезона колеблется в очень широких пределах в зависимости от района моря и типа зимы. В самую суровую зиму 1953/1954 гг. продолжительность ледового сезона в Николаеве составила 142 дня, в Очакове – 128 дней, в Одессе – 102 дня, а уже в следующую мягкую зиму 1954/1955 гг. продолжительность ледового сезона в Николаеве и Очакове составила 99 дней, в Одессе – 2 дня.

В табл. 6.6 приведены данные о ледовитости северо-западного района Черного моря.

Таблица 6.6

Среднемесячная (осредненная по трем декадам) ледовитость северо-западного района Черного моря за весь период наблюдений, за последние 30 лет и за первые 12 лет XXI века (%)

Месяц	XII	I	II	III	IV	V
с сезона 1949/1950 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 63 года						
Средняя	2	9	11	3	0	0
Макс.	15	42	54	33	0	0
Мин.	0	0	0	0	0	0
СКО	3	8	11	6	–	–
с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет						
Средняя	2	7	9	2	0	0
Макс.	15	20	27	33	0	0
Мин.	0	0	0	0	0	0
СКО	3	5	8	6	–	–
с сезона 2000/2001 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 12 лет						
Средняя	3	5	9	1	0	0
Макс.	15	10	27	7	0	0
Мин.	0	0	0	0	0	0
СКО	2	3	7	2	–	–

Ледовитость северо-западной части Черного моря хорошо согласуется с температурой воздуха над этим районом. В основном ледовитость моря равномерно возрастает с декабря по февраль, достигает в первой половине февраля наибольших значений, а затем идет постоянное уменьшение ее с середины февраля до момента полного очищения в марте – начале апреля. Средняя многолетняя ледовитость северо-западного района моря в феврале

составляет 11 %, максимальная – 54 % (ледовый сезон 1953/1954 гг.). В мягкие зимы в любой период времени с декабря по март среднемесячная ледовитость моря может составлять 0 %.

Иногда наблюдаются резкие кратковременные колебания ледовитости, особенно в суровые зимы. Волна холода над северным районом моря способна в течение нескольких дней увеличить ледовитость в четыре-пять раз. Последующая за тем волна тепла может так же резко уменьшить ледовитость или совсем очистить акваторию ото льда. Так, например, зимой 1971/1972 гг. в период с 18 по 27 января (за 10 дней) ледовитость северо-западного района моря возросла с 17 до 40 %. Зимой 1953/1954 гг. в течение двух недель (с 9 по 26 января) ледовитость увеличилась в 2,7 раза (с 20 до 54 %). В суровую зиму 1984/1985 гг. в середине февраля ледовитость северо-западного района моря составляла 15 %, а наибольшая за ледовый сезон ледовитость наблюдалась в конце февраля – первой декаде марта (40–43 %). Резкие колебания ледовитости являются характерной чертой ледового режима Черного моря.

Ледовитость и положение кромки льда в море подвержены кратковременным колебаниям, согласующимся со сменой естественных синоптических периодов над морем. Более длительные колебания обусловлены сезонными и межгодовыми особенностями атмосферных процессов, определяющими суровость зим в этом районе. На рис. 6.16 представлены границы среднего многолетнего и максимального распространения льда в море на середину месяца для декабря–марта.

В середине декабря, как правило, почти весь северо-западный район моря свободен ото льда. В это время лед наблюдается только в вершине Днепровского лимана (средняя дата первого появления льда в Николаеве – 16 декабря). При раннем ледообразовании в это время лед может наблюдаться в небольшой части моря: районы вблизи Днепровского лимана, часть Каркинитского залива, Днестровский лиман (рис. 6.16 а).

В умеренные зимы лед в середине января может наблюдаться в Днепро-Бугском лимане, занимать значительную часть Каркинитского залива и весь Днестровский лиман. В суровые зимы кромка льда может сместиться к югу относительно средней кромки на 15–25 км. Лед появляется вдоль западного побережья, вплоть до устья Дуная. Почти весь Каркинитский залив занят льдом (рис. 6.16 б).

Наибольшего развития лед достигает в феврале. В умеренные зимы лед в середине февраля наблюдается в Днепро-Бугском и Днестровском лиманах, к югу от Тендровской косы, а также занимает почти весь Каркинитский залив. В суровые зимы кромка льда может сместиться к югу относительно средней кромки на 35–50 км (см. рис. 6.16 в).

В отдельные суровые зимы лед может присутствовать в районе Констанцы (Румыния). Дрейфующий лед может наблюдаться вдоль всего западного побережья Черного моря до Босфора. Так, в короткую, но суровую зиму 1928/1929 гг. в феврале припай шириной 0,9–1,1 км наблюдался у болгарских берегов. Северными ветрами лед относился к Варне и Бургасу,

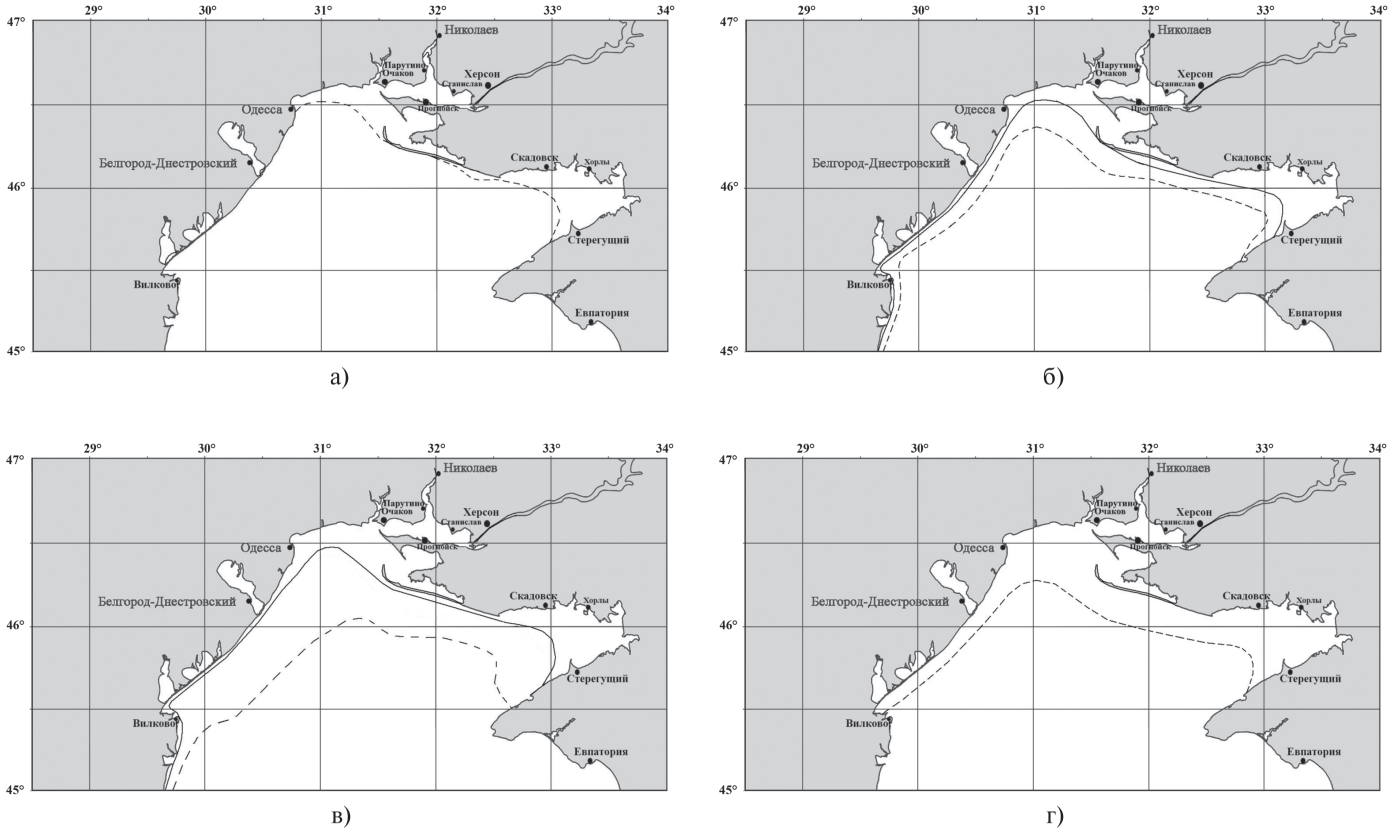


Рис. 6.16. Положение границ льда на северо-западе Черного моря на середину месяца:
——— – среднее; – – – – – максимальное; декабрь (а), январь (б), февраль (в), март (г).

где создавались более тяжелые ледовые условия, чем на севере. В проливе Босфор (по данным летописей и системных гидрометеорологических наблюдений) лед наблюдался в суровые зимы 1010/1011, 1231/1232, 1407/1408, 1620/1621, 1754/1755, 1823/1824, 1849/1850, 1862/1863, 1928/1929 и 1953/1954 гг. в виде небольших льдин и ледяной каши. При устойчивых морозах в районе Босфора на несколько дней замерзали узкости пролива и бухта Золотой Рог. Повторяемость появления льда в проливе Босфор составляет около 2 % [8, 96].

Достигнув в феврале максимального развития, процесс ледообразования прекращается, и начинается таяние, в результате чего в умеренную зиму к середине марта, а в суровые зимы к концу марта – началу апреля северо-западная часть моря полностью очищается ото льда.

Для мягких зим характерно небольшое количество льда, который в течение зимы несколько раз появляется и исчезает. Обычно во второй половине декабря лед появляется только в Днепровском лимане, в январе покрываются дрейфующим льдом Днепровский лиман, Егорлыцкий, Тендровский и Джарылгачский заливы (см. рис. 6.5), а в феврале идут процессы таяния и очищения моря ото льда. В отдельные мягкие зимы припай на северо-западе Черного моря не образуется.

В северо-восточном и северном районах моря лед появляется в некоторые умеренные, а также в суровые зимы. Обычно это редкий и разреженный дрейфующий лед (мелкобитый и ледяная каша). Неширокие зоны ниласа образуются в Феодосийской, Анапской и Новороссийской бухтах. В очень редких случаях остатки тающих льдов наблюдаются у Судака и мыса Меганом.

В Севастопольской бухте лед в виде узких заберегов, шуги и блинчатого льда появлялся со стороны устья р. Черной в феврале 1911 г., феврале 1929 г., январе 1942 г., декабре 1946 г., феврале 1947 г., феврале 1950 г., феврале 1985 г., январе 2006 года. Лед в бухте обычно образуется при сильных северо-восточных и северных ветрах при температуре воздуха ниже –12 °С и температуре воды у м. Павловский, равной –1,0... –0,7 °С.

Для района, примыкающего к Керченскому проливу, характерен неустойчивый ледовый режим. Очень часто первый лед, появившийся в этом районе, является приносным. Несмотря на то, что продолжительность ледового сезона в некоторые годы достигает трех месяцев и более, число дней в ледовый период со льдом невелико.

В течение зимы лед в северо-восточном районе моря часто исчезает (через 1–10 суток после появления) и появляется вновь. Появление припая в северо-восточном районе моря явление очень редкое. Чаще всего неподвижный лед образуется в Анапе. В Феодосии и Новороссийске лед бывает редко: повторяемость его появления здесь не превышает 10 %.

Обычно в районе Феодосии в течение зимы наблюдается только одно появление льда. Однако в ледовый сезон 1946/1947 гг. (суровая зима) было отмечено два появления льда: 20 декабря, когда лед сохранялся 6 дней, и 1 февраля, когда лед сохранялся 4 дня. Продолжительность ледового сезона

в Феодосии изменяется от 1 до 27 дней. Наибольшее число дней со льдом отмечалось в экстремально суровую зиму 1953/1954 гг., когда лед сохранялся 27 дней (при этом 23 дня в Феодосийском заливе наблюдался припай шириной до 200 м), в суровую зиму 1928/1929 гг. лед сохранялся 26 дней.

Количество дней со льдом в Новороссийском порту изменяется от 1 до 8, продолжительность ледового периода – от 1 до 18 дней. Лед, как правило, образуется при выхолаживании в процессе действия продолжительных северо-восточных ветров. В большинстве случаев в районе Новороссийска наблюдаются начальные виды льда [37, 39].

В табл. 6.7 приведены сведения о толщине льда за весь период наблюдений (73 года) и за последние 30 лет в районе украинских портов Николаев и Очаков. В табл. 6.8 приведены сведения о толщине льда за первые 12 лет XXI века.

Таблица 6.7

Толщина припайного льда на северо-западе Черного моря (см)

Месяц	**Ноябрь**			**Декабрь**			**Январь**			**Февраль**			**Март**		
Декада	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**
НИКОЛАЕВ (с сезона 1939/1940 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 73 года). Повторяемость отсутствия припая – 3 %.															
Средняя	0	0	0	0	7	11	14	16	19	20	18	18	19	0	0
Макс.	0	2	16	16	24	34	40	46	49	56	57	50	50	46	28
Мин.	0	0	0	0	1	1	2	2	2	1	2	3	2	0	0
СКО	–	–	–	–	6	7	9	10	11	13	13	12	12	–	–
НИКОЛАЕВ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия припая – 3 %.															
Средняя	0	0	0	4	4	10	15	15	15	15	14	14	0	0	0
Макс.	0	2	16	16	9	30	32	37	34	37	32	38	50	46	15
Мин.	0	0	0	0	1	2	2	5	4	1	2	3	0	0	0
СКО	–	–	–	–	2	7	8	9	9	10	10	10	–	–	–
ОЧАКОВ (с сезона 1939/1940 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 73 года). Повторяемость отсутствия припая – 18 %.															
Средняя	0	0	0	0	0	13	16	18	21	24	24	25	22	20	0
Макс.	0	0	12	15	24	50	57	60	60	60	60	59	52	44	28
Мин.	0	0	0	0	0	2	2	1	2	3	4	2	2	2	0
СКО	–	–	–	–	–	12	12	12	13	14	14	15	15	13	–
ОЧАКОВ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия припая – 30 %.															
Средняя	0	0	0	0	0	0	17	21	21	25	19	0	0	0	0
Макс.	0	0	12	15	9	12	36	36	35	35	36	39	31	30	0
Мин.	0	0	0	0	0	0	10	10	2	10	8	0	0	0	0
СКО	–	–	–	–	–	–	8	9	11	8	10	–	–	–	–

Таблица 6.8

Средняя и максимальная толщина льда на северо-западе Черного моря на момент наибольшего развития ледяного покрова в феврале для всего периода наблюдений и для первых 12 лет XXI века (см)

ГМС	Средняя толщина льда за весь период наблюдений	Максимальная толщина льда за весь период наблюдений	Средняя толщина льда за 12 лет XXI века	Максимальная толщина льда за 12 лет XXI века
Николаев	20	57	20	32
Очаков	25	60	24	36

Как показывает анализ табл. 6.7 и 6.8, средняя толщина припайного льда в Черном море в последние 30 лет, а также в первые 12 лет XXI века практически не изменилась, а максимальная толщина уменьшилась на 20–25 см.

В мягкие зимы в открытых районах моря преобладают начальные виды льда. Вдоль берега между Одессой и Очаковым в мелководных лагунах и бухтах на несколько дней может появиться ледяной заберег из ниласа (в закрытых районах припай удерживается более продолжительное время и толщина его может достигать 15 см). В некоторые зимы лед у открытого побережья отсутствует.

Для умеренных зим характерно наличие припая в районе портов Очаков и Николаев с максимальной толщиной льда 25–30 см. Среди дрейфующего льда на северо-западе моря преобладают нилас и начальные виды льда с включением обломков полей, а также крупно- и мелкобитого серого льда.

Наиболее мощный лед в суровые зимы чаще всего наблюдается в конце января, в феврале и начале марта. В это время лиманы и заливы покрываются припаем толщиной в Днепро-Бугском, Днестровском, Березанском лиманах и Джарылгачском заливе 40–60 см, в устье Дуная 30–45 см. Между Одессой и Очаковым устанавливается припай шириной 5–8 км. За припаем наблюдается очень сплоченный дрейфующий лед. Из взломанного припая образуются большие труднопроходимые ледяные поля, толщина которых за счет подсосов и торосистости льда может достигать 50–100 см и более. Число дней со льдом в лиманах и заливах достигает 100–140, в районе Одессы – 80–100.

В самую суровую зиму 1953–1954 гг. в Феодосии впервые образовался припай толщиной до 20 см. Максимальная толщина льда наблюдалась в конце января в Одесском порту и составляла 48 см (абсолютный максимум – 60 см), в Скадовске 46 см (абсолютный максимум – 57 см), в Очаковском лимане – 48 см (абсолютный максимум – 60 см) [56].

На рис. 6.17 приведена повторяемость наличия льда на северо-западе Черного моря в декабре–марте. На рис. 6.18 – снимок с ИСЗ, характеризующий ледовую обстановку в Черном и Азовском морях в январе 2010 г. (умеренная зима).

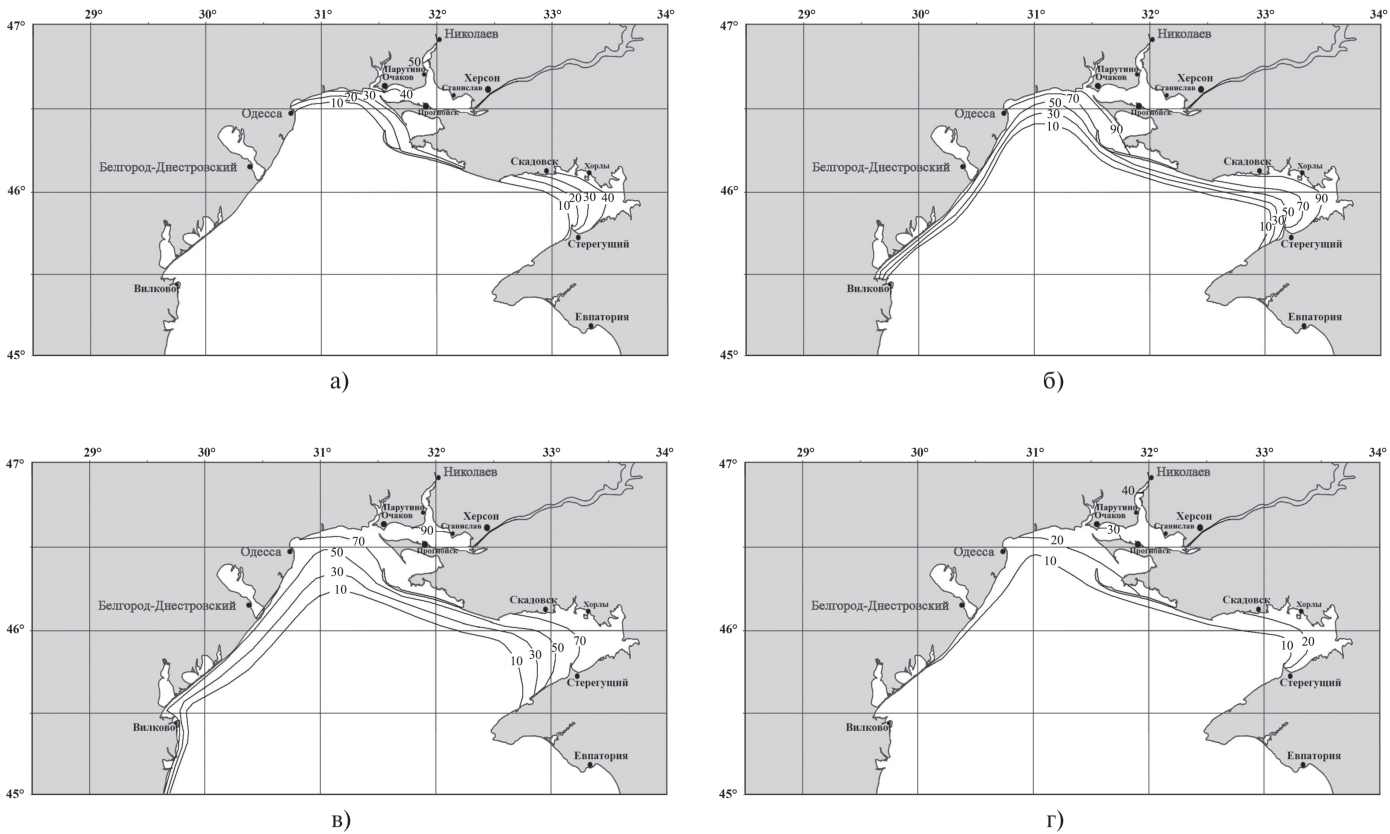


Рис. 6.17. Повторяемость наличия льда на северо-западе Черного моря на середину месяца:
декабрь (а); январь (б); февраль (в); март (г).

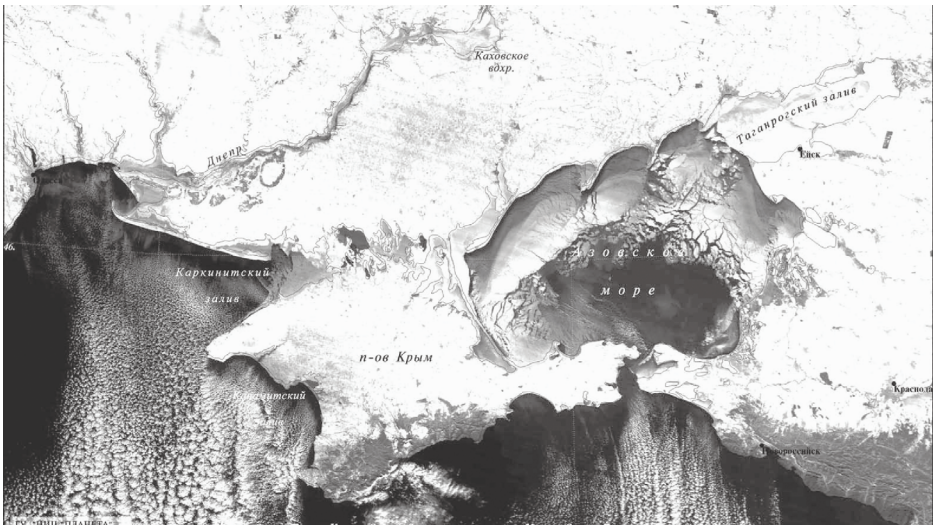


Рис. 6.18. Ледовая обстановка в Черном и Азовском морях 26 января 2010 года. Снимок с ИСЗ TERRA (MODIS).

Анализ рис. 6.17 показывает, что повторяемость наличия льда в Днепро-Бугском лимане в середине декабря составляет менее 50 %, с середины января до середины февраля – 80–90 %, а в середине марта – 30–40 %. Повторяемость наличия льда в восточной части Каркинитского залива в середине декабря составляет не более 40 %, в середине января – 70–90 %, в середине февраля – 50–70 %, а в середине марта – 10–20 %.

6.6. Очищение ото льда Черного моря

Начало взлома или первая подвижка припая наблюдается обычно в феврале – начале марта. Раньше всего весеннее вскрытие происходит у входа в Днепро-Бугский лиман и в районе Одессы (в среднем 19 февраля), чему способствует подток теплых вод, действие южных ветров и относительно малая толщина льда. Затем вскрывается лед в остальных пунктах Днепровского лимана и Джарылгачского залива (в Скадовске – в среднем 3 марта). Позже всех происходит вскрытие в закрытых бухтах и лиманах. В Очакове исчезновение припая происходит в среднем 4 марта, в Николаеве – 9 марта.

Исчезновение льда происходит в направлении с юга на север. Открытые районы моря очищаются в конце февраля, затем в марте – лиманы. Позже всех очищается Днепро-Бугский лиман, так как сюда выносится лед из Южного Буга. Очищение в Николаеве происходит в среднем 12 марта. К середине марта северо-западная часть моря обычно полностью свободна ото льда.

На рис. 6.19 приведены средние даты окончательного очищение моря ото льда.

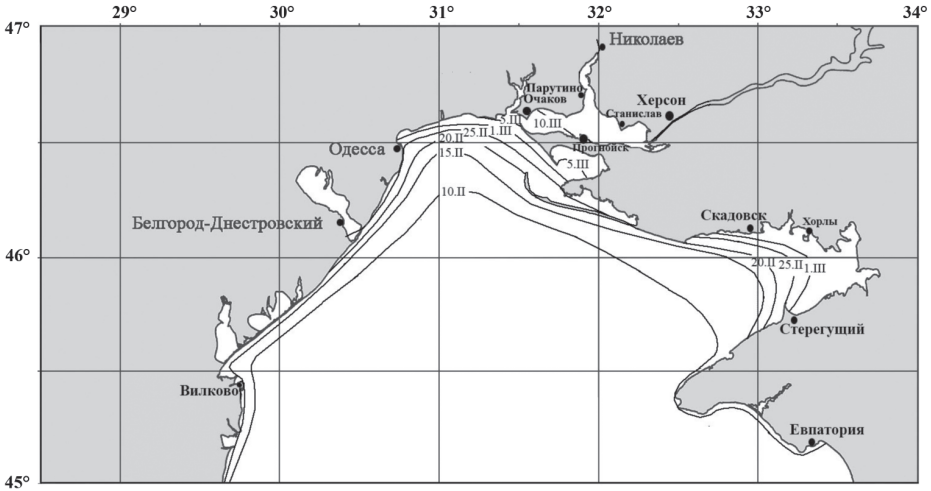


Рис. 6.19. Средние даты окончательного очищение моря ото льда.

Наиболее позднее окончательное очищение в Днепро-Бугском лимане (после суровой зимы 1928/1929 гг.) отмечалось в районе Очакова 19 апреля, Николаева – 17 апреля. После суровой зимы 1984/1985 гг. произошло наиболее позднее очищение: в Белгороде Днестровском – 5 апреля, в Одессе – 2 апреля. В Каркинитском заливе наиболее поздние даты очищения моря ото льда наблюдались после самой суровой зимы 1953/1954 гг.: в районе Скадовска – 6 апреля, Хорлы – 5 апреля, Стерегущего – 2 апреля. В этот же ледовый сезон наиболее позднее очищение ото льда наблюдалось в Феодосии – 1 марта, в Новороссийске – 23 февраля.

6.7. Влияние ледовых процессов на судоходство в Черном море

Судоходство в мягкие зимы у открытых берегов Черного моря осуществляется беспрепятственно. Однако для поддержания навигации в лиманах, хотя и на короткое время, могут понадобиться ледоколы даже в мягкие зимы. Плавание в суровые зимы на северо-западе моря в течение месяца и более невозможно без помощи ледоколов. На рис. 6.20 приведены основные судоходные трассы северо-западной части Черного моря.

На рис. 6.21 представлены графики типичных ледовых условий на ледовой трассе Черного моря Николаев – Одесса (Украина) в мягкую зиму (а), в умеренную зиму (б), в суровую зиму (в) и в самую суровую зиму 1953/1954 гг. (г). Протяженность трассы – 75 миль.

В табл. 6.9 приведена средняя протяженность ледовых зон на трассе Николаев – Одесса. Анализ таблицы показывает, что в момент максимального распространения льда в январе-феврале протяженность ледового плавания

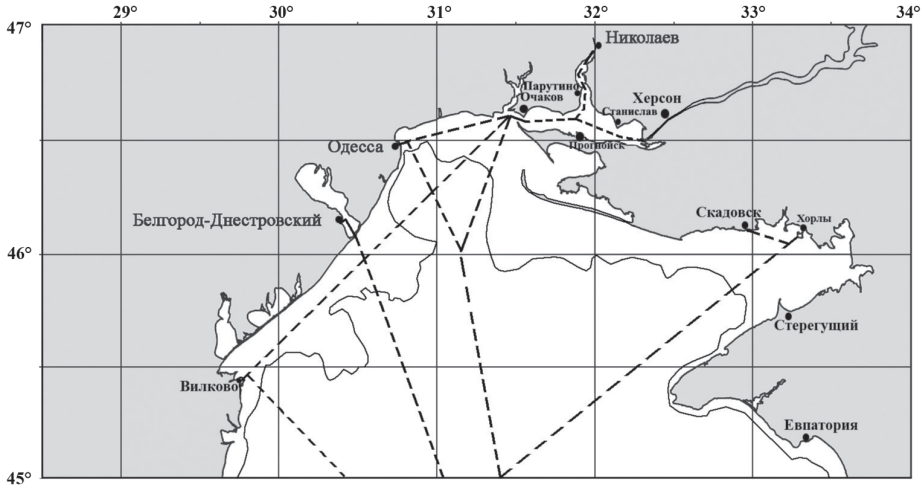


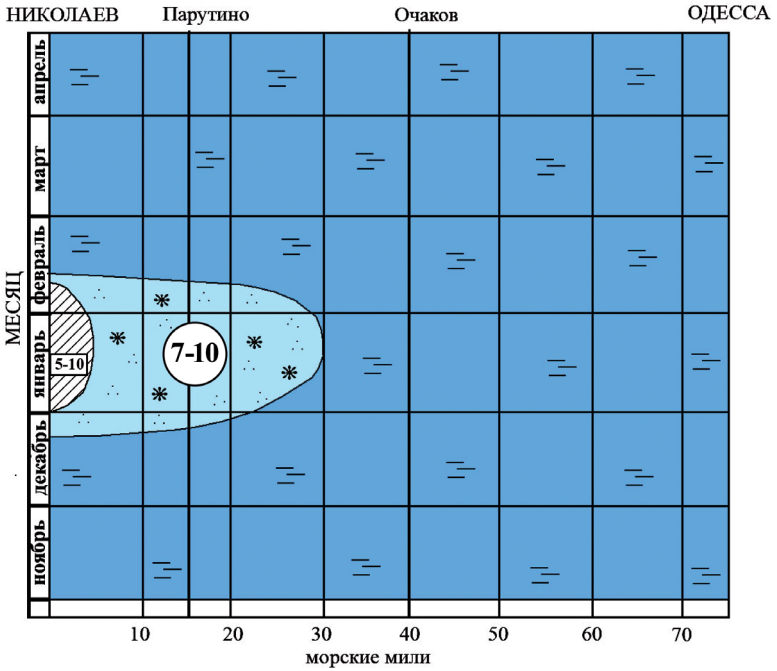
Рис. 6.20. Основные судоходные трассы северо-западной части Черного моря: пунктирная линия – трасса, тонкая сплошная линия – изобата 20 м.

на трассе Николаев – Одесса составляет в среднем: в мягкую зиму – 30 миль и менее, в умеренную зиму – 45–60 миль, в суровую зиму – 75 миль (вся трасса покрыта льдом). В середине марта протяженность ледового плавания на трассе в среднем составляет: после мягких зим – 0 миль, после умеренных зим – 5 миль, после суровых зим – 75 миль (вся трасса покрыта льдом). В апреле трасса свободна ото льда при любом типе зим.

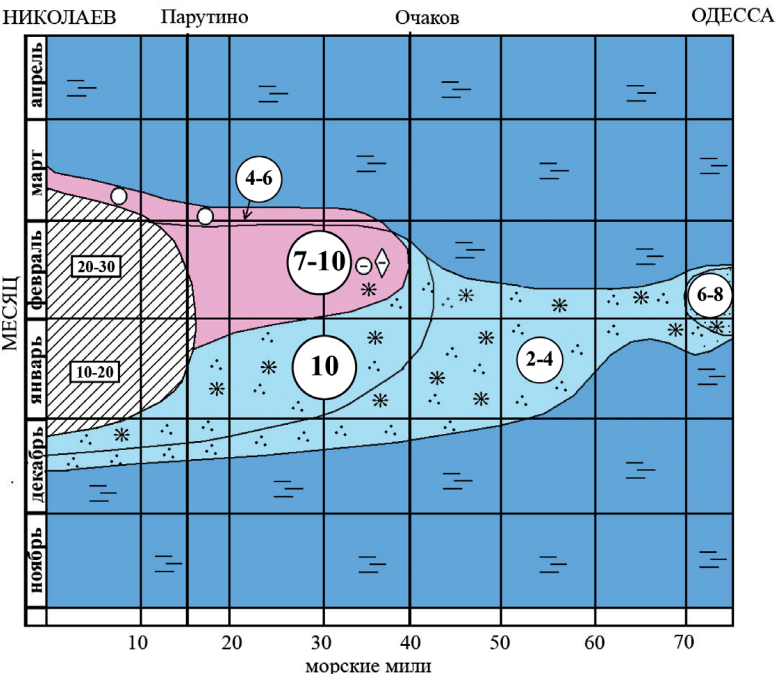
В последнюю очередь лед на трассе исчезает в районе Николаева. Анализ 86-летнего ряда ледовых фаз для Николаева показывает, что в середине марта лед здесь наблюдается в 40 % случаев. Однако в последние 30 лет повторяемость наличия льда в этом районе уменьшилась до 25 %. В середине апреля лед в Николаеве зафиксирован всего один раз за всю историю наблюдений – после суровой зимы 1928/1929 годов.

Повторяемость встречи льда в районе подхода к российскому порту Новороссийск не превышает 10 %. Так же нечасто образуется лед в Севастопольской бухте, где небольшие забереги, а также начальные виды льда и нилас наблюдались зимой в 1911, 1929, 1942, 1946, 1947, 1950, 1954, 1956, 1985, 2006 и 2012 годах. При этом лед часто образуется лишь в одной или в нескольких небольших (в первую очередь – в наиболее мелководных) бухтах, которые включает в себя Севастопольская бухта. Чаще, по данным [29], лед наблюдается у побережья Анапы: для XX века повторяемость появления льда в виде заберега здесь составляла порядка 54%, однако в последние годы это происходит значительно реже.

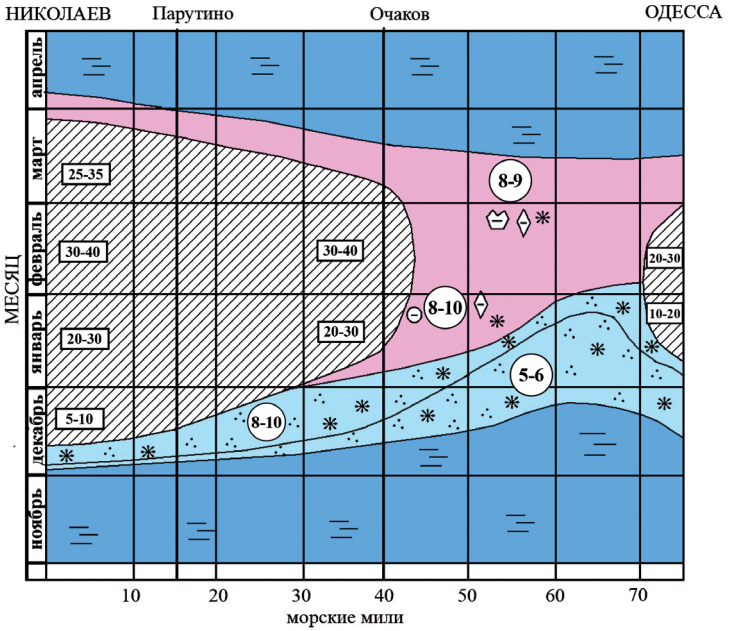
В Новороссийской бухте, как правило, наблюдается одно появление льда и одно очищение моря ото льда, однако возможны исключения. Так, зимой 1953/1954 гг., по данным [39], были зафиксированы два появления льда в районе Новороссийска – в первой и третьей декадах февраля.


НИКОЛАЕВ
Парутино
Очаков
ОДЕССА
МЕСЯЦ
апрель
март
февраль
январь
декабрь
ноябрь
5-10
7-10
10
20
30
40
50
60
70
морские мили

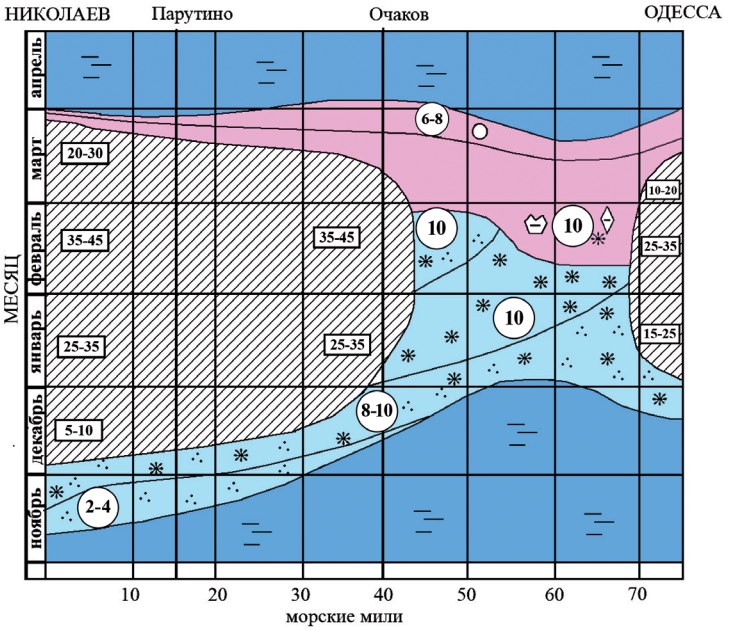
6.21а


НИКОЛАЕВ
Парутино
Очаков
ОДЕССА
МЕСЯЦ
апрель
март
февраль
январь
декабрь
ноябрь
4-6
20-30
7-10
10-20
10
2-4
6-8
10
20
30
40
50
60
70
морские мили

6.21б



6.21в



6.21г

Рис. 6.21. Графики типичных ледовых условий на ледовой трассе Николаев – Одесса (Украина) в мягкую зиму (а), в умеренную зиму (б), в суровую зиму (в) и в самую суровую зиму (г).

Таблица 6.9

Протяженность ледовых зон на трассе Николаев – Одесса (мили)

Характеристика зоны	Месяцы					
	XII	I	II	III	IV	V
Мягкая зима						
Чистая вода	75	45	75	75	75	75
Нилас и начальные виды льда	–	25	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	–	–	–	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–
Припай в районе Одессы	–	–	–	–	–	–
Припай в Бугском лимане	–	5	–	–	–	–
Ледовая зона	**0**	**30**	**0**	**0**	**0**	**0**
Умеренная зима						
Чистая вода	75	15	30	70	75	75
Нилас и начальные виды льда	–	25	5	–	–	–
Серый лед и нилас	–	–	25	–	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	20	–	5	–	–
Припай в районе Одессы	–	–	–	–	–	–
Припай в Бугском лимане	–	15	15	–	–	–
Ледовая зона	**0**	**60**	**45**	**5**	**0**	**0**
Суровая зима						
Чистая вода	20	0	0	0	75	75
Нилас и начальные виды льда	40	15	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	15	27	45	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–
Припай в районе Одессы	–	5	5	–	–	–
Припай в Бугском лимане	15	40	43	30	–	–
Ледовая зона	**55**	**75**	**75**	**75**	**0**	**0**
Самая суровая зима						
Чистая вода	20	0	0	0	75	75
Нилас и начальные виды льда	30	30	–	–	–	–
Серый лед и нилас	–	–	27	40	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–
Припай в районе Одессы	–	5	5	–	–	–
Припай в Бугском лимане	25	40	43	35	–	–
Ледовая зона	**55**	**75**	**75**	**75**	**0**	**0**

6.8. Ледовые условия в портах Черного моря

Новороссийск

Географические координаты порта: 46°72′ с. ш., 32°54′ в.д.

Новороссийск – один из крупнейших портов Черного моря. Расположен на северо-восточном побережье Цемесской (Новороссийской) бухты. Навигация в порту длится круглый год. Новороссийская бухта доступна для судов с осадкой до 19,0 м, а внутренняя акватория порта – до 12,5 м. В Новороссийске расположены причалы морского торгового, лесного, рыбного и геологического портов, судоремонтного завода, морского вокзала, городских предприятий. Всего в Новороссийске насчитывается около 80 причалов общей протяженностью 13,5 км.

В Новороссийском порту лед появляется редко. Повторяемость появления льда не превышает 10 %. Лед в виде начальных видов, темного и светлого ниласа появлялся в порту в зимы 1934/1935, 1936/1937, 1939/1940, 1946/1947, 1949/1950, 1953/1954, 1956/1957 годов.

Среднее количество дней со льдом в зависимости от суровости зимы в Новороссийском порту невелико – от 1 до 8, продолжительность ледового периода – от 1 до 18 дней. Самая большая продолжительность ледового периода наблюдалась в экстремально суровую зиму 1953/1954 гг.: с – 5 по 23 февраля.

Наиболее часто лед появляется в первой декаде января и в первой декаде февраля. В большинстве случаев перед появлением льда в течение нескольких дней наблюдался сильный восточный или северо-восточный ветер. Нередки такие случаи, когда, несмотря на достаточную сумму градусодней мороза, лед в бухте не образуется. Это происходит вследствие того, что в Новороссийской бухте большую роль играет адвекция тепла течениями. При ветрах от юго-востока до северо-запада наблюдается довольно ярко выраженная адвекция тепла течением, лед при действии таких ветров не образуется.

Новороссийская бухта никогда не замерзала полностью. Максимальное количество припая в порту не превышало 6 баллов. Наибольшая толщина льда достигала 15 см (повторяемость появления такого льда в порту менее 5 %). Навигация из-за наличия льда никогда не закрывается, так как этот лед не создает затруднений для прохода крупных судов [37, 39]. В последнее 30-летие ледообразование в Новороссийской бухте не наблюдалось.

Большую опасность для судов в зимний период представляет Новороссийская бора – сильный северо-восточный ветер (до 50 м/с), сопровождающийся резким обвалом холодного воздуха с гор. При отрицательной температуре воздуха капли воды быстро намерзают на палубе, мачтах, надстройке судна, что может привести к его опрокидыванию.

Николаев (Украина)

Географические координаты порта: 46°56′ с.ш., 32°00′ в.д.

Николаев расположен в вершине Бугского лимана. Он является важным транспортным узлом, поскольку имеет морской и речной порты, железнодорожную станцию и аэропорт. Порт соединен с морем Бугско-Днепровско-лиманским каналом (БДЛК). Длина канала – 44 мили, ширина канала – 100 м, подходной канал порта – 13-е колено БДЛК (длина – 1 520 м, глубина – 11,2 м). Проход по каналу могут осуществлять суда длиной до 215 м и осадкой до 10,3 м. Общая протяженность причалов порта – 2420 м (в том числе 242 м – в портопункте Очаков). Допустимая осадка судов у причалов – 10,3 м. Акватория порта имеет внешний рейд на подходе к портопункту Очаков для обработки крупнотоннажных судов с осадкой до 13,2 м.

В районе Николаева лед наблюдается каждую зиму, но сроки появления льда, очищения акватории порта ото льда, продолжительность ледового периода имеют большие межгодовые различия. В табл. 6.4 представлены ледовые фазы по данным наблюдений на морской гидрометеорологической станции Николаев за 86-летний период. В среднем первый лед появляется в районе Николаева 16 декабря, ранний срок первого появления льда – 9 ноября 1953 г., поздний – 3 февраля 1975 года. В мягкие и умеренные зимы лед может появляться и исчезать несколько раз. Появление ледяного заберега наблюдается в среднем 24 декабря. Через несколько дней в умеренные и суровые зимы происходит окончательное замерзание (устанавливается припай на всей акватории). В мягкие зимы может образовываться неширокий ледяной заберег из ниласа. При штормовых ветрах припай может взламываться. При этом образуется крупно- и мелкобитый дрейфующий лед.

В умеренные и суровые зимы развитие и нарастание льда продолжается до конца февраля – начала марта. В умеренные зимы толщина припая достигает 15–30 см, в суровые – 40–57 см. В мягкие зимы толщина припайного льда составляет 5–10 см, либо припай вообще не образуется. Средний срок окончательного разрушения припая в районе Николаева – 9 марта. Самый поздний взлом произошел после суровой зимы 1928/1929 гг. – 3 апреля. В этом же году наблюдалось самое позднее очищение моря ото льда – 17 апреля, что более чем на месяц позже среднего срока очищения моря ото льда (12 марта). Средняя многолетняя продолжительность ледового периода составляет 87 дней.

Значительное влияние на лед в районе Николаева оказывает ветер. Ветры северной и восточной четвертей способствуют выносу льдов от побережья Николаева. Ветры западной и южной четвертей, наоборот, прижимают дрейфующий лед к побережью. Штормовые ветры всех направлений способствуют взлому припайного льда.

В последние 30 лет средние даты первого появления льда и образования припая сдвинулись на 4–7 дней в сторону более поздних сроков. Даты

исчезновения припая и очищения моря ото льда сдвинулись на 7–10 дней в сторону более ранних сроков. Средняя продолжительность ледового сезона сократилась на 11 дней и составила 76 дней.

Очаков (Украина)

Географические координаты порта: 46°37′ с.ш., 31°33′ в.д.

Очаков является портопунктом Николаевского морского торгового порта. Расположен в Днепро-Бугском лимане. Акватория порта защищена волнозащитными сооружениями общей длиной 820 метров. Суда, прибывающие в порт Очаков, проходят частью Бугско-Днепровско-лиманского канала (БДЛК) и подходным к порту каналом. Подходной канал имеет длину 5 км. Порт Очаков предназначен для обработки грузовых и грузопассажирских судов, организации паромного сообщения по перевозке колесной техники и большегрузных автомобилей. Причалы позволяют принимать в настоящий момент суда с осадкой до 4,5 м.

У побережья Очакова за 86-летний период наблюдений лед наблюдался в 97 % случаев. Сроки ледообразования и очищения моря ото льда испытывают большую межгодовую изменчивость, что следует из анализа табл. 6.4. Первый лед в виде начальных видов появляется обычно в начале третьей декады декабря. В отдельные мягкие зимы он появляется на 2 месяца позже: так, в 2007 г. он появился 24 февраля. Припай в районе Очакова образуется в среднем 29 декабря (раннее появление припая – 21 ноября 1945 г., позднее – 8 марта 1952 г.). В районе Очакова в лимане довольно часто наблюдается полное замерзание района (устанавливается припай до горизонта). В мягкие и умеренные зимы лед может появляться и исчезать несколько раз в течение ледового сезона.

Наибольшего развития ледяной покров достигает в феврале, когда в суровые зимы толщина припайного льда может составлять 40–60 см. Средняя толщина льда в этот период для умеренных зим составляет 20–25 см. Дрейфующий лед на подходах к порту в это время достигает 8–10-балльной сплоченности. В суровые зимы преобладает серо-белый и серый лед, в умеренные зимы – серый лед и нилас, в мягкие зимы – начальные виды льда.

Средний срок первого взлома припая 16 февраля, ранний – 22 декабря 1933 г., поздний – 27 марта 1929 года. В зимний период разрушение припая происходит под влиянием ветра. Поля взломанного припая под действием восточного и северо-восточного ветров дрейфуют на юго-запад в открытое море, на подходах к кромке сохранившегося припая при этом образуется заприпайная полынья.

В среднем через две недели после первого частичного взлома припай окончательно разрушается. После суровой зимы 1928/1929 гг. самый поздний срок исчезновения припая в Очакове – 9 апреля. В мягкие зимы разрушение припая может происходить во второй половине января. Окончательное очищение акватории моря ото льда в среднем происходит 9 марта; самый поздний

срок – 19 апреля 1929 г., самый ранний – 18 января 1989 года. Средняя многолетняя продолжительность ледового периода составляет 79 дней.

Первое появление льда за последние 30 лет сдвинулось на 9 дней в сторону более поздних дат, по сравнению со среднемноголетними. Окончательное очищение акватории порта происходит раньше на полторы недели. Средняя продолжительность ледового сезона в соответствии с табл. 6.4 сократилась на 19 дней и составила 60 дней.

Одесса (Украина)

Географические координаты порта: 46°28′ с.ш., 30°44′ в.д.

Одесский морской порт – крупный торговый порт международного значения, расположен на северо-западном побережье Черного моря, в юго-западной части Одесского залива. Имеет в своем составе один из крупнейших в Европе пассажирских терминалов, Каботажную, Карантинную, Практическую (она же Арбузная), Угольную (она же Военная), Новую, Нефтяную и прочие гавани. Насчитывает более 40 причалов общей протяженностью 8 км.

У побережья Одессы лед бывает не каждую зиму. За 90-летний период наблюдений лед в районе гидрометеорологической станции не наблюдался в 22 % случаев.

Первое появление льда в районе Одессы наблюдается в среднем 9 января, раннее отмечено 4 декабря 1998 г., позднее – 5 марта 1955 года. Припай (в тех случаях, когда он образуется) появляется в среднем 14 января, а полностью разрушается 19 февраля.

Максимальное развитие лед в районе Одессы получает во второй половине февраля. В это время толщина ровного припайного льда достигает наибольших значений: в суровые зимы – 25–40 см, в умеренные – 10–15 см. В мягкие зимы наблюдаются начальные виды и нилас либо лед отсутствует.

В умеренные и суровые зимы припай при штормовых ветрах любых направлений взламывается, а при продолжительном дальнейшем выхолаживании снова восстанавливается. В суровые зимы поля взломанного припая по толщине могут соответствовать серо-белому льду, в умеренные зимы – серому льду и ниласу. Ветры западной четверти способствуют разрежению дрейфующего льда и выносят его в открытое море. Ветры восточной четверти уплотняют лед у побережья до 9–10 баллов.

Очищение моря ото льда происходит в среднем 25 февраля. Средняя продолжительность ледового периода составляет 48 дней. В последние 30 лет повторяемость отсутствия льда в районе Одессы увеличилась с 22 до 40 %. Образования припая в районе Одессы в этот период не было отмечено. Очищение моря ото льда происходило на 7 дней раньше средних многолетних сроков. Продолжительность ледового периода сократилась в среднем на 9 дней.

Глава 7

ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

7.1. Общие сведения о гидрометеорологическом режиме Каспийского моря

Каспийское море расположено в глубоком понижении Арало-Каспийской низменности. Каспийское море относится к типу «море–озеро». Находясь между 47° 05' и 36° 35' с.ш. и 46° 45' и 54° 45' в.д., море вытянуто в меридиональном направлении на 1,13 тыс. км при средней ширине 317 км. Площадь моря составляет около 361 тыс. км^2. Эта цифра не постоянна, что связано с колебаниями уровня.

В физико-географическом отношении Каспийское море делится на три части: северную, среднюю и южную. Граница между северной и средней частями проходит по линии о. Чечень – м. Тюб-Караган, между средней и южной – по линии о. Жилой – м. Куули-Маяк, и имеет существенные различия в гидрометеорологическом режиме северной и южной частей (рис. 7.1). Зимой северная часть Каспийского моря ежегодно покрывается льдом, в средней части моря лед образуется в умеренные и суровые зимы, в южной части моря – лишь в суровые зимы.

Северная часть Каспийского моря имеет наиболее извилистую береговую черту. В западный берег вдаются Аграханский и Кизлярский заливы. У восточного берега между п-овами Бузачи и Тюб-Караган расположен обширный Мангышлакский залив, а также имеется несколько мелководных бухточек, недоступных для плавания. Рельеф дна изобилует банками, отмелями и подводными косами. Имеется множество островов.

Северная часть моря отличается мелководностью. Берега окаймлены широкой отмелью, обсыхающей при сгонах. Глубины до 3 м расположены на расстоянии до 50 км, а местами и до 70 км от берега. Наибольшие глубины в северной части Каспийского моря (до 18 м) находятся на юго-западе этого района.

Средняя часть моря представляет собой обособленную котловину, глубины в которой резко увеличиваются, начиная с 50 м в направлении к центру, где расположена сдвинутая к западному берегу (в район Дербента) глубокая депрессия с максимальной глубиной 788 м. Средняя часть имеет относительно мало изрезанную береговую черту. Только на границе с южной частью далеко в море вдается Апшеронский п-ов, берег которого изрезан, но не имеет



Рис. 7.1. Районирование Каспийского моря.

значительных заливов и бухт, за исключением Бакинской бухты. Рельеф дна вдоль побережья полуострова ровный, глубины в 10–30 км от берега не превышают 20 м. К востоку от Апшеронского п-ова расположены острова и банки Апшеронского архипелага.

Восточное побережье средней части более изрезано, чем западное: есть несколько значительных мысов (Песчаный, Ракушечный, Суэ) и заливов (Казахстанский, Кара-Богаз-Гол). Берег приглубый, изобата 20 м проходит вдоль всего берега на расстоянии не более 7 миль и только в районе Казахстанского залива отходит на 10 миль.

Южная часть моря наиболее глубоководная, область максимальных глубин сдвинута к западному берегу. К востоку от Куринской косы располагается котловина с максимальной для Каспийского моря глубиной – 1025 м.

В Каспийское море впадает более 130 рек. По средним многолетним данным, они приносят 290 км³ воды в год. В многоводные годы суммарный сток может увеличиваться до 370 км³ в год, а в маловодные уменьшаться до 240 км³ в год. В северную часть впадают только Волга, Урал и Терек, суммарный годовой сток которых дает более 90 % общего материкового стока. С запада в море несут свои воды Сулак, Самур, Кура и более мелкие реки, в сумме дающие около 9 % стока. На долю рек Иранского побережья приходится примерно 1 % берегового стока. На восточном побережье нет ни одного постоянного водотока в море. На изменчивость материкового стока существенное влияние оказывает антропогенная деятельность в бассейне Каспийского моря, главным образом за счет каскада Волжских ГЭС и водохранилищ, а также изъятия речной воды на хозяйственные нужды. Период с 1961 г. по настоящее время назван периодом зарегулированного режима стока. В условиях естественного режима минимальные расходы зимней межени наблюдались в январе, максимальные на пике половодья отмечались в июне. Начиная с 1961 г. внутригодовое распределение стока Волги значительно изменилось, по сравнению с периодом естественного режима стока (1881–1960 гг.) [35, 36, 85, 94].

Формирование климата над Каспийским морем определяется географическим положением моря, условиями атмосферной циркуляции, характером подстилающей поверхности, орографией берегов. Каспийское море расположено в сравнительно низких широтах, что обусловливает большой приток солнечной энергии. На формирование климата Каспийского моря, в частности западного и южного побережья, оказывают влияние Кавказские горы, а северного и восточного – прикаспийские степи и полупустыни. Климат северной и восточной частей Каспия более континентален, чем западной и южной частей, где проникновению континентального воздуха препятствуют горные системы. Зима на Северном Каспии холодная, а на Южном – теплая. Климатические условия региона Каспийского моря определяются влиянием холодных арктических воздушных масс, влажных морских, формирующихся над Атлантикой, сухих континентальных из Казахстана, теплых тропических, приходящих со Средиземного моря.

Для Каспийского моря в течение года характерно преобладание антициклональных условий погоды. Ядра высокого давления выходят на Астрахань и Северный Каспий обычно в тылу атлантических циклонов. При этом происходит понижение температуры воздуха и усиление северо-западного ветра на побережье до 15–20 м/с, в море – до 25–30 м/с.

В случае смещения антициклона из районов Новой Земли и Таймыра, через Поволжье, на Аральское море происходит усиление юго-восточного ветра, который может сохраняться в течение нескольких дней (скорость ветра в районе Актау – Баутино – о. Кулалы достигает 25 м/с).

Главный максимум повторяемости антициклонального характера погоды отмечается в августе (65 %), второй – в ноябре (52 %). Зафиксированы два минимума – в марте (45 %) и в октябре (43 %). Циклонические процессы в течение года в среднем составляют 38 %. Эти процессы чаще наблюдаются в марте и октябре [19, 75].

Атлантические циклоны, образуясь над Северной Атлантикой, смещаются от Балтики до нижнего течения р. Волги. Траектория их движения проходит севернее Астрахани. Поэтому на формирование погоды в Астрахани и на Северном Каспии оказывают влияние ложбины этих циклонов. Они вызывают ухудшение погоды: усиление северо-западного ветра, обложные осадки, зимой – метели.

Южные циклоны образуются к югу от параллели 45° с.ш. К ним относятся черноморские и каспийские. Выход этих циклонов резко ухудшает погодные условия, сопровождаясь обильными осадками, метелями, сильными ветрами. По многолетним данным, в среднем с ноября по март через Астрахань проходит 23 циклона, из них два черноморских и четыре каспийских.

Для синоптических условий над территорией Каспия характерна частая смена воздушных масс во все сезоны года.

Зимой большое влияние оказывает сибирский максимум, который может иметь давление в центре 1040 гПа и выше. Один из его гребней ориентирован на Каспий. В свою очередь исландский минимум, расположенный над северной частью Атлантики, обеспечивает частые циклоны и ложбины, перемещающиеся с запада на юг Европейской территории России и Северный Кавказ.

Сибирский антициклон оказывает влияние на формирование погоды в течение всего холодного периода. Взаимодействие этого антициклона с циклонами, которые формируются зимой над теплой водной поверхностью Средиземного моря, приводит к установлению юго-восточных ветров – «морян», облачной погоды с моросящими осадками и туманами. При выходе в район Астрахани отрога сибирского антициклона (обычно с середины января до конца февраля) устанавливается ясная, холодная погода.

Весной значительно уменьшается интенсивность сибирского максимума и повышается давление в исландском минимуме. Азорский максимум по интенсивности почти не изменяется. Каспий остается под воздействием юго-западной периферии сибирского максимума, при этом испытывает влияние азорского максимума.

Летом процессы циркуляции в регионе Каспийского моря определяются воздействием усиливающегося по интенсивности азорского максимума.

Осенью Каспий находится под влиянием юго-западной периферии сибирского максимума и набирающего силу исландского минимума [28, 35].

Ветровой режим над Каспийским морем отличается разнообразием, что обусловлено большой меридиональной протяженностью моря, орографией, термической неоднородностью суши и моря. В северной и средней частях Каспия до залива Кара-Богаз-Гол режим скоростей ветра примерно одинаков. Среднегодовые скорости составляют 5–6 м/с и увеличиваются до 7 м/с в районе п-ова Мангышлак и у мысов. В южной части Каспия средние скорости ветра значительно ниже: в центральных районах моря – 4–5 м/с, у восточного побережья – 3–4 м/с, у южного и западного побережий – 2–3 м/с.

В холодный период года выход атлантических циклонов на Каспий способствует увеличению в это время года повторяемости ветров северной и северо-западной четвертей в западной половине моря и ветров восточной и юго-восточной четвертей у восточного побережья. В декабре–феврале средние месячные скорости ветра над Северным Каспием достигают 6–7 м/с, а в свободных ото льда районах Среднего и Южного Каспия – 8 м/с.

В теплый период года, как и в холодный, средние скорости ветра увеличиваются с юга на север, однако различия между районами открытого моря и побережьем в этот период наименьшие: над морем средние скорости изменяются от 3 до 5 м/с, над побережьем – от 2 до 4 м/с [28, 35].

Температура воздуха (средняя за год) изменяется от 9 °С на севере до 17 °С – на юге моря. Устойчивый период со средними суточными температурами ниже 0 °С наблюдается только на северо-западном побережье до Махачкалы и на северо-восточном до Казахского залива. Продолжительность морозного периода уменьшается с севера на юг и с востока на запад. Так, если в районе о. Пешной среднемесячная температура в январе может составлять –18...–16 °С, то в Баку – только –0,5 °С.

На севере Каспия (в устье р. Урал) переход температуры воздуха через 0 °С к отрицательным значениям осенью происходит в среднем в середине ноября, на западе Северного Каспия в районе Астрахани – в первой декаде декабря, в районе о. Тюлений – в конце декабря. Весной переход температуры воздуха через 0 °С к положительным значениям осуществляется в районе о. Тюлений в первой декаде марта, в районе Астрахани – в середине марта, в устье р. Урал – в третьей декаде марта.

На северо-восточном побережье Северного Каспия первые заморозки начинаются обычно уже в конце октября, на западном – во второй половине ноября. Морозы на восточном берегу Каспия бывают более суровыми и распространяются на большую площадь. Заморозки в открытом море наступают позже, чем на побережье, что связано с большой теплоемкостью воды. Даже в прибрежной мористой части сроки их наступления сдвинуты на две недели относительно береговых.

Морозы на восточном и северо-западном побережье Северного Каспия бывают ежегодно. На севере число дней с отрицательной температурой с декабря по март составляет 90 дней, в районе Куули-Маяка уменьшается до 50 дней. Особо резкие понижения температуры воздуха наблюдаются при вторжении арктического воздуха. На севере моря в отдельные дни температура воздуха в январе-феврале может падать до –30 °С. Значения абсолютного минимума на Северном Каспии составляют –37...–35 °С, в районах Среднего Каспия эти значения равны –27...–25 °С, в районах Южного Каспия они колеблются в пределах –20...–18 °С. В силу активной циклонической деятельности морозный период на Каспии отличается неустойчивостью и часто прерывается оттепелями.

Лето на Каспии теплое и продолжительное. Период со среднесуточной температурой выше 20 °С устанавливается в конце мая и продолжается до сентября (продолжительность 90–110 дней) [35].

Температура воды. В зимний период наиболее отчетливо выражены широтные изменения поверхностной температуры воды. Температура воды изменяется от 0...0,5 °С у кромки льда на севере моря до 10...11 °С – на юге моря.

Весенний прогрев воды выравнивает горизонтальные градиенты. Прогрев поверхностного слоя, начинающийся в марте, нарушает однородность в распределении температуры с глубиной. В районе мелководного Северного Каспия вертикальные термические различия незначительны (в пределах 1 °С) вследствие интенсивного развития процессов конвективного перемешивания. В апреле температура в поверхностном слое Северного Каспия составляет в среднем 8...11 °С, в придонном слое – 7...10 °С.

В открытых районах Среднего и Южного Каспия в конце мая – начале июня начинается формирование слоя скачка температуры, который наиболее четко выражен в августе. Чаще всего он располагается между горизонтами 20 и 30 м в средней части моря и 30 и 40 м – в южной части моря. Вертикальные градиенты температуры в слое скачка в летний период очень значительны и могут достигать нескольких градусов на метр. В придонных слоях Среднего Каспия температура воды равна 4,5...5,5 °С, Южного Каспия – 5,7...6,0 °С.

Температура воды поверхностного слоя моря в августе в среднем составляет 24...26 °С в Северном и Среднем Каспии, 29 °С – в Южном Каспии, 32 °С – в заливе Туркменбаши и 35 °С – в заливе Кара-Богаз-Гол. В июле-августе у восточных берегов может наблюдаться апвеллинг и связанные с ним понижения температуры воды до 15...10 °С. Апвеллинг наблюдается ежегодно вдоль всего восточного побережья Среднего Каспия и частично проникает в Южный Каспий [18].

С началом осенне-зимней конвекции в октябре-ноябре происходит быстрая перестройка полей температуры воды Южного и Среднего Каспия к зимнему режиму. В открытом море температура воды в поверхностном слое понижается в средней части до 12...15 °С, в южной – до 16...17 °С. В вертикальной структуре слой скачка размывается за счет конвективного перемешивания и к концу ноября исчезает. В районе мелководного Северного Каспия вертикальные термические различия в октябре-ноябре

практически отсутствуют. Температура воды в Северном Каспии в это время составляет в среднем 10...15 °С, увеличиваясь от побережья в сторону открытой части моря.

Соленость воды. Пространственные изменения солености наиболее значительны в Северном Каспии, где она возрастает от 0,1–0,2 ‰ вблизи устьев Волги и Урала до 10–12 ‰ на границе со Средним Каспием. В глубоководных частях моря соленость на поверхности увеличивается в целом с севера на юг и с запада на восток. Такое распределение солености связано с влиянием пресного речного стока вдоль западного побережья и осолонением вод у восточного берега, в условиях полного отсутствия здесь пресного стока и интенсивного испарения. В открытых районах моря соленость редко выходит за пределы 12,7–13,2 ‰. Вертикальное распределение солености в Среднем и Южном Каспии весьма однородное: от поверхности до дна ее увеличение не превышает десятых долей промилле.

От весны к лету на всей акватории Южного Каспия соленость возрастает вследствие увеличения испарения. В то же время в Среднем Каспии, где проявляется влияние речного стока, соленость на большей части акватории понижается.

Однородное распределение солености в глубоководных частях Каспийского моря является важной чертой его гидрологической структуры, обусловливающей ее сезонную изменчивость, главным образом за счет температуры воды. Температура воды при мало изменяющейся солености определяет основные особенности поля плотности в зимний и летний сезоны и влияет на вертикальную устойчивость вод, особенно в верхних слоях.

По совокупности физико-химических характеристик вод в Каспийском море были выделены следующие водные массы: *северокаспийская*, *верхняя каспийская*, *глубинная среднекаспийская и глубинная южно-каспийская*.

Северокаспийская водная масса занимает северную часть моря. Ее объем незначителен – менее 1 % от общего объема моря. Основные условия формирования северокаспийской водной массы – влияние обильного речного стока и мелководность северной части моря. Температура северокаспийской водной массы изменяется в широких пределах: от 0 °С зимой до 25 °С летом. Соленость северокаспийской воды пониженная и значительно изменяется в зависимости от многолетних колебаний волжского стока. В периоды опреснения средняя соленость равна 4–5 ‰, в периоды осолонения – 9–11 ‰.

Верхняя каспийская водная масса формируется под влиянием процессов зимнего охлаждения и летнего прогрева, а также динамических процессов в верхнем слое моря (волнения, ветровых течений, сгонных явлений, внутренних волн). Нижняя граница этой водной массы определяется глубиной распространения зимней вертикальной циркуляции и располагается в Среднем Каспии в слое 150–200 м, в Южном – 50–150 м. На нижней границе происходит уменьшение вертикальных градиентов температуры. В летней модификации выделяется хорошо прогретый верхний слой толщиной 20–30 м,

ограниченный снизу резким термоклином. Соленость верхней каспийской водной массы в среднем равна 12,7–13,0 ‰.

Глубинные водные массы формируются главным образом в зимние месяцы в результате плотностного стока холодных вод из северных районов моря, а также с восточного шельфа. Эти воды опускаются в придонные слои среднекаспийской котловины, а переливаясь через Апшеронский порог, поступают и в южно-каспийскую впадину.

Течения в Каспийском море формируются под воздействием ветра, пространственной неравномерности поля плотности, силы Кориолиса, конфигурации берегов и рельефа дна. В северной части моря, кроме того, имеет значение речной сток. Совокупность этих факторов обусловливает сложную картину течений, которые образуют циклоническую циркуляцию вод (см. рис. 7.2). Она соответствует средним гидрометеорологическим условиям над морем и может заметно изменяться под влиянием конкретной гидрометеорологической обстановки.

Скорость и устойчивость дрейфовых течений в средней и южной частях моря изменяются в зависимости от силы и продолжительности ветра. По инструментальным наблюдениям, наиболее значительные скорости (до 80 см/с) отмечаются у западных берегов Среднего Каспия при сильных северных ветрах. При слабых и неустойчивых ветрах этих направлений течения имеют скорость 5–10 см/с, а при умеренных – 30–40 см/с. У восточных берегов преобладают течения со скоростью до 10 см/с, но наблюдаются потоки и со скоростями до 30 см/с [94].

Уровень Каспийского моря как замкнутого водоема, не связанного с Мировым океаном, подвержен значительным циклическим колебаниям различной продолжительности и величины. Изменения уровня Каспийского моря подразделяются на два основных типа: эвстатические и деформационные. К первому типу относятся вековые (многолетние, межгодовые) и сезонные колебания уровня, отражающие изменения объема вод. Ко второму типу относятся сгонно-нагонные колебания уровня моря, сейши, бризовые колебания, влияющие только на перераспределение вод по акватории моря. Приливные колебания уровня Каспия незначительны.

На многолетние колебания уровня моря оказывают влияние многие факторы, основные из которых следующие: климатические изменения, тектонические процессы, изменяющие объем водной впадины, и хозяйственная деятельность человека. Вклад этих факторов в многолетние колебания уровня Каспия различен.

Климатические факторы (солнечная активность, циркуляция атмосферы, влажность воздуха и др.) влияют на составляющие водного баланса моря и приводят к нарушению соотношения между отдельными его элементами и, следовательно, к резким изменениям положения уровня моря. Так, крупная атмосферно-циркуляционная аномалия в 30-е гг. XX века, охватившая все Северное полушарие, привела к резкому снижению уровня Каспия (с 1930 по 1941 г. – на 1,8 м). В 70-х гг. сложились аналогичные, антициклонические

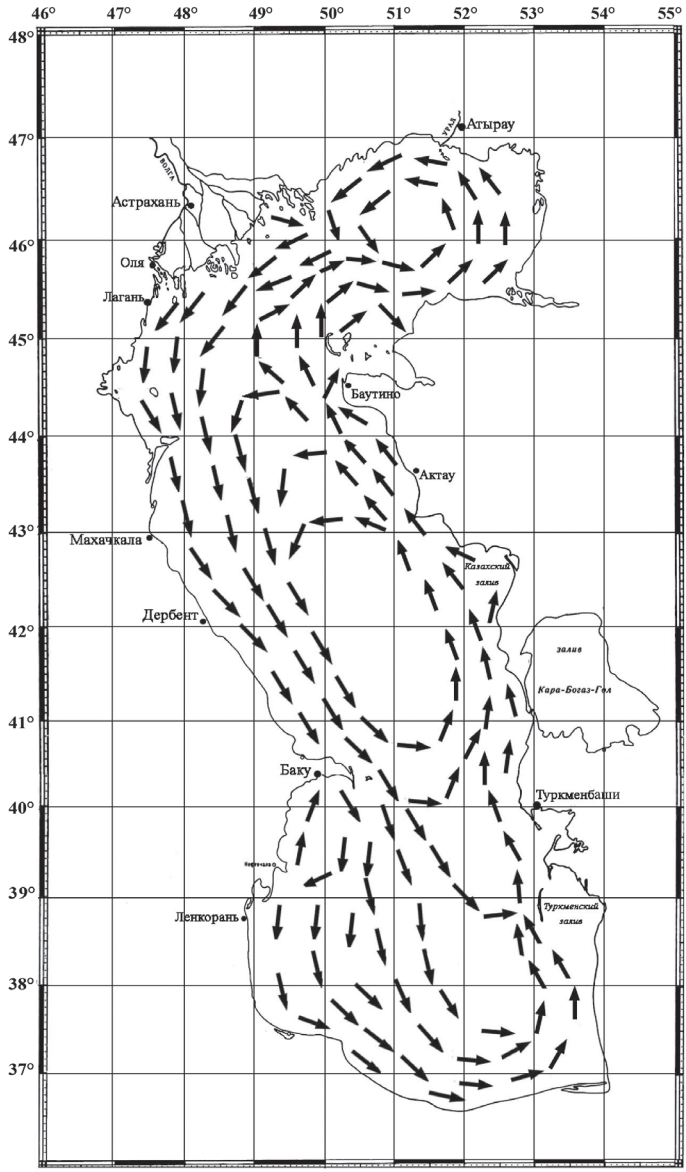


Рис. 7.2. Схема поверхностных течений Каспийского моря.

условия, – уменьшение увлажненности, резкое сокращение поверхностного притока и повышение испарения с поверхности моря, что привело к дефициту водного баланса и снижению к 1977 г. уровня моря на 0,7 м. С 1978 по 1995 г. произошло повышение уровня Каспия на 2,3 м, после этого уровень моря вновь начал медленно понижаться.

На фоне изменений среднегодового уровня Каспия отмечаются его *сезонные изменения*. Эти объемные колебания воды в течение года имеют четко выраженный циклический характер, что очень хорошо прослеживается по среднемесячным величинам уровня. Низшее в году положение уровня наблюдается в зимний период (декабрь–февраль), затем начинается его повышение до июля с наибольшей интенсивностью роста в мае. Наивысший уровень моря обычно отмечается в июне-июле, затем уровень начинает понижаться до зимнего минимума. Причиной таких колебаний уровня являются сезонные изменения составляющих водного баланса моря, т.е. неравномерность поступления воды и ее расходование на испарение в течение года. Основная роль приходной части баланса принадлежит стоку рек, особенно стоку Волги (76 %), а в расходной части – испарению воды, а также стоку в залив Кара-Богаз-Гол. В Северном Каспии, куда поступает основная часть речного стока моря, многолетние изменения сезонного хода уровня выражены наиболее ярко, а размах колебаний больше, чем в остальной части моря.

В разные годы наивысшие и низшие среднемесячные величины уровня приходятся на разные месяцы. Основной причиной этого являются сгонно-нагонные колебания. Величины нагонов и сгонов зависят от направления, скорости и продолжительности действия ветра, а также от очертания береговой линии и распределения глубин в прибрежной зоне моря. На Северном Каспии отмечаются большие величины сгонов (до 2,5 м) и нагонов (до 3,5 м). Здесь при сильных нагонах происходит затопление полосы пологого побережья шириной до 15–25 км.

Обычно сгоны и нагоны имеют продолжительность от 18 до 48 часов, хотя в отдельных случаях могут длиться 3–5 суток, в связи с чем береговая черта постоянно мигрирует в среднем на 2–5 км. Поскольку Северный Каспий с декабря по март ежегодно покрыт льдом, то несмотря на резкое преобладание сильных ветров в зимний период наибольшие величины нагонов внутри года отмечаются в основном весной и осенью, когда нет льда. В Среднем и Южном Каспии прибрежная зона моря глубже, поэтому здесь величины сгонно-нагонных колебаний уровня моря в среднем в 2,5–4 раза меньше, чем в Северном Каспии [85, 91].

Для судоходства и деятельности портовых комплексов наибольшую опасность представляют значительные сгоны, во время которых затрудняются погрузочно-разгрузочные работы в акваториях портов, а также при плавании в районах Волго-Каспийского морского судоходного канала (ВКМСК) и Северного Каспия. Отличительной чертой зимних нагонов является то, что они происходят при наличии ледяного покрова на Северном Каспии. Ледяной покров, особенно припайный лед, существенным образом уменьшает величину нагонов. Величина нагона при установлении припая уменьшается более чем в три раза и не превышает 1 м.

Волнение. Наибольшую повторяемость в течение года на Северном и Среднем Каспии имеет волнение юго-восточного и северо-западного направлений. Наиболее волноопасным направлением волнения в этом районе

является направление на юго-восток, так как волны в этом случае развиваются на большом разгоне и могут достигать больших значений.

Продолжительность штормов на Каспии обычно колеблется от 6 до 72 часов. При ветрах скоростью 25 м/с и более максимальные высоты волн варьируют в среднем от 3 до 7 м в зависимости от продолжительности действия ветра, глубины и района моря. Наибольшая высота волн (до 11 м) наблюдается в районе Апшеронского порога.

В связи с мелководностью Северного Каспия при возникновении ветра волнение быстро приобретает характер установившегося, достигая своих максимально возможных высот (2–3 м) уже при скоростях ветра 15–20 м/с [19, 28, 44].

7.2. Факторы, обусловливающие состояние ледяного покрова Каспийского моря

Каспийское море относится к морям с сезонным ледяным покровом и отличается большой пространственно-временной неоднородностью развития ледовых процессов. Разнообразие ледовых условий обусловлено его большой меридиональной протяженностью, а также различием климата в разных частях моря. Характер ледовых условий каждой зимы, изменение общей площади льда в течение ледового сезона определяются действием двух факторов – термического и динамического. Преобладающее значение имеет термический фактор, определяющий в периоды резких и длительных похолоданий распространение льда, а также ослабление или разрушение ледяного покрова при значительных и устойчивых оттепелях.

Ледовый период на Северном Каспии продолжается обычно с ноября по март. В отдельные годы, в зависимости от суровости зимы, начало и конец ледового периода сдвигаются на месяц раньше или позже. Более устойчиво ледообразование в восточных районах акватории, по сравнению с западными, что проявляется в различии сроков наступления ледовых фаз и характере развития ледяного покрова в этих районах, расположенных в близких географических широтах.

Сроки начала ледообразования на Каспии зависят от атмосферных процессов в предзимье, обусловленных сезонной перестройкой барических полей. В годы с кратковременными затоками холодного воздуха на акваторию моря и чередованием в течение предзимья и зимы волн холода и потеплений лед неоднократно исчезает и вновь появляется, при этом происходят резкие изменения его площади. Как правило, в такие годы площадь дрейфующего льда оказывается больше площади припая на протяжении всего ледового сезона, в то время как в суровые зимы припаем покрыта большая часть Северного Каспия.

Под действием ветра, волнения и нагонной волны может происходить взлом и разрушение припая в декабре-январе. В последующем при очередных мощных вторжениях арктического воздуха на акваторию Северного Каспия

припай может вновь устанавливаться за счет смерзания ледяных полей, находящихся в сжатом состоянии, или скрепления их вновь образующимся молодым льдом. Даже у северного побережья моря за зиму может наблюдаться от двух до четырех случаев взлома припая. К югу от 45° с.ш. может наблюдаться до десяти случаев взлома припая за зиму.

Значительную роль при плавании судов в дрейфующем льду играет сплоченность льда. Сплоченность дрейфующего льда на трассах Северного Каспия увеличивается с установлением ветров южной четверти, обусловливающих перемещение льда от прикромочной зоны дрейфующего льда к границе припая и его уплотнение. Уменьшение площадей припая и дрейфующего льда может происходить даже при сильных морозах, сопровождаемых штормовыми ветрами, вследствие наслоений и образования торосов.

На Каспийском море преобладает ветровой дрейф льда, усиливаемый на отдельных участках моря течениями. В суровые зимы устанавливается устойчивое поле ветра, поддерживающего и ускоряющего генеральный дрейф. При этом складываются условия для выноса тяжелых льдов вдоль западного побережья из Северного Каспия к Апшерону, что не только создает проблемы судоходству, но и угрожает гидротехническим сооружениям у западного побережья Каспия.

В весенний период ослабление ледяного покрова обусловливается поступлением солнечной радиации к поверхности льда и процессами контактного теплообмена льда с более теплой подстилающей водной массой. Коррективы в состояние ледяного покрова вносит динамический фактор (ветер, волнение, течение). Под механическим воздействием ветра совершается взлом неподвижного льда. В результате этого резко уменьшается площадь припая и увеличивается площадь дрейфующего льда, повышается раздробленность льда, что в свою очередь ускоряет процесс таяния льда с боковых поверхностей льдин [23, 28, 62, 69].

7.3. Типизация зим по степени суровости на Северном Каспии

В табл. 7.1 представлены результаты типизации зим по суровости в Астрахани за 167-летний период.

Для северной части Каспийского моря по 100-летнему периоду наблюдений на ГМС Астрахань (с 1901 по 2000 г.) рассчитаны интервалы критериев суровости зим по суммам градусодней мороза (в °С):

– мягкая зима <265;
– умеренная зима 265–640;
– суровая зима >640.

Средняя за 167-летний период наблюдений (с ледового сезона 1845/1846 гг. по сезон 2011/2012 гг.) сумма градусодней мороза составила 467 °С (средняя СГДМ за 100-летний период в XX веке – 460 °С), максимальная – 1240 °С (сезон 1953/1954 гг. так же, как и для Азовского моря), минимальная – 37 °С (1999/2000 гг.).

Таблица 7.1

Типизация зим в Астрахани (М – мягкая зима, У – умеренная зима, С – суровая зима)

Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы	Ледовый сезон	Тип зимы
1845/46	У	1887/88	М	1929/30	С	1971/72	С
1846/47	У	1888/89	У	1930/31	С	1972/73	У
1847/48	С	1889/90	С	1931/32	С	1973/74	У
1848/49	У	1890/91	С	1932/33	С	1974/75	М
1849/50	У	1891/92	У	1933/34	У	1975/76	У
1850/51	У	1892/93	С	1934/35	У	1976/77	У
1851/52	У	1893/94	У	1935/36	У	1977/78	У
1852/53	У	1894/95	У	1936/37	У	1978/79	У
1853/54	С	1895/96	С	1937/38	М	1979/80	У
1854/55	М	1896/97	У	1938/39	У	1980/81	М
1855/56	У	1897/98	С	1939/40	С	1981/82	У
1856/57	У	1898/99	М	1940/41	У	1982/83	М
1857/58	С	1899/00	С	1941/42	С	1983/84	У
1858/59	У	1900/01	У	1942/43	У	1984/85	С
1859/60	С	1901/02	М	1943/44	М	1985/86	У
1860/61	С	1902/03	У	1944/45	С	1986/87	У
1861/62	У	1903/04	У	1945/46	У	1987/88	У
1862/63	У	1904/05	У	1946/47	С	1988/89	М
1863/64	С	1905/06	У	1947/48	М	1989/90	М
1864/65	У	1906/07	У	1948/49	У	1990/91	У
1865/66	У	1907/08	С	1949/50	С	1991/92	М
1866/67	Н.с.	1908/09	С	1950/51	С	1992/93	У
1867/68	У	1909/10	У	1951/52	У	1993/94	С
1868/69	У	1910/11	С	1952/53	У	1994/95	М
1869/70	У	1911/12	У	1953/54	С	1995/96	У
1870/71	С	1912/13	У	1954/55	М	1996/97	У
1871/72	У	1913/14	М	1955/56	С	1997/98	У
1872/73	У	1914/15	У	1956/57	У	1998/99	М
1873/74	У	1915/16	У	1957/58	М	1999/00	М
1874/75	У	1916/17	У	1958/59	У	2000/01	М
1875/76	С	1917/18	М	1959/60	У	2001/02	М
1876/77	У	1918/19	У	1960/61	М	2002/03	У
1877/78	У	1919/20	У	1961/62	М	2003/04	М
1878/79	М	1920/21	С	1962/63	У	2004/05	М
1879/80	С	1921/22	У	1963/64	У	2005/06	У
1880/81	У	1922/23	М	1964/65	У	2006/07	М
1881/82	У	1923/24	У	1965/66	М	2007/08	У
1882/83	С	1924/25	У	1966/67	У	2008/09	У
1883/84	У	1925/26	У	1967/68	У	2009/10	У
1884/85	У	1926/27	У	1968/69	С	2010/11	У
1885/86	У	1927/28	С	1969/70	У	2011/12	У
1886/87	У	1928/29	С	1970/71	У		

За 167-летний период наблюдений за СГДМ в Астрахани были выявлены 29 мягких и 37 суровых зим (17 и 22 % соответственно). За 100-летний период (XX век) наблюдений за температурой воздуха на Каспийском море (с зимнего сезона 1900/1901 гг. по сезон 1999/2000 гг.) были выявлены 19 мягких и 20 суровых зим (19 и 20 % соответственно). За последний 30-летний период (с зимнего сезона 1982/1983 гг. по сезон 2010/2011 гг.) наблюдалось 12 мягких и 2 суровые зимы (40 и 7 % соответственно), за 12 лет XXI века – 5 мягких зим и ни одной суровой зимы (42 и 0 % соответственно).

По данным ГМС Астрахань, для мягкой зимы в большой степени соответствующим типовым характеристикам оказался ледовый сезон 1980/1981 гг., для умеренной зимы – 2007/2008 гг., для суровой зимы – 1971/1972 годов. Самой суровой для Каспия являлась зима 1953/1954 годов.

На рис. 7.3–7.6 представлена ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине декабря 1980, 2007, 1971 и 1953 гг. на Северном Каспии. Условные обозначения ледовых характеристик на картах соответствуют «Номенклатуре морских льдов». Раскраска на рис. 7.3–7.20 – по зимней шкале – по преобладающей возрастной характеристике дрейфующего льда [76].

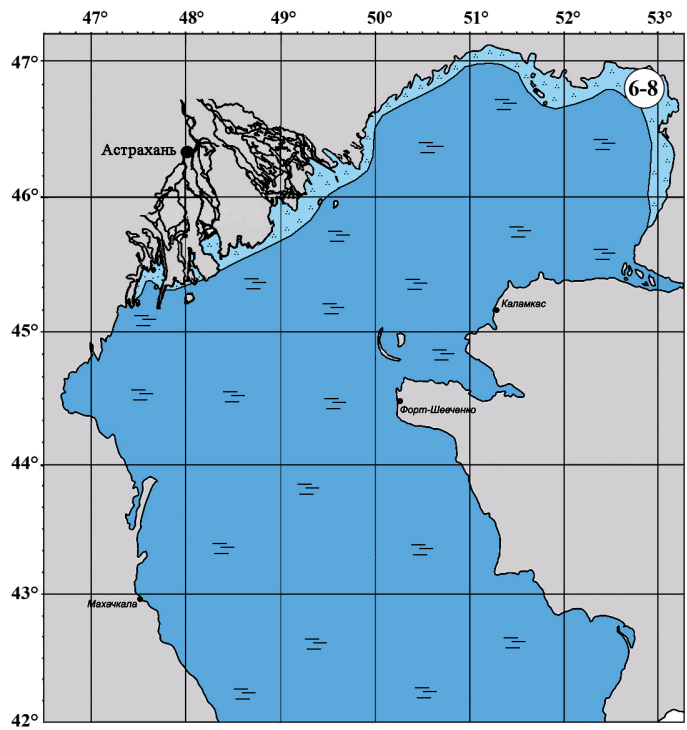


Рис. 7.3. Ледовая обстановка в Каспийском море в декабре 1980 года. Мягкая зима.

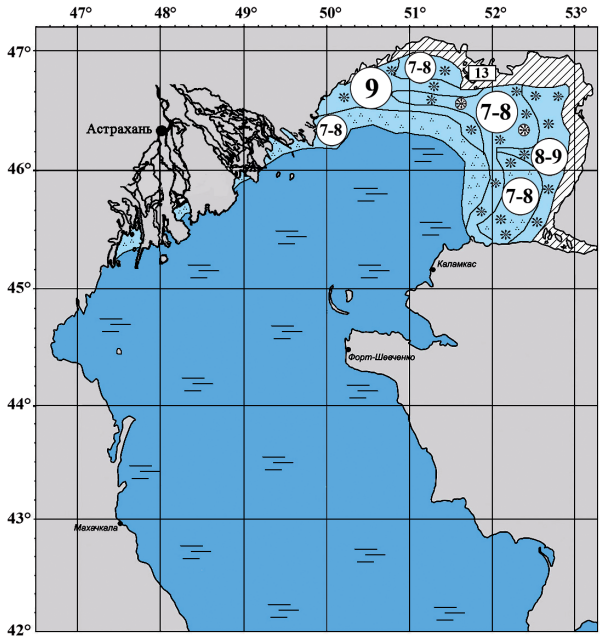


Рис. 7.4. Ледовая обстановка в Каспийском море в декабре 2007 года. Умеренная зима.

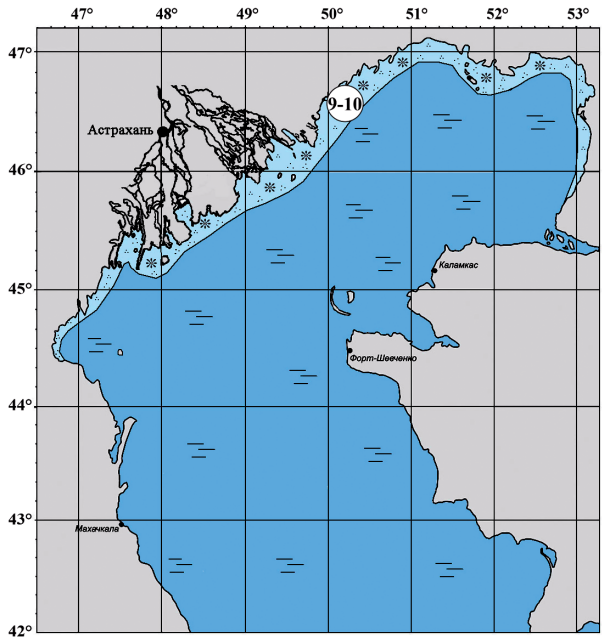


Рис. 7.5. Ледовая обстановка в Каспийском море в декабре 1971 года. Суровая зима.

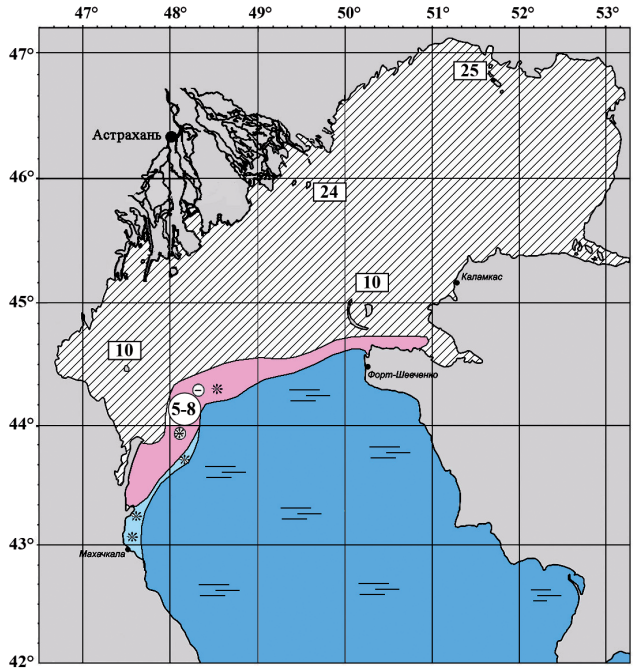


Рис. 7.6. Ледовая обстановка в Каспийском море в декабре 1953 года. Самая суровая зима.

Анализ рис. 7.3–7.6 показывает, что в декабре не всегда можно определить суровость будущей зимы. Так, в суровую зиму 1971/1972 гг. в декабре начальные виды льда и нилас узкой полосой наблюдались лишь вдоль северного побережья Каспия, в то время как в экстремально суровую зиму 1953/1954 гг. в середине месяца почти весь Северный Каспий был покрыт припайным льдом толщиной от 10 до 25 см.

Обычно в середине декабря на трассе порт Оля – порт Махачкала начальные виды льда наблюдаются только севернее о. Искусственный. Остальная часть трассы свободна ото льда.

На рис. 7.7–7.20 представлена ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине января–апреля 1981, 2008, 1972 и 1954 гг. на Северном Каспии.

В табл. 7.2–7.4 приведена информация о преобладающих ледовых характеристиках на трассе порт Оля – порт Махачкала в январе–марте.

В середине апреля после мягких и умеренных зим Северный Каспий обычно свободен ото льда. Анализ рис. 7.19 и 7.20 показывает, что трасса порт Оля – порт Махачкала в середине апреля практически свободна ото льда после любого типа зимы. После экстремально суровой зимы 1953/1954 гг. последние льдины в районе о. Искусственный – Лагань исчезли 16 апреля, в районе Махачкалы – 20 апреля.

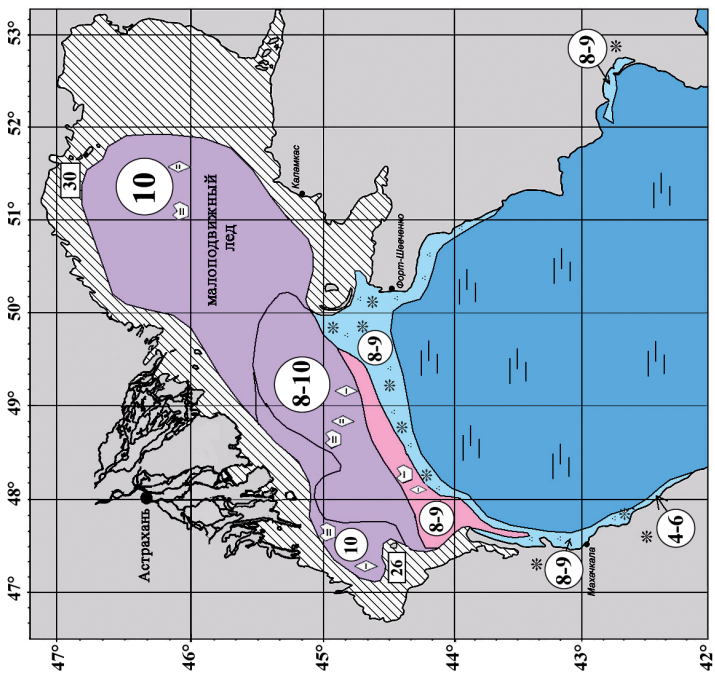


Рис. 7.8. Ледовая обстановка в Каспийском море в январе 2008 года. Умеренная зима.

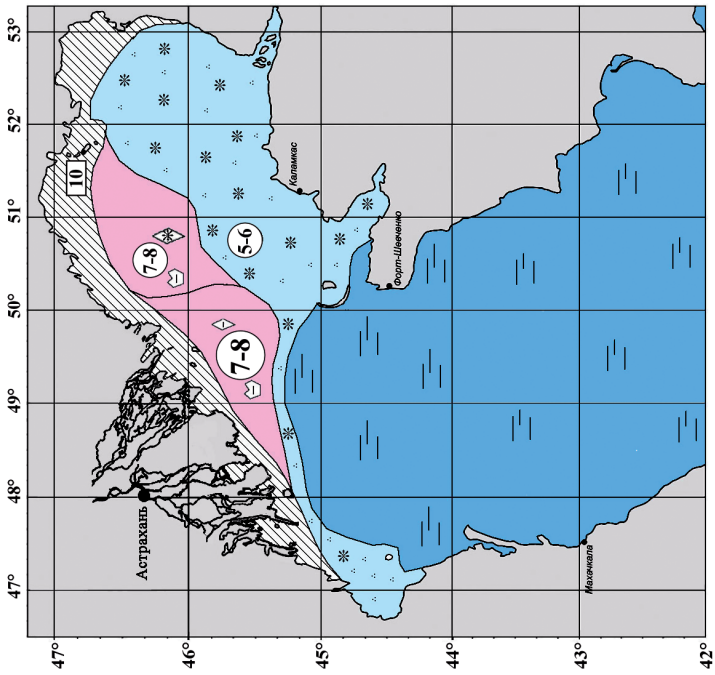


Рис. 7.7. Ледовая обстановка в Каспийском море в январе 1981 года. Мягкая зима.

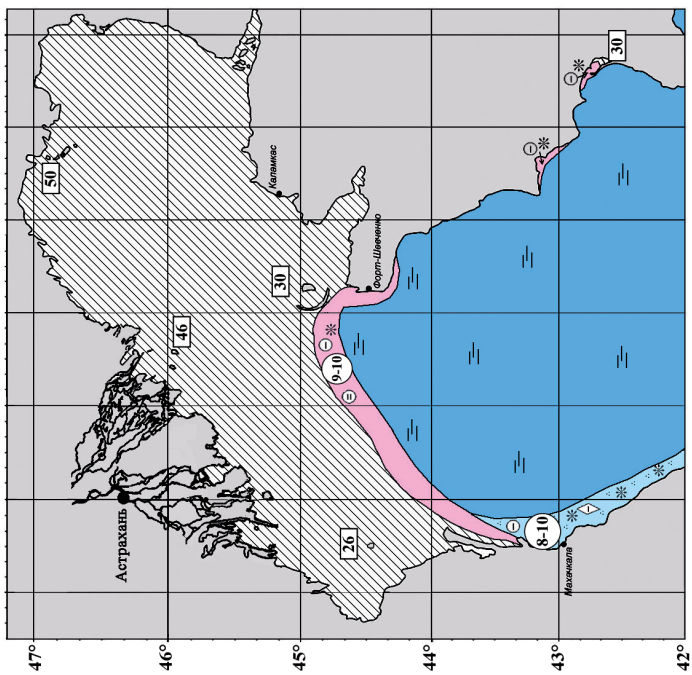


Рис. 7.10. Ледовая обстановка в Каспийском море в январе 1954 года. Самая суровая зима.

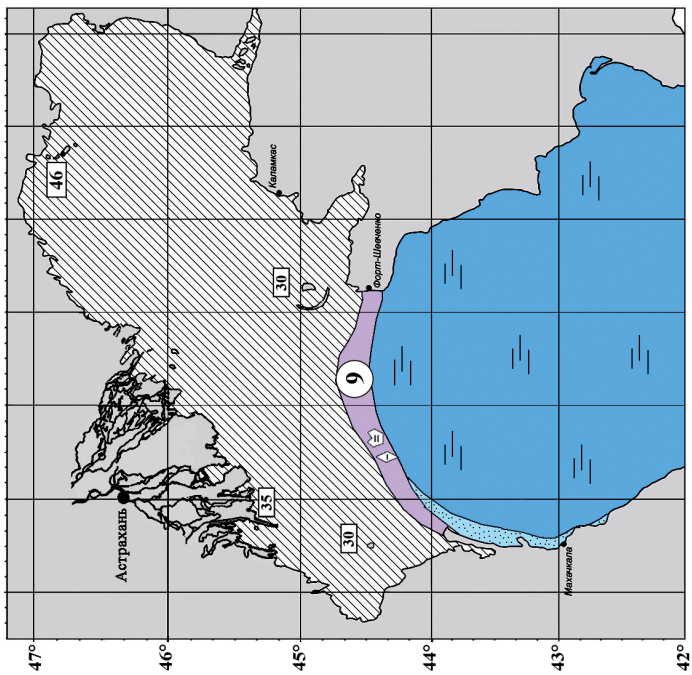


Рис. 7.9. Ледовая обстановка в Каспийском море в январе 1972 года. Суровая зима.

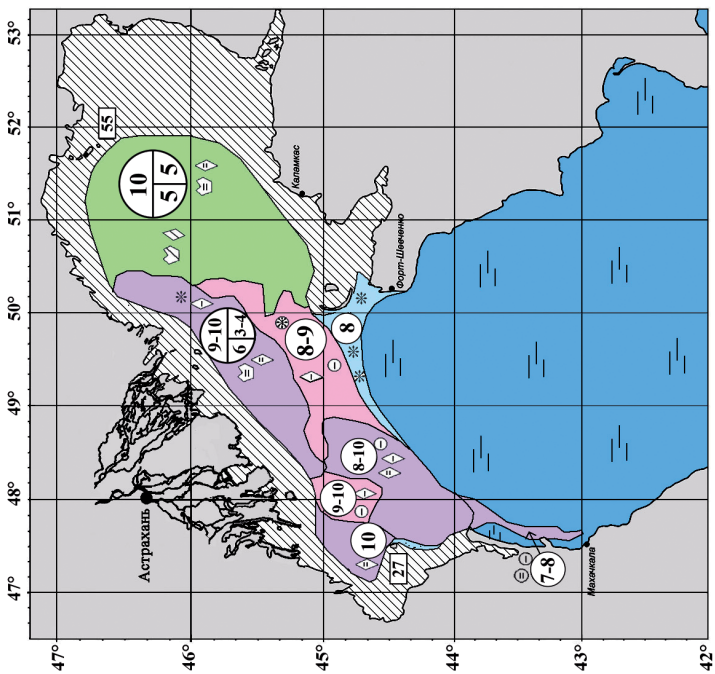


Рис. 7.11. Ледовая обстановка в Каспийском море в феврале 1981 года. Мягкая зима.

Рис. 7.12. Ледовая обстановка в Каспийском море в феврале 2008 года. Умеренная зима.

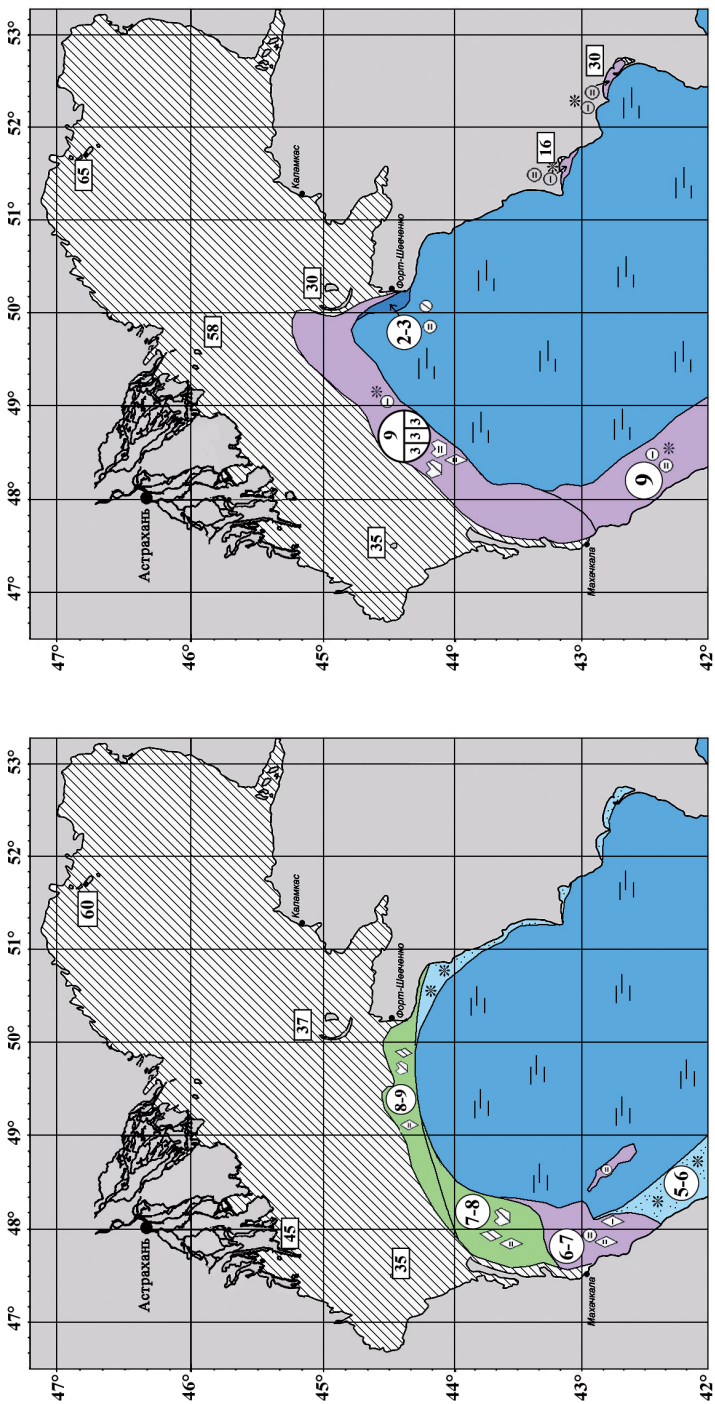


Рис. 7.13. Ледовая обстановка в Каспийском море в феврале 1972 года. Суровая зима.

Рис. 7.14. Ледовая обстановка в Каспийском море в феврале 1954 года. Самая суровая

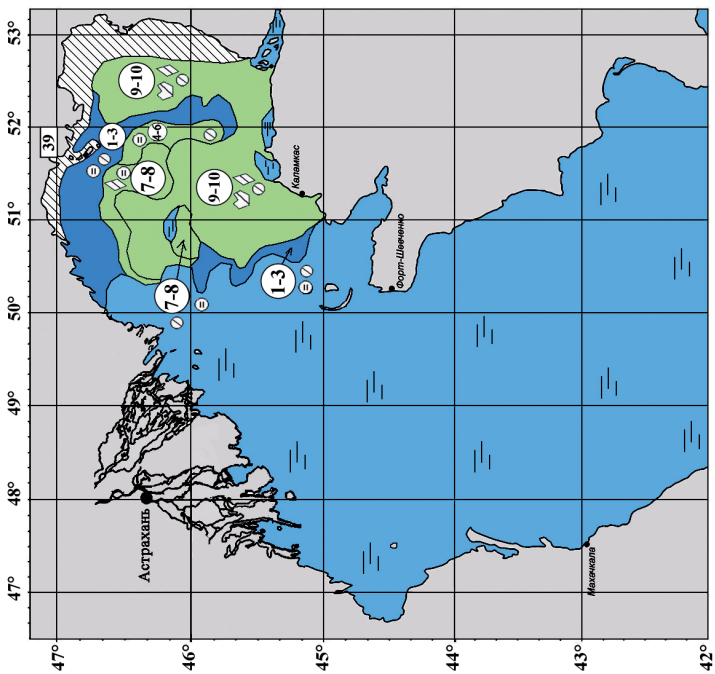


Рис. 7.16. Ледовая обстановка в Каспийском море в марте 2008 года. После умеренной зимы.

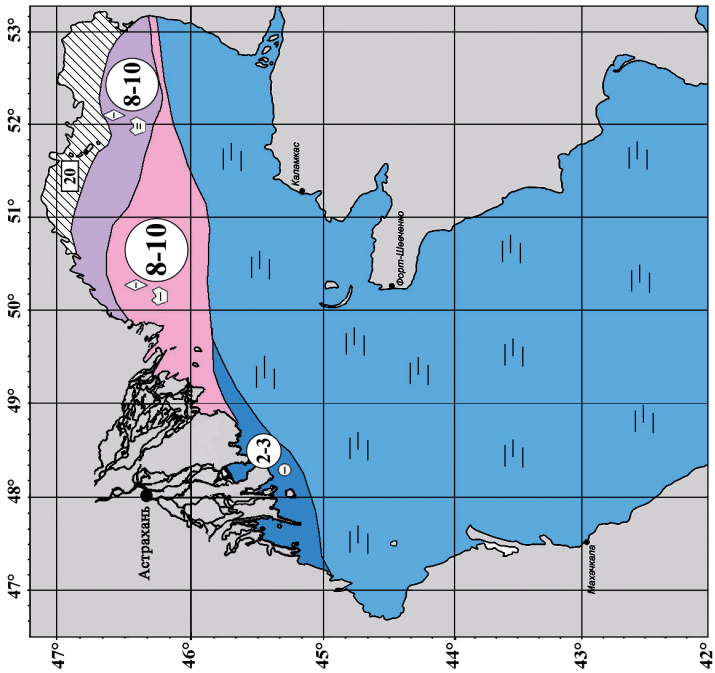


Рис. 7.15. Ледовая обстановка в Каспийском море в марте 1981 года. После мягкой зимы.

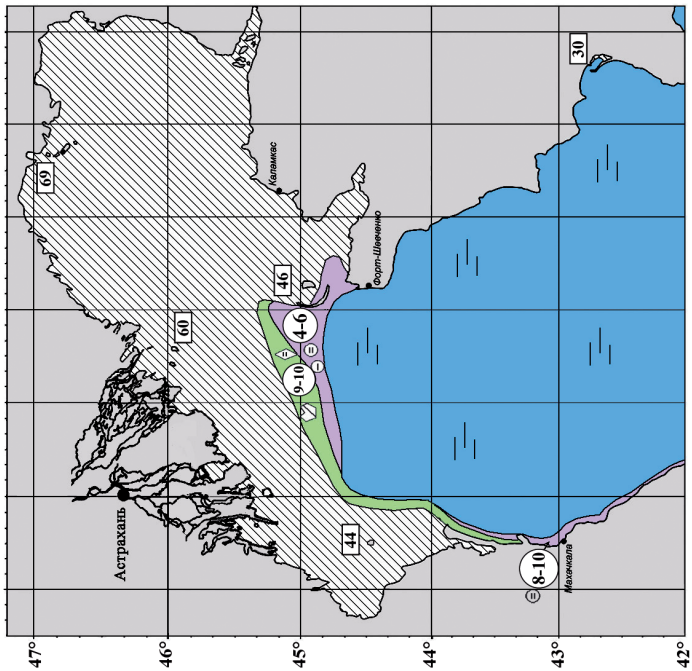


Рис. 7.18. Ледовая обстановка в Каспийском море в марте 1954 года. После самой суровой зимы.

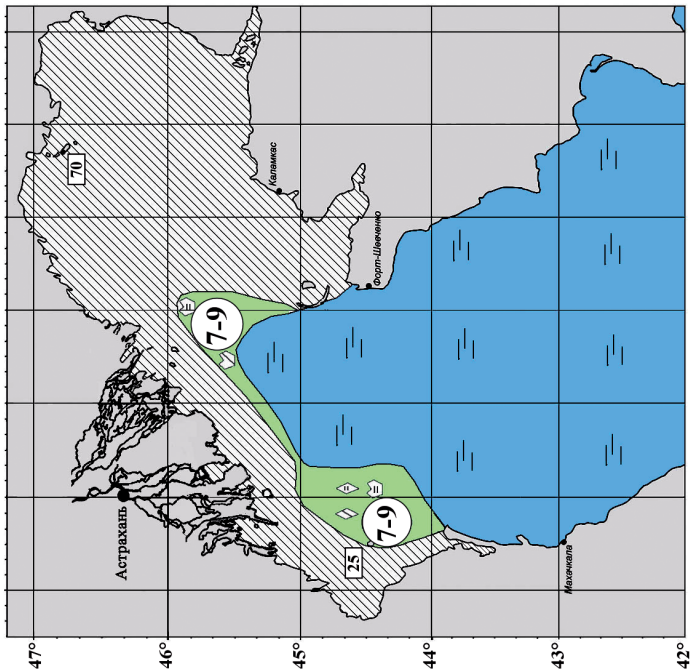


Рис. 7.17. Ледовая обстановка в Каспийском море в марте 1972 года. После суровой зимы.

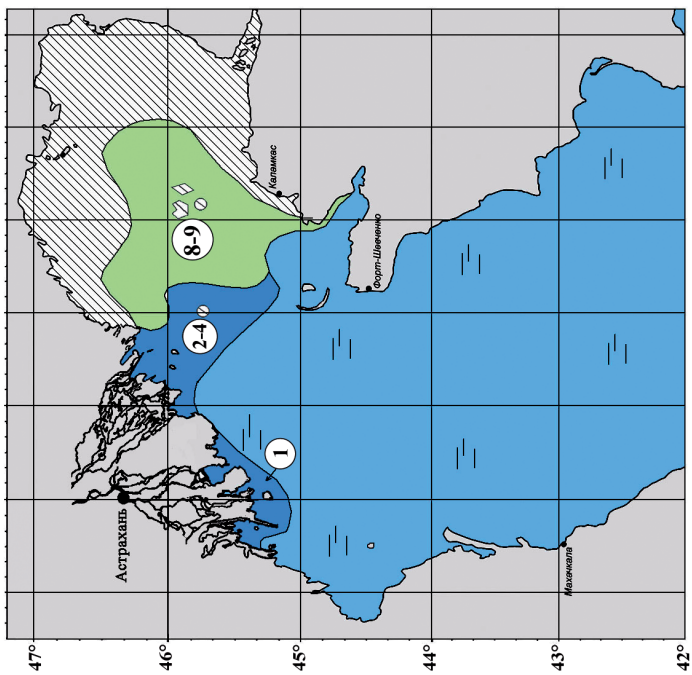


Рис. 7.19. Ледовая обстановка в Каспийском море в апреле 1972 года. После суровой зимы

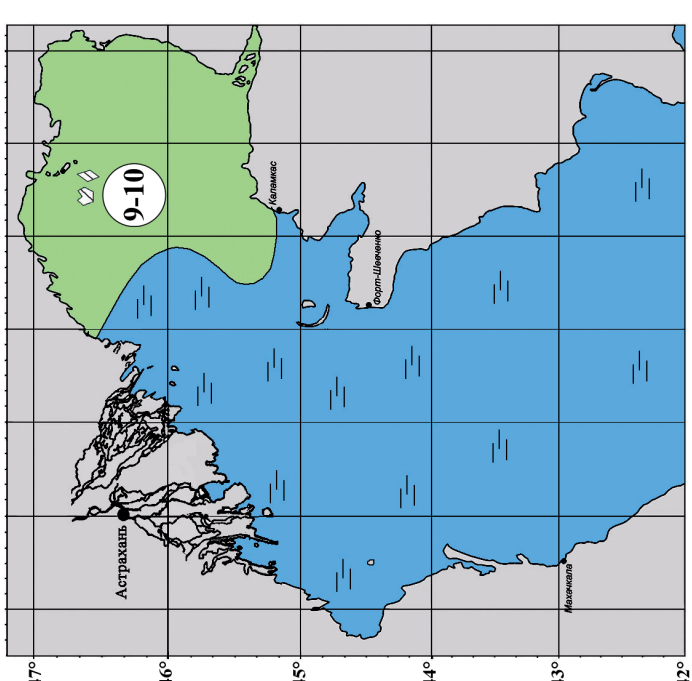


Рис. 7.20. Ледовая обстановка в Каспийском море в апреле 1954 года. После самой суровой зимы.

Таблица 7.2

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе порт Оля – порт Махачкала в январе

Участок трассы	Порт Оля – о. Искусственный	о. Искусственный – Астраханский рейд	Астраханский рейд – о. Чечень	о. Чечень – порт Махачкала
Мягкая зима				
Толщина припая, см	5–10 (весь участок трассы)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	6–8 (часть участка трассы)	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	нилас, начальные виды	чисто	чисто
Умеренная зима				
Толщина припая, см	15–25 (весь участок трассы)	10–15 (часть участка трассы)	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	8–10	8–10	8–9 (часть участка трассы)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	серо-белый, серый	серый, нилас	нилас, начальные виды
Суровая зима				
Толщина припая, см	25–35 (весь участок трассы)	25–35 (весь участок трассы)	25–30 (часть участка трассы)	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	–	9–10	8–9
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	–	серо-белый, серый	нилас, начальные виды
Самая суровая зима				
Толщина припая, см	25–35 (весь участок трассы)	25–35 (весь участок трассы)	25–30 (часть участка трассы)	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	–	9–10	8–10 (часть участка трассы)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	–	серо-белый, серый	серый, нилас

Таблица 7.3

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе порт Оля – порт Махачкала в феврале

Участок трассы	Порт Оля – о. Искусственный	о. Искусственный – Астраханский рейд	Астраханский рейд – о. Чечень	о. Чечень – порт Махачкала
Мягкая зима				
Толщина припая, см	5–10 (часть участка трассы)	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	5–7	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	нилас, начальные виды	чисто	чисто	чисто
Умеренная зима				
Толщина припая, см	20–30 (весь участок трассы)	15–20 (часть участка трассы)	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	9–10	9–10	7–8 (часть участка трассы)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	серо-белый, серый	серо-белый, серый	серо-белый, серый
Суровая зима				
Толщина припая, см	35–45 (весь участок трассы)	30–40 (весь участок трассы)	25–35 (весь участок трассы)	20–30 (в районе порта)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	–	–	7–9 (весь участок трассы)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	–	–	тонкий однолетний (до 35 см), серо-белый
Самая суровая зима				
Толщина припая, см	40–50 (весь участок трассы)	35–45 (весь участок трассы)	25–35 (весь участок трассы)	25–35 (в районе порта)
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	–	–	9–10 (весь участок трассы)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	–	–	тонкий однолетний (до 35 см), серо-белый

Таблица 7.4

Преобладающие характеристики ледовой обстановки на трассе порт Оля – порт Махачкала в марте

Участок трассы	Порт Оля – о. Искусственный	о. Искусственный – Астраханский рейд	Астраханский рейд – о. Чечень	о. Чечень – порт Махачкала
Мягкая зима				
Толщина припая, см	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	2–3	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серый	чисто	чисто	чисто
Умеренная зима				
Толщина припая, см	–	–	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	2–3	0	0	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	серо-белый, серый	чисто	чисто	чисто
Суровая зима				
Толщина припая, см	25–35 (весь участок трассы)	20–30 (часть участка трассы)	–	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	7–9	7–9	0
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	тонкий однолетний (до 35 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 35 см), серо-белый	чисто
Самая суровая зима				
Толщина припая, см	40–50 (весь участок трассы)	35–45 (весь участок трассы)	25–35 (часть участка трассы)	–
Сплоченность дрейфующего льда, баллы	–	–	9–10	8–10 (часть участка трассы)
Возрастная характеристика дрейфующего льда	–	–	тонкий однолетний (до 45 см), серо-белый	тонкий однолетний (до 45 см), серо-белый

7.4. Ледообразование в Каспийском море

В табл. 7.5 приведены даты наступления ледовых фаз по данным ГМС Каспийского моря. Анализ осуществлен за полный ряд наблюдений по станциям (71–83 года) и за последние 30 лет. При составлении таблиц использовались данные архива Гидрометцентра России, а также [35, 86]. В табл. 7.6 приведены средние даты первого появления льда, окончательного очищения моря ото льда и продолжительности ледового периода для первых 12 лет XXI века.

Таблица 7.5

Даты наступления основных ледовых фаз на Северном Каспии

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Разрушение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
о. БОЛЬШОЙ ПЕШНОЙ – ЗЮЙДВЕСТОВСКАЯ ШАЛЫГА (Казахстан) (с сезона 1929/1930 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 83 года). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – 0 %.					
Средняя	20.11	27.11	29.03	31.03	130
Ранняя	17.10 (1976)	17.10 (1976)	1.03 (2002)	1.03 (2002)	83 (2003/04)
Поздняя	28.12 (2005)	28.12 (2005)	16.04 (1956)	21.04 (1956)	178 (1949/50)
СКО	15	15	11	11	22
о. БОЛЬШОЙ ПЕШНОЙ – ЗЮЙДВЕСТОВСКАЯ ШАЛЫГА (Казахстан) (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – 3 %.					
Средняя	28.11	5.12	23.03	26.03	117
Ранняя	11.11 (1993)	11.11 (1993)	1.03 (2002)	1.03 (2002)	83 (2003/04)
Поздняя	28.12 (2005)	28.12 (2005)	10.04 (2012)	12.04 (1996)	149 (2011/12)
СКО	11	12	13	10	18
о. ИСКУССТВЕННЫЙ – ЛАГАНЬ (с сезона 1941/1942 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 71 год). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – 3 %.					
Средняя	29.11	н.с.	н.с.	21.03	111
Ранняя	25.10 (1953)	н.с.	н.с.	17.02 (2009)	58 (2008/09)
Поздняя	16.01 (2011)	н.с.	н.с.	16.04 (1954)	170 (1953/54)
СКО	18	н.с.	н.с.	13	25

Продолжение табл. 7.5

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Разрушение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
о. ИСКУССТВЕННЫЙ – ЛАГАНЬ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – 5 %.					
Средняя	4.12	н.с.	н.с.	15.03	96
Ранняя	14.11 (1984, 86)	н.с.	н.с.	17.02 (2009)	57 (2008/09)
Поздняя	16.01 (2011)	н.с.	н.с.	10.04 (1987)	145 (1986/87)
СКО	16	н.с.	н.с.	13	24
о. ТЮЛЕНИЙ (с сезона 1939/1940 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 73 года). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – н.с.					
Средняя	18.12	н.с.	1.03	12.03	85
Ранняя	31.10 (1976)	н.с.	24.01 (2009)	24.01 (2001)	1 (2000/01)
Поздняя	26.02 (2007)	н.с.	30.03 (1954)	11.04 (1969)	137 (1956/57)
СКО	21	н.с.	18	17	31
о. ТЮЛЕНИЙ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – н.с.					
Средняя	28.12	н.с.	17.02	4.03	66
Ранняя	17.11 (1986)	н.с.	24.01 (2009)	24.01 (2001)	1 (2000/01)
Поздняя	26.02 (2007)	н.с.	7.03 (1998)	4.04 (2011)	126 (1986/87)
СКО	24	н.с.	21	21	38
о. КУЛАЛЫ (Казахстан) (с сезона 1939/1940 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 73 года). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – 2 %.					
Средняя	16.12	н.с.	н.с.	13.03	89
Ранняя	7.11 (1953)	н.с.	н.с.	6.02 (2009)	14 (2000/01)
Поздняя	25.01 (2010)	н.с.	н.с.	18.04 (1954)	162 (1953/54)
СКО	19	н.с.	н.с.	17	30

Окончание табл. 7.5

Характерные даты	Первое появление льда	Устойчивое появление льда	Разрушение припая	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
о. КУЛАЛЫ (Казахстан) (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия льда – 0 %. Повторяемость отсутствия припая – 6 %.					
Средняя	27.12	н.с.	н.с.	5.03	68
Ранняя	20.11 (1993)	н.с.	н.с.	6.02 (2009)	14 (2000/01)
Поздняя	25.01 (2010)	н.с.	н.с.	3.04 (1985)	111 (1993/94)
СКО	20	н.с.	н.с.	18	27
ФОРТ ШЕВЧЕНКО (Казахстан) (с сезона 1932/1933 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 80 лет). Повторяемость отсутствия льда – 8 %. Повторяемость отсутствия припая – 28 %.					
Средняя	2.01	н.с.	29.02	4.03	64
Ранняя	22.11 (1951)	н.с.	21.01 (2003, 2008)	7.01 (1944)	1 (2006/07)
Поздняя	6.03 (1983)	н.с.	30.03 (1954)	5.04 (1942)	120 (1953/54)
СКО	23	н.с.	20	20	33
ФОРТ ШЕВЧЕНКО (Казахстан) (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия льда – 11 %. Повторяемость отсутствия припая – 44 %.					
Средняя	18.01	н.с.	9.02	3.03	45
Ранняя	1.12 (1993)	н.с.	21.01 (2003, 2008)	30.01 (2001)	1 (2006/07)
Поздняя	6.03 (1983)	н.с.	9.03 (1994)	26.03 (2003)	113 (1993/94)
СКО	24	н.с.	17	16	33

Примечание. «Н.с.» – нет сведений, СКО – среднее квадратическое отклонение.

Согласно табл. 7.5, на станции «Форт Шевченко» самая ранняя дата взлома припая зафиксирована значительно позже, чем ранняя дата очищения моря ото льда. Это связано с тем, что припай в большинство мягких зим в районе Форта Шевченко не образовывался, а очищение происходило в аномально ранние сроки именно в такие зимы. В отдельные годы (в 2–6 % случаев) припай может не образовываться в районе о. Искусственный – Лагань, а также у о. Кулалы. В некоторые мягкие зимы припай может не образовываться в районе о. Тюлений.

Анализ табл. 7.5 показывает, что за последнее 30-летие даты ледообразования сдвинулись в сторону более поздних сроков в среднем на 5–16 дней, а даты очищения моря ото льда – в сторону более ранних сроков на 5–8 дней. Продолжительность ледового периода сократилась в среднем на 2–3 недели. Для большинства станций уменьшилась повторяемость образования припая в среднем на 2–4 %, а для Форта Шевченко – на 16 %.

Таблица 7.6

Средние даты наступления ледовых фаз на Северном Каспии по 12-летнему ряду наблюдений в XXI веке

ГМС	Первое появление льда	Окончательное очищение	Ледовый период (дни)
о. Большой Пешной (Казахстан)	3.12	17.03	111
о. Искусственный – Лагань	17.12	12.03	86
о. Тюлений	6.01	28.02	53
о. Кулалы (Казахстан)	5.01	28.02	48
Форт Шевченко (Казахстан)	19.01	28.02	38

По результатам сравнения табл. 7.5 и 7.6, еще более явные климатические изменения произошли в первые 12 лет XXI века: даты ледообразования (по сравнению с многолетними средними значениями) сдвинулись в сторону более поздних сроков на 10–19 дней, а даты очищения моря ото льда – в сторону более ранних сроков на 9–14 дней. Продолжительность ледового периода сократилась в среднем на 3–5 недель.

Ледообразование в районе Форта Шевченко (на границе Северного и Среднего Каспия) происходит в 92 % случаев. За последние 30 лет повторяемость появления льда в районе Форта Шевченко уменьшилась на 3 %. В значительно большей степени сократилась повторяемость образования припая в районе Форта Шевченко – с 72 до 56 %.

На рис. 7.21–7.23 показаны ранние, средние и поздние сроки первого появления льда в Каспийском море. Следует отметить, что даты появления льда слабо связаны с суровостью будущей зимы. В предзимья мягких зим лед может появляться в ранние сроки, а в суровые зимы – в поздние. Например, в суровую зиму 1939/1940 гг. лед в районе о. Пешной появился только 5 декабря.

Раннее ледообразование на Северном Каспии связано с активизацией арктического антициклона к началу октября, который в такие годы располагается над Скандинавией и севером Европейской территории России. Над Западной Сибирью находится высотный циклон. Ложбина его ориентирована на запад Казахстана и Малую Азию. В тылу глубокой ложбины холодный воздух устремляется с северо-востока на юго-запад.

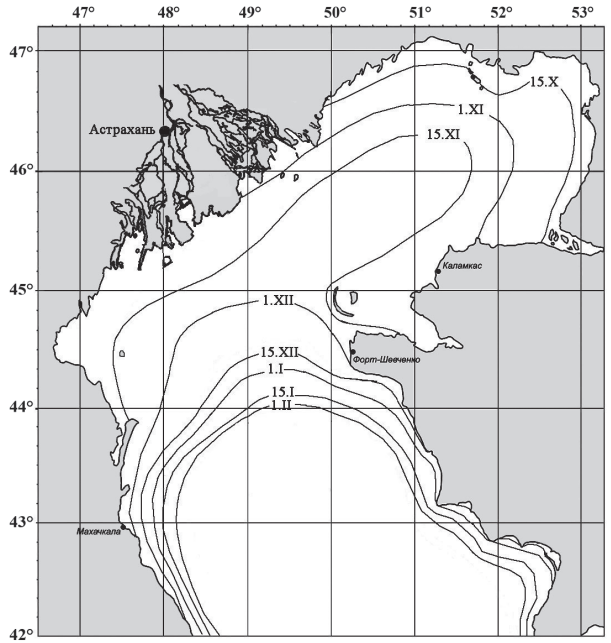


Рис. 7.21. Ранние сроки начала образования льда в Каспийском море.

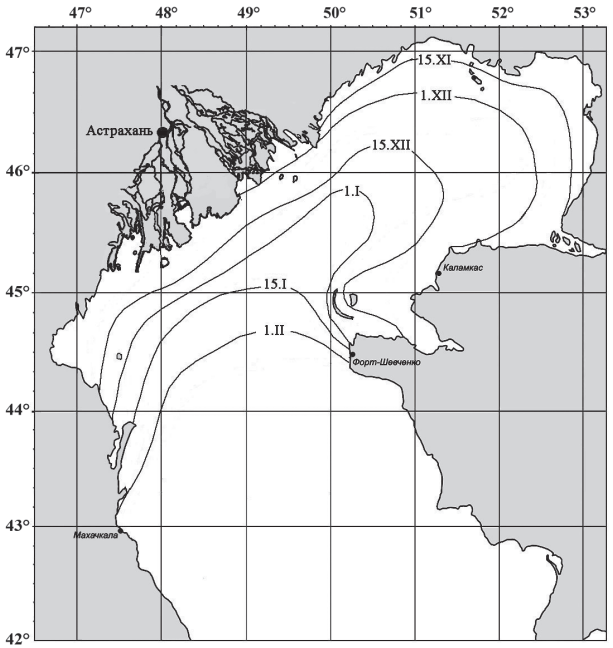


Рис. 7.22. Средние сроки начала образования льда в Каспийском море.

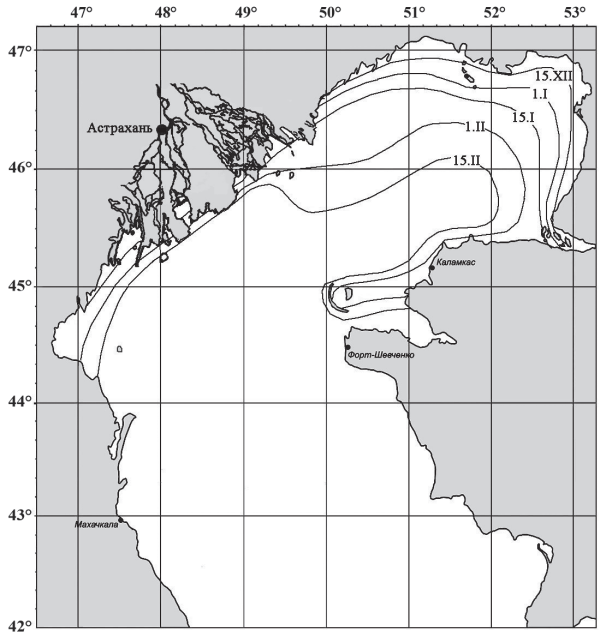


Рис. 7.23. Поздние сроки начала образования льда в Каспийском море.

Распространение на Каспий холодных арктических воздушных масс сопровождается усилением северных ветров и резким понижением температуры воздуха до −7...−5 °С. В случае сохранения морозов, через 12 дней лед образуется у берегов на мелководьях уже в середине октября. Процесс ледообразования начинается либо с северо-восточной части моря, либо с северо-западной части (на мелководных приустьевых участках Волги), либо вдоль всего северного побережья одновременно. Повторяемость ледообразования на Северном Каспии в октябре 8–9 %.

Лед раннего ледообразования в виде сала, ниласа и заберегов неустойчив и с наступлением потепления, подвергаясь тепловым и динамическим воздействиям (ветер, волнение), быстро разрушается. Однако даже кратковременное экстремально раннее (в октябре) ледообразование в каналах и на мелководьях представляет стихийное явление. Примером может служить 1953 г., когда ледообразование в районе Чистой Банки – о. Искусственный началось 25 октября, в районе о. Кулалы – 7 ноября, в заливе Александра Бековича-Черкасского – 28 октября, в бухте Кендирли – 26 октября.

В Красноводском заливе (г. Туркменбаши) ледяной покров ранее середины ноября не образуется (наиболее раннее появление льда наблюдалось 14 ноября 1952 г.). На участке от устья р. Сулак до Изербаша экстремально раннее ледообразование отмечалось 23–28 ноября 1953 г. (в районе Махачкалы – 25 ноября). На открытых участках побережья в районе Дербента даже в холодные предзимья ледообразование начинается не ранее декабря.

Образование льда в сроки, близкие к норме (в третьей декаде ноября), у побережья Северного Каспия происходит при любых направлениях вторжения холодного воздуха. В ноябре наблюдаются случаи понижения температуры до отрицательных значений при антициклоническом характере погоды. Сильному ночному выхолаживанию воды на мелководье, сопровождаемому кратковременным образованием начальных видов льда (ледяные иглы, сало), способствует установление ясной погоды со слабым ветром при температуре воды, близкой к «точке замерзания».

В соответствии с данными табл. 7.5 средний срок начала ледообразования в районе о. Пешной – 20 ноября. К концу ноября ледообразование распространяется на предустьевое взморье Волги (район о. Искусственный – Лагань – 29 ноября). В течение декабря процесс ледообразования охватывает южные районы Северного Каспия (о. Тюлений – 18 декабря, о. Кулалы – 16 декабря, Форт Шевченко – 2 января).

В течение декабря лед появляется и в открытых районах Северного Каспия. Однако распространение его по площади происходит гораздо медленнее, чем на мелководье, что объясняется более свободным теплообменом с прогретыми водными массами глубоководных районов Среднего Каспия. Поэтому к югу от 45° с.ш. ледообразование наступает лишь в третьей декаде января. Полное замерзание и образование припая, как правило, наблюдается только севернее линии, соединяющей о. Чечень и северную оконечность о. Кулалы.

В теплые предзимья в декабре над Каспием располагается обширная область пониженного давления. При этом устанавливается устойчивый юго-западный перенос. В такие годы ледообразование в Северном Каспии происходит лишь в декабре.

В экстремально теплые предзимья охлаждение водных масс протекает медленно, и процесс ледообразования вдоль всего мелководного северного побережья происходит лишь во второй половине декабря – январе: о. Пешной – 28 декабря 2005 г., район о. Искусственный – Лагань – 16 января 2011 года. В районе Кулалы экстремально позднее ледообразование наблюдалось 25 января 2010 г., в районе о. Тюлений – 26 февраля 2007 г., в районе Форта Шевченко – 6 марта 1983 года.

Диапазон колебания сроков начала ледообразования в прибрежных районах Каспия в наиболее холодные и теплые зимы составляет 2,5–3 месяца.

7.5. Нарастание и распространение льда в Каспийском море

В табл. 7.7 приведены данные о ледовитости Северного Каспия. Анализ таблицы показывает, что в отдельные зимы среднемесячная ледовитость Северного Каспия приближается к 100 %, однако не достигает этой цифры. В отдельные декады февраля ледовитость моря может достигать 100 %. Так было, например, в первой и второй декадах февраля 1972 г. (рис. 7.13).

Таблица 7.7

Среднемесячная (осредненная по трем декадам) ледовитость Северного Каспия за весь период наблюдений, за последние 30 лет и за первые 12 лет XXI века (%)

Месяц	XII	I	II	III	IV
с сезона 1927/1928 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 85 лет					
Средняя	48	73	75	52	10
Макс.	89	92	98	89	50
Мин.	0	16	29	3	0
СКО	19	13	13	20	13
с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет					
Средняя	44	68	70	42	4
Макс.	86	86	97	81	47
Мин.	4	16	29	3	0
СКО	20	16	15	20	10
с сезона 2000/2001 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 12 лет					
Средняя	40	66	71	34	2
Макс.	80	85	97	74	20
Мин.	4	16	38	3	0
СКО	22	20	16	22	6

Наибольшая за 85 лет среднемесячная ледовитость (98 %) наблюдалась в феврале 1972 г. (суровая зима). Наименьшая февральская ледовитость (29 %) наблюдалась в 2000 г. (в самую мягкую за 167-летний период наблюдений зиму).

За 30-летний период и за первые 12 лет XXI века наибольшие изменения, как показывает анализ табл. 7.7, претерпела мартовская ледовитость Северного Каспия, среднемесячные значения которой для 30-летнего периода уменьшились на 10 %, а для первых 12 лет XXI века – на 18 %.

Положение границ (средних, максимальных и минимальных) распространения льда, представленное на рис. 7.24 для ноября–апреля, имеет большую межгодовую изменчивость, что связано с суровостями зим. Так, в январе в отдельные годы лед может наблюдаться в виде неширокой полосы лишь у северо-восточного побережья моря, тогда как в годы наибольшей интенсивности развития ледового покрова лед наблюдается на всей акватории Северного Каспия.

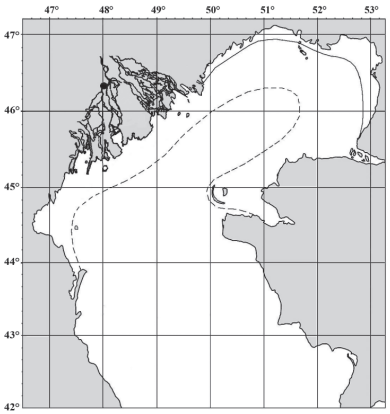
В табл. 7.8 приведены декадные (средние, максимальные и минимальные) значения толщины припайного льда на Северном Каспии за весь период (57–83 года) наблюдений и за последнее 30-летие. В табл. 7.9 приведены данные о толщине припайного льда на Северном Каспии за первые 12 лет XXI века.

Устьевая зона р. Волга отличается наибольшим разнообразием в толщинах льда. На фарватерах устьевого бара, где скорости течения большие, толщина льда наименьшая, а на отмелях бара толщина льда наибольшая.

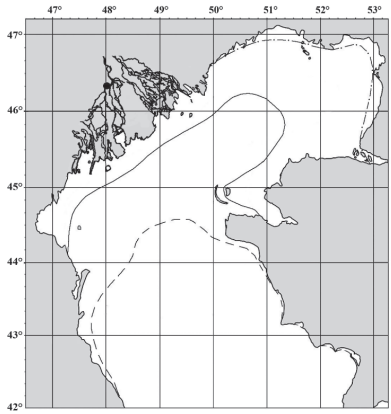
Таблица 7.8

Толщина припайного льда на Северном Каспии (см)

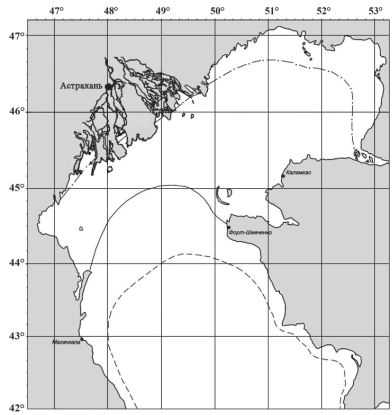
Месяц	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель		
Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
о. БОЛЬШОЙ ПЕШНОЙ (с сезона 1929/1930 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 83 года). Повторяемость отсутствия припая – 0 %.																		
Средняя	0	0	12	16	19	23	28	33	37	41	42	44	43	40	40	37	0	0
Макс.	0	17	28	33	42	48	69	71	75	78	86	94	96	92	72	56	0	0
Мин.	0	0	4	5	2	6	2	10	8	8	8	8	8	8	0	0	0	0
СКО	–	–	7	9	11	12	15	15	17	18	20	20	20	20	–	–	–	–
о. БОЛЬШОЙ ПЕШНОЙ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия припая – 0 %.																		
Средняя	0	0	8	12	13	18	21	24	27	28	29	30	29	28	0	0	0	0
Макс.	0	11	17	29	30	35	47	51	54	55	60	56	56	50	38	18	0	0
Мин.	0	0	4	5	4	6	8	10	8	8	8	8	8	8	0	0	0	0
СКО	–	–	5	7	7	7	9	8	9	10	12	12	11	11	–	–	–	–
о. ИСКУССТВЕННЫЙ – ЛАГАНЬ (с сезона 1952/1953 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 60 лет). Повторяемость отсутствия припая – 3 %.																		
Средняя	0	0	0	0	9	12	17	18	23	25	25	28	28	0	0	0	0	0
Макс.	0	10	14	24	22	24	30	46	50	53	56	58	60	54	32	0	0	0
Мин.	0	0	0	0	2	4	4	2	4	6	4	6	5	0	0	0	0	0
СКО	–	–	–	–	6	6	8	10	11	13	13	13	14	–	–	–	–	–
о. ИСКУССТВЕННЫЙ – ЛАГАНЬ (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия припая – 5 %.																		
Средняя	0	0	0	0	0	10	14	14	17	20	21	21	19	0	0	0	0	0
Макс.	0	0	3	12	13	20	29	29	30	40	46	37	35	33	0	0	0	0
Мин.	0	0	0	0	0	4	4	2	4	6	5	6	5	0	0	0	0	0
СКО	–	–	–	–	–	6	9	8	8	11	11	10	12	–	–	–	–	–
ФОРТ ШЕВЧЕНКО (с сезона 1955/1956 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 57 лет). Повторяемость отсутствия припая – 28 %.																		
Средняя	0	0	0	0	0	14	21	22	23	24	32	0	0	0	0	0	0	0
Макс.	0	0	0	9	10	20	32	40	51	60	75	81	70	54	0	0	0	0
Мин.	0	0	0	0	0	10	10	5	6	6	5	0	0	0	0	0	0	0
СКО	–	–	–	–	–	4	7	11	15	15	18	–	–	–	–	–	–	–
ФОРТ ШЕВЧЕНКО (с сезона 1982/1983 гг. по сезон 2011/2012 гг. – 30 лет). Повторяемость отсутствия припая – 44 %.																		
Средняя	0	0	0	0	0	0	0	18	18	20	25	0	0	0	0	0	0	0
Макс.	0	0	0	9	10	15	32	34	20	30	41	47	23	0	0	0	0	0
Мин.	0	0	0	0	0	0	0	7	6	6	5	0	0	0	0	0	0	0
СКО	–	–	–	–	–	–	–	12	12	12	11	–	–	–	–	–	–	–



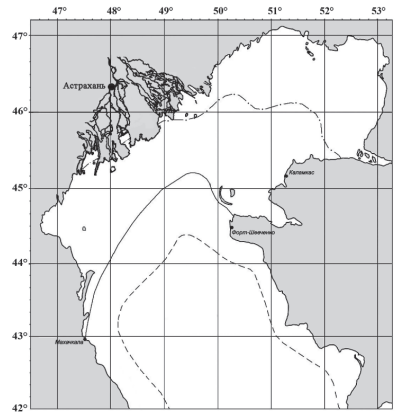
7.24а (ноябрь)



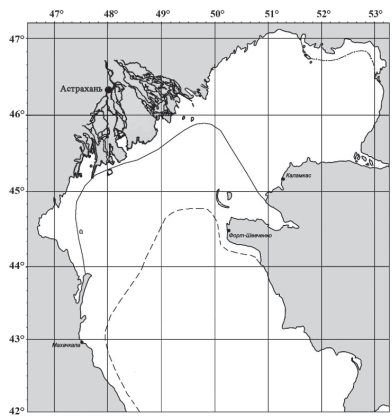
7.24б (декабрь)



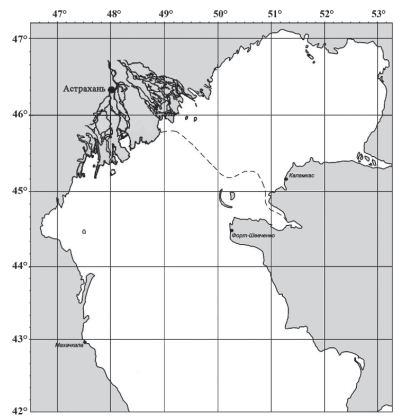
7.24в (январь)



7.24г (февраль)



7.24д (март)



7.24е (апрель)

Рис. 7.24. Положение границ льда в Северном Каспии на середину месяца:
——— – среднее; – – – – – максимальное; – · – · – – минимальное.

Таблица 7.9

Средняя и максимальная толщина льда на Северном Каспии на момент наибольшего развития ледяного покрова в конце февраля – начале марта для всего периода наблюдений и для первых 12 лет XXI века (см)

ГМС	Средняя толщина льда за весь период наблюдений	Максимальная толщина льда за весь период наблюдений	Средняя толщина льда за 12 лет XXI века	Максимальная толщина льда за 12 лет XXI века
о. Большой Пешной	44	96	30	60
о. Искусственный – Лагань	28	60	21	46
Форт Шевченко	32	81	25	47

В январе–марте в водотоках дельты толщина льда уменьшается от вершины дельты к ее морскому краю, изменяясь в среднем от 50 до 30 см. На устьевом взморье Волги толщина льда от морского края дельты к границе припая уменьшается в среднем от 30 до 15 см [75]. В течение зимы наибольшая толщина припайного льда наблюдается на Северном Каспии в феврале – начале марта. В районе о. Пешной в умеренные зимы она составляет 30–40 см, в суровые зимы – до 70–96 см; в районе о. Искусственный в умеренные зимы – 20–25 см, в суровые зимы – до 50–60 см. Наибольшая толщина льда в районе о. Тюлений составляет 55–58 см, о. Кулалы – 60–70 см, Форта Шевченко – 70–80 см. В последние 30 лет наибольшая за зиму толщина припая на севере моря, по данным ГМС Пешной, не превышала 55–60 см, по данным ГМС Искусственный – не превышала 30–40 см.

Как показывает анализ табл. 7.8 и 7.9, средняя толщина припая на момент наибольшего развития ледяного покрова на Северном Каспии в последние 30 лет, а также в первые12 лет XXI века на 8–14 см меньше среднемноголетних значений, максимальная толщина на 15–35 см меньше наибольших значений, определенных по полному ряду наблюдений.

У западного побережья Среднего Каспия в феврале с повторяемостью не более 5 % неподвижный лед толщиной 10–15 см в виде заберега может образовываться до широты Дербента только в суровые зимы. Иногда местный лед смерзается со льдом, приносимым из северной части моря. Из этой смороси образуется припай шириной иногда в несколько миль, причем толщина наслоенного льда может достигать больших значений. Например, в зиму 1968/1969 гг. на подходах к Махачкале толщина наслоенного льда достигала 2–3 м, а на акватории порта – до 1 м. Толщина ровного льда местного образования в Махачкалинской бухте в суровую зиму 1968/1969 гг. достигала 20 см, а в зиму 1953/1954 гг. – 24 см.

У восточного побережья средней части моря в суровые зимы образуется припай местного происхождения толщиной 15–20 см и более. В Красноводском заливе при образовании припая его максимальная толщина может достигать 30 см (суровые зимы 1968/1969, 1953/1954 гг.) [28, 94].

Зоны повышенной торосистости обычно наблюдаются у западного побережья Северного Каспия между параллелями 45° и 44° с.ш., где степень торосистости может достигать 4–5 баллов. В центральных и прибрежных районах северной части моря между меридианами 49° в.д. и 50° 30′ в.д. торосистость припая достигает 3 баллов. Следствием активного торосообразования является появление на границе припая гряд торосов, перпендикулярных направлению ветра, вызвавшего торошение, а также образование стамух, сидящих на грунте. Торосы и стамухи сильно увеличивают общую мощность ледяного покрова.

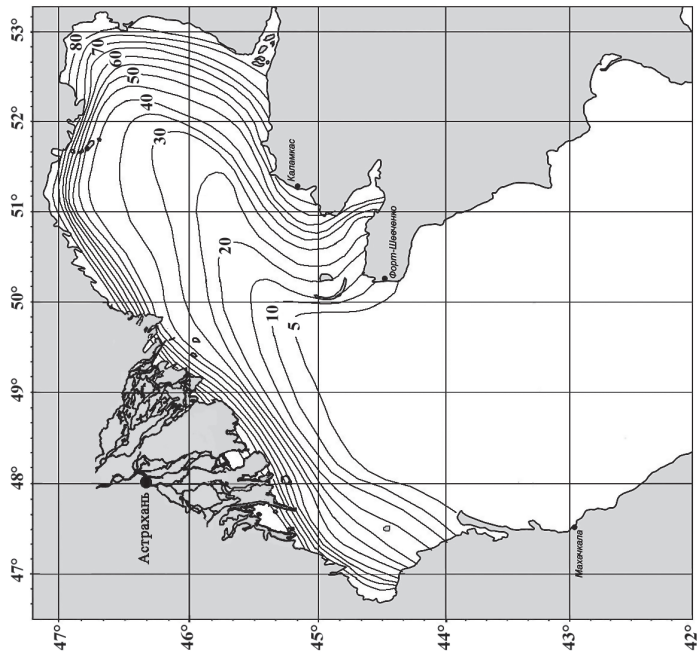
Для Каспия характерно также образование под действием ветров зон наслоений. Обычно зоны наслоений представляют собой длинные и широкие полосы, параллельные кромке припая и перпендикулярные к преобладающему зимой направлению ветра. У кромки льда происходит интенсивное наслоение ледяных полей и крупнобитого льда. В результате их смерзания может образовываться слоистый лед толщиной более 1 м в зимы любой суровости.

В суровые зимы припай устанавливается на всей акватории Северного Каспия до изобаты 20 м. В мягкие зимы на большей части Северного Каспия устойчивого замерзания (образования припая до видимого горизонта) не происходит. В эти зимы зона припая даже в период максимального развития в январе – первой половине февраля не выходит за пределы прибрежных мелководных участков (до двухметровой изобаты). В открытых районах Северного Каспия льда или нет, или он присутствует в виде дрейфующего.

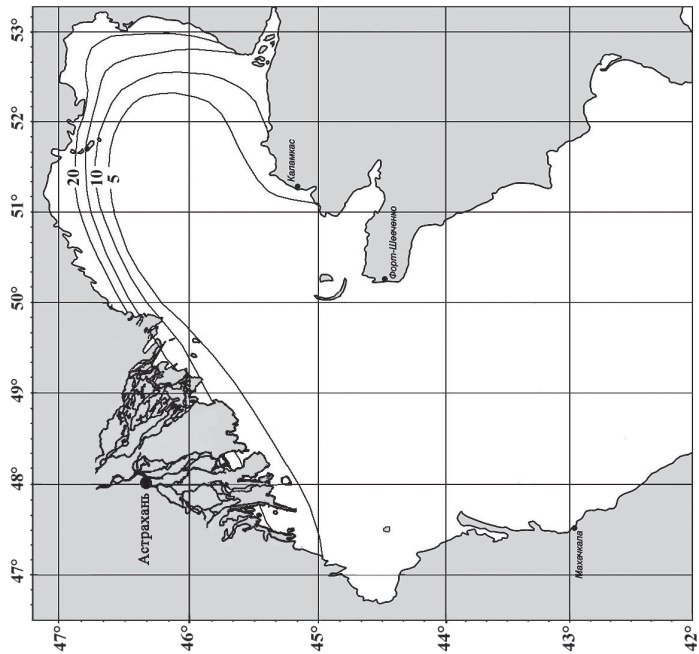
Устойчивый припай образуется в среднем через одну-две недели после начала ледообразования. В холодные предзимья промежуток времени между началом ледообразования и образованием припая сокращается до 3–5 дней.

В экстремально холодные предзимья с сильными и продолжительными морозами вдоль северного побережья сразу устанавливается ледяной покров. Последующие похолодания приводят к формированию у побережья припая и полному замерзанию (установлению припая до видимого горизонта) в аномально ранние сроки (так было в ледовые сезоны 1941/1942, 1953/1954 гг.). Ранние и поздние сроки замерзания в Северном Каспии в различные по термическим условиям зимы отмечаются в широком диапазоне – от второй половины октября до второй половины января. В отдельные мягкие зимы в открытых районах моря наблюдается лишь дрейфующий лед преимущественно в виде ниласа и серого льда. Так, в зимы 1947/1948, 1980/1981, 2006/2007 гг. устойчивого образования припая вдоль побережья Северного Каспия не наблюдалось [18].

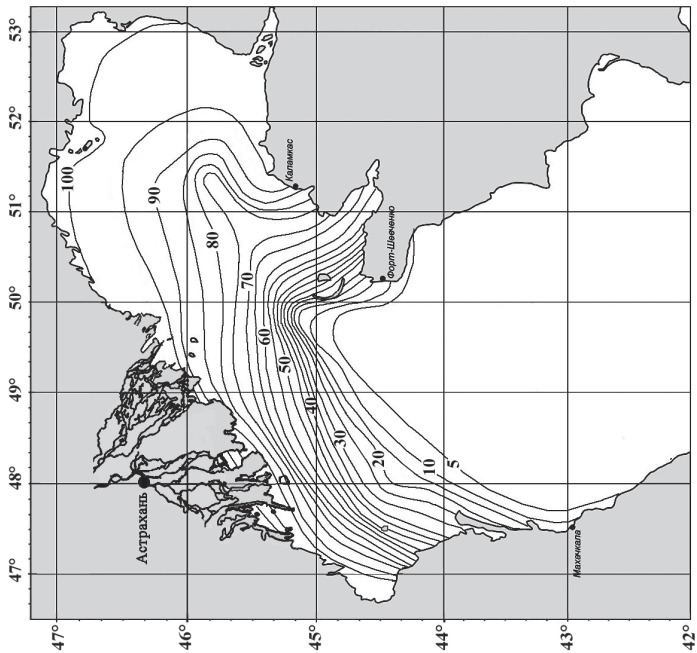
Повторяемость присутствия припая на Каспии в середине ноября–марта, рассчитанная по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века, приведена на рис. 7.25 (а–д). Анализ рисунков показывает, что в зависимости от суровости зимы граница распространения припая в Каспийском море колеблется в значительных пределах.



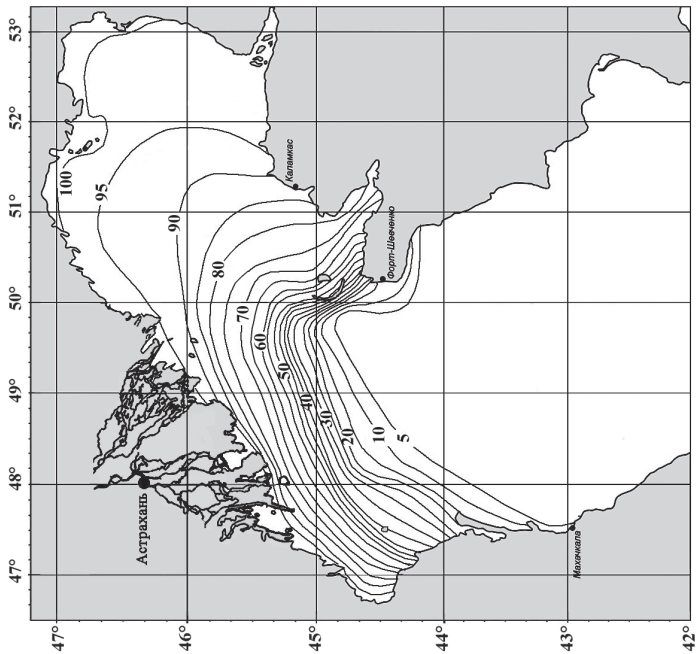
7.25б (декабрь)



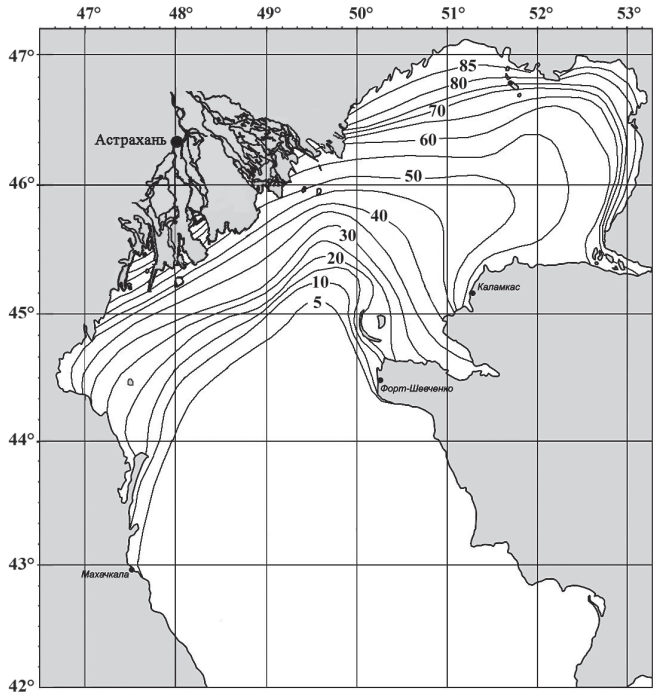
7.25а (ноябрь)



7.25г (февраль)



7.25в (январь)



7.25д (март)

Рис. 7.25. Повторяемость присутствия припая в середине месяца, рассчитанная по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века.

В октябре припай образуется только в аномально холодные предзимья, когда граница его максимального распространения проходит в 5–15 милях вдоль северных и восточных берегов северной части моря. *В ноябре* граница максимального распространения припая близка к положению изобаты 3 м. *В декабре* в умеренные зимы граница максимального распространения припая идет от о. Чечень на северо-восток до параллели 44° 20′ с.ш., а затем опускается на юго-восток до северного побережья п-ова Тюб-Караган. В умеренные зимы граница припая располагается в районе глубин 3–5 м.

В *январе-феврале* кромки припая занимают наиболее южное положение. В умеренные зимы южная граница припая подходит к глубинам 10–15 м. Здесь процесс ледообразования замедляется за счет адвекции теплых вод из районов Среднего Каспия. В суровые зимы граница припая приближается к изобате 20 м. В мягкие зимы граница припая проходит вдоль 3-метровой изобаты.

В марте граница максимального распространения припая (после суровой зимы) значительно смещается к северу. Она отходит от о. Чечень, идет на северо-восток несколько восточнее о. Тюлений до параллели 45° 20′ с.ш. и отсюда поворачивает на юго-восток к мысу Тюб-Караган. Повторяемость сохранения припая до 15 апреля на самом севере моря (в районе о. Большой Пешной) составляет 3 %.

Повторяемость наличия льда (припайного и дрейфующего) на Каспии в середине ноября–апреля, рассчитанная по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века, показана на рис. 7.26, на рис. 7.27 – аналогичные карты повторяемости, полученные по данным ИСЗ за первые 12 лет XXI века.

Из анализа рис. 7.26 следует, что наибольшая вероятность наличия льда на всех трассах Каспийского моря существует в феврале. Повторяемость встречи льда в районе о. Большой Пешной в середине апреля составляет 8 %.

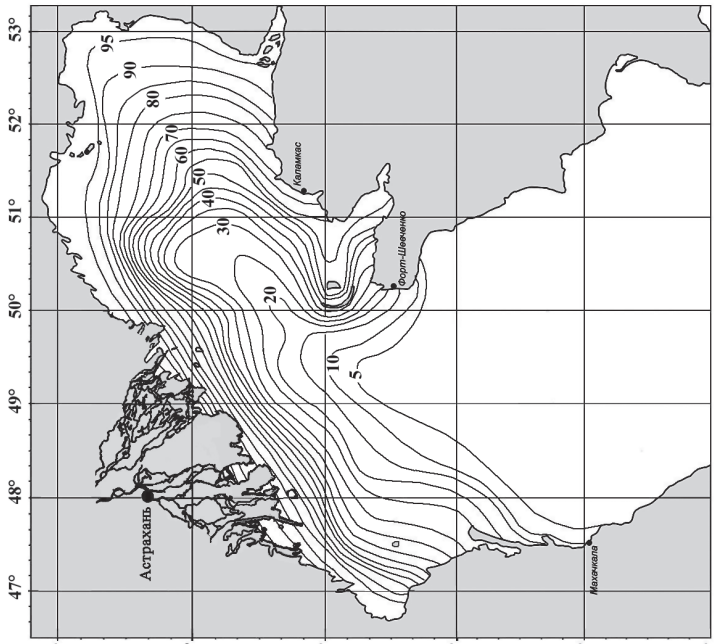
Сравнение рис. 7.26 и 7.27 показывает, что в первые 12 лет XXI века, по сравнению со второй половиной XX века, повторяемость наличия льда на севере Каспия в декабре уменьшилась на 15–20 %. В зоне ледовой трассы, проложенной из Астрахани в сторону кромки льда, на параллели 45° с.ш. повторяемость наличия льда уменьшилась в среднем на 8–20 % (в ноябре с 10 до 0 %, в декабре с 60 до 45 %, в январе с 95 до 75 %, в феврале с 95 до 85 %, в марте с 35 до 25 %).

На рис. 7.28 – ледовая обстановка на Северном Каспии в момент наибольшего за зиму развития ледяного покрова в умеренную зиму 2009/2010 годов.

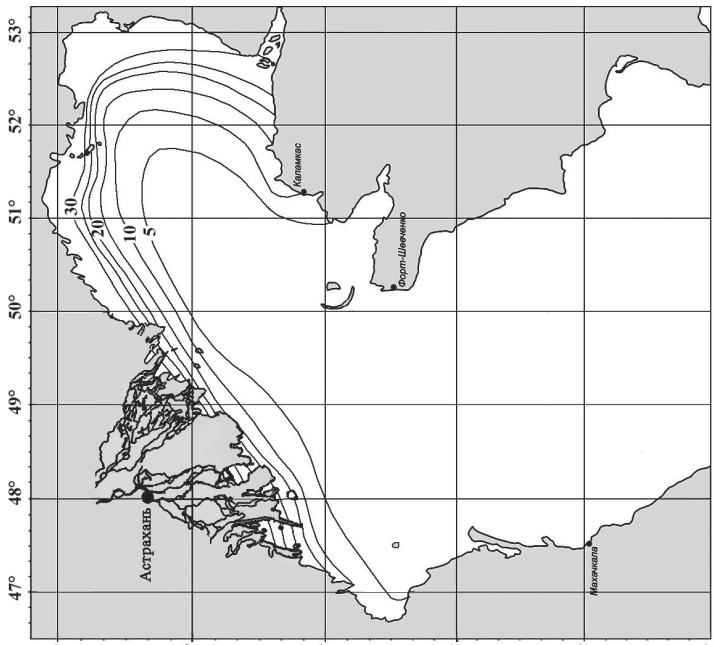
Схема дрейфа на Северном Каспии во многом согласуется со схемой дрейфовых течений (рис. 7.2). Общий вынос дрейфующего льда из района бара р. Урал и Мангышлакского залива и последующий дрейф его на запад, а затем на юго-запад вдоль кромки припая дает начало генеральному дрейфу льда. На траверзе о. Тюлений общий дрейф меняет свое направление. Дрейфующий лед, поступающий с северо-востока, под действием господствующих здесь ветров северной четверти перемещается на юг к о. Чечень. Генеральное направление дрейфа у западного побережья Северного Каспия характеризуется большой устойчивостью. В районе о. Чечень дрейфующий лед попадает в зону устойчивого южного течения, быстро смещается на юг к Махачкале и далее – на юго-восток. По мере распространения льда вдоль западного побережья Среднего Каспия на участке от Махачкалы до Дербента скорость дрейфа уменьшается.

В мягкие зимы, когда припаем занята незначительная часть Северного Каспия, а также в периоды осеннего становления и весеннего разрушения ледяного покрова в умеренные и суровые зимы, дрейф льда происходит по направлению ветра с некоторым отклонением от него. Средний коэффициент дрейфа льда в Северном Каспии (отношение скорости дрейфа льда к скорости ветра) равен 0,02–0,03. Угол отклонения дрейфа льда от направления ветра может быть различным, но чаще всего он составляет 20° в сторону высокого давления в соответствии с теорией дрейфа по изобарам [18, 23, 28].

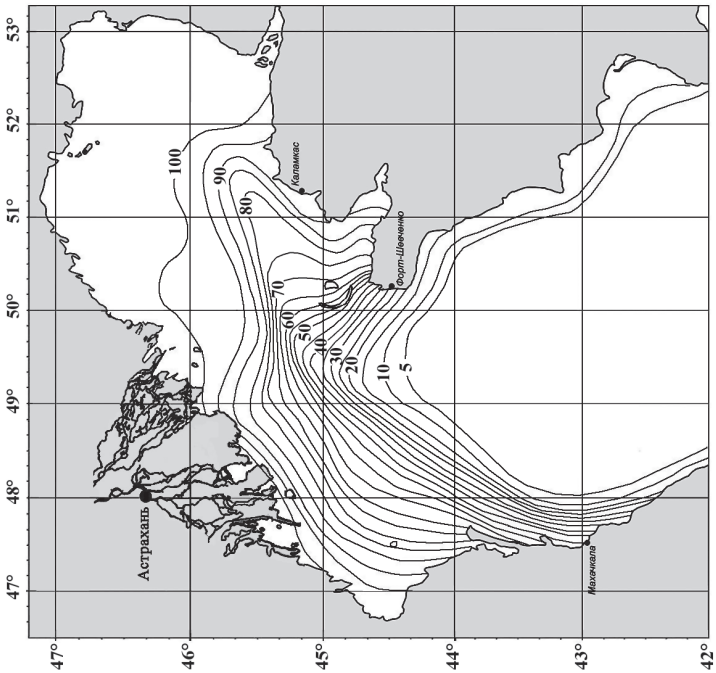
В суровые зимы, когда большая часть Северного Каспия покрыта припаем, а дрейфующий лед располагается узкой полосой (шириной 15–25 км) вдоль его границы, дрейф льда происходит главным образом с востока на запад и юго-запад вдоль кромки припая и вдоль западного берега Каспия. Средняя скорость генерального дрейфа льда около 7 км/сут.



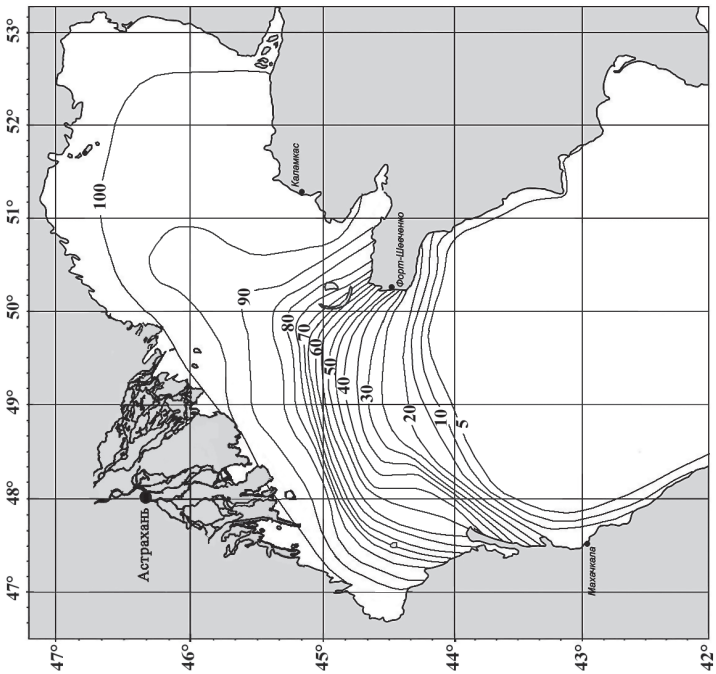
7.26б (декабрь)



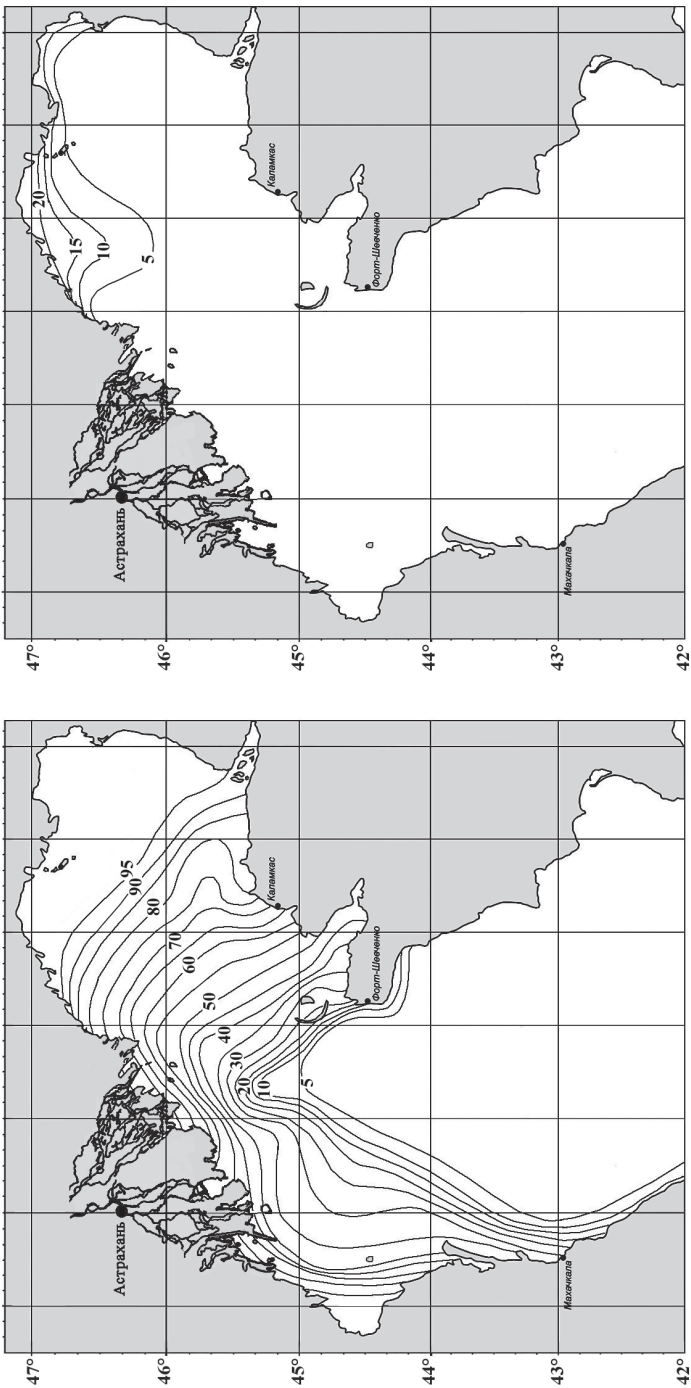
7.26а (ноябрь)



7.26г (февраль)

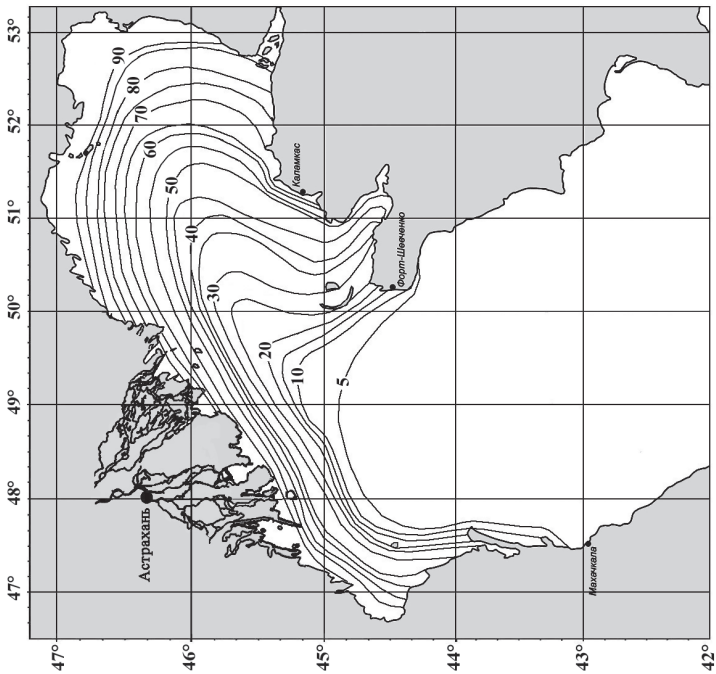


7.26в (январь)

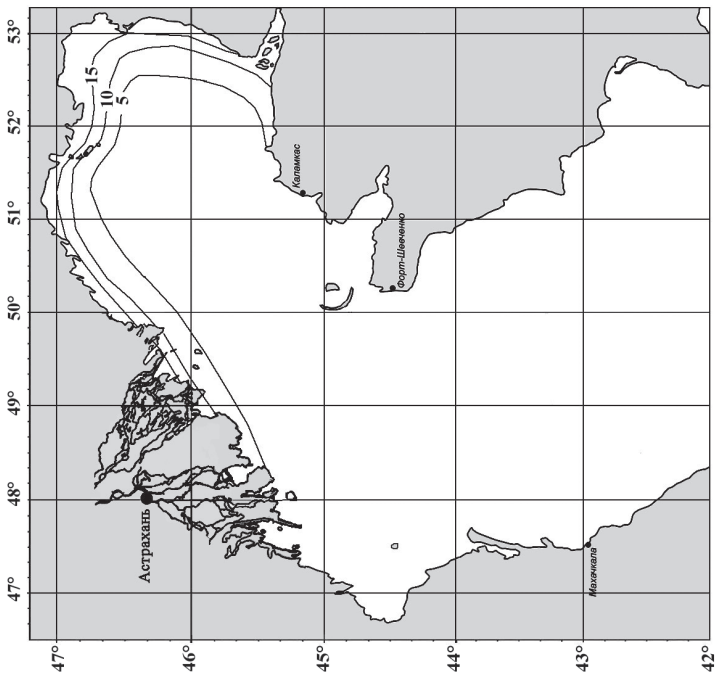


7.26д (март) 7.26е (апрель)

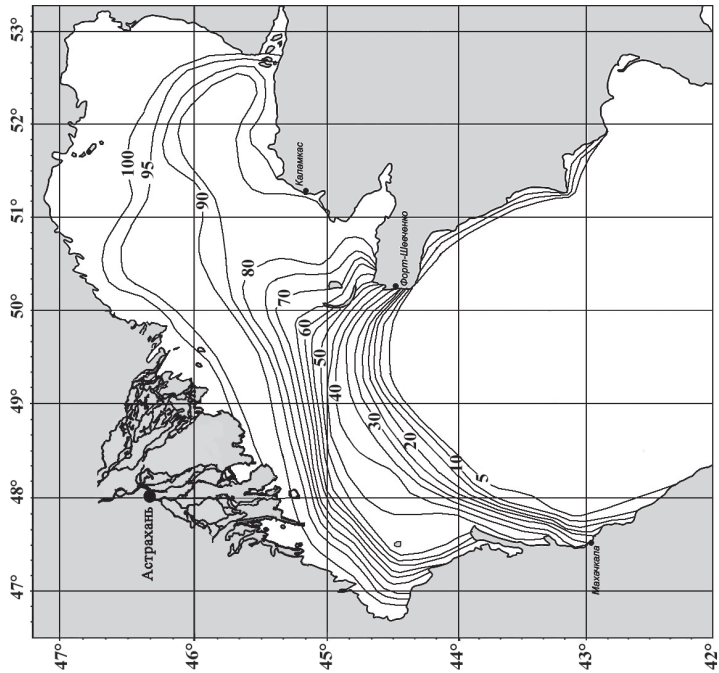
Рис. 7.26. Повторяемость наличия льда в Каспийском море на середину месяца, рассчитанная по данным ледовых авиаразведок за 50–80-е гг. XX века.



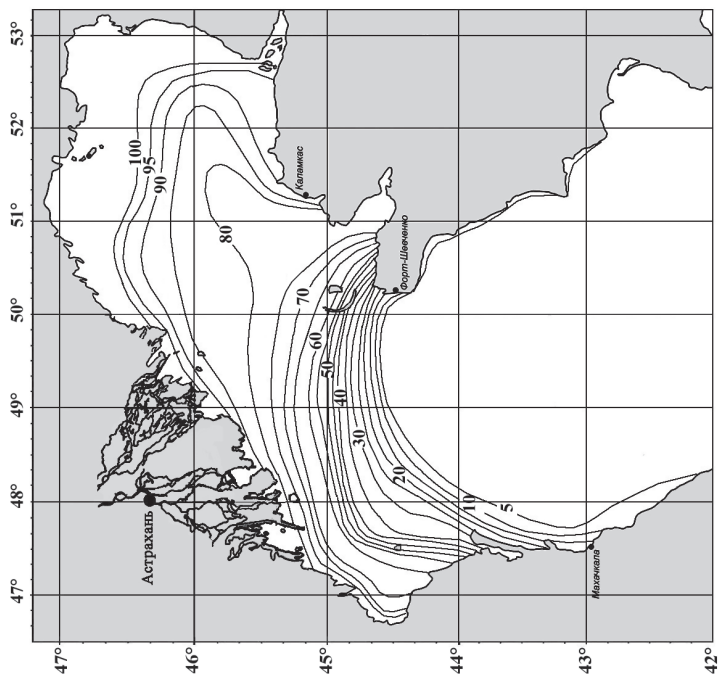
7.27б (декабрь)



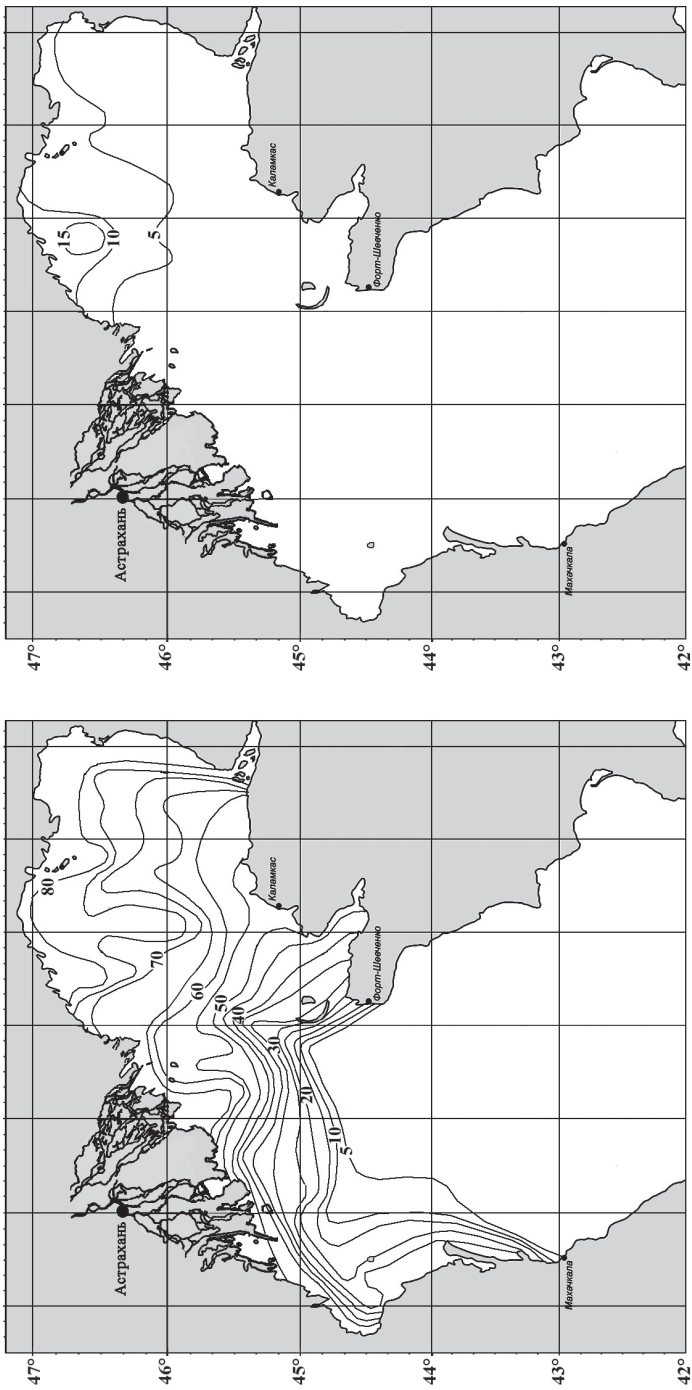
7.27а (ноябрь)



7.27г (февраль)



7.27в (январь)



7.27д (март) 7.27е (апрель)

Рис. 7.27. Повторяемость наличия льда в Каспийском море на середину месяца, рассчитанная по данным ИСЗ за первые 12 лет XXI века

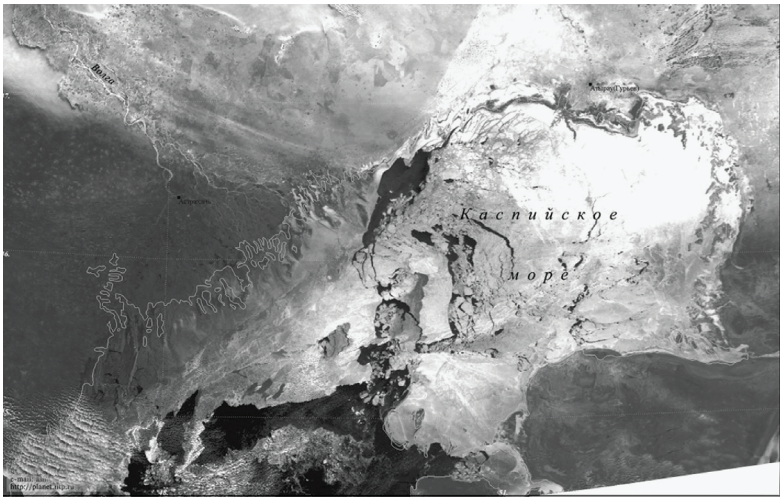


Рис. 7.28. Северный Каспий на момент максимального развития льда в феврале 2010 года. Снимок с ИСЗ AQUA (MODIS).

Под действием сильных ветров западных румбов у западного побережья Среднего Каспия происходит отжим от берега дрейфующего льда, а вдоль побережья образуется пространство чистой воды (полынья) шириной от 5 до 30 км.

Под действием восточных и юго-восточных ветров силой 15 м/с и более в суровые зимы сжатия происходят в зоне дрейфующего льда, тянущейся полосой вдоль западного побережья Среднего Каспия. Локальные сжатия часто происходят при встрече дрейфующего льда с препятствием. Так, мощное скопление сжатого льда в суровые зимы часто наблюдается у северного мола порта Махачкала, а также у каменистой гряды на подходах к нефтяным промыслам Изербаша.

При ветрах южной четверти происходит увеличение сплоченности льда в зоне дрейфа к югу от припая, среди льдов сплоченностью 10 баллов возникают сжатия.

7.6. Очищение ото льда Каспийского моря

На рис. 7.29 – изохроны средних сроков очищения моря ото льда.

В аномально теплые предзимья при смене морозов устойчивыми оттепелями происходит интенсивное термическое разрушение неокрепшего молодого льда, усиливаемое воздействием ветра. Под влиянием термодинамических факторов в начале ледового сезона могут очищаться ото льда не только мористые, но и прибрежные мелководные районы Северного Каспия. Первое очищение ото льда часто происходит при интенсивных оттепелях после начала ледообразования в октябре и в начале ноября. Весенний процесс разрушения льда начинается с прикромочной зоны льда в открытых районах моря, где активизируется теплообмен с более теплыми водными массами.

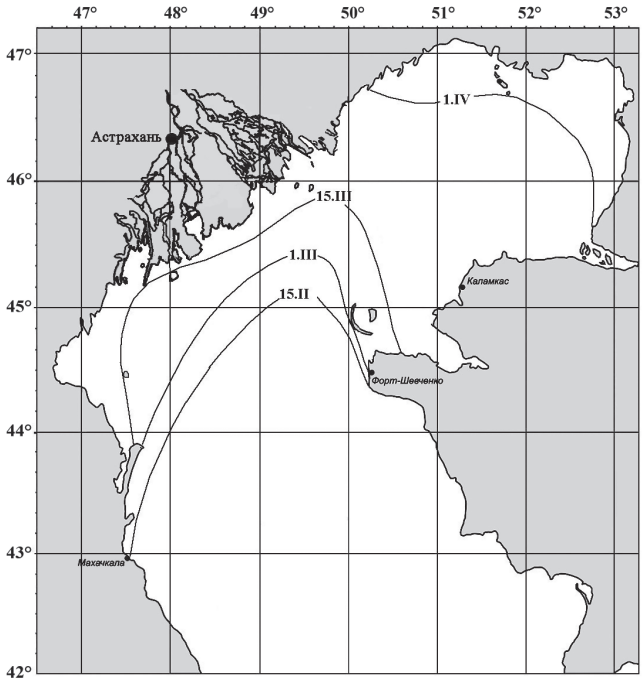


Рис. 7.29. Средние сроки очищения моря ото льда.

Первый частичный взлом припая в Северном Каспии в районе о. Пешной наблюдается в среднем во второй декаде марта, в районе о. Искусственный – в первой декаде марта, к югу от 45° с.ш. – в первой-второй декадах февраля.

Окончательное разрушение припая в умеренные зимы в районе о. Пешной наблюдается в среднем в третьей декаде марта, в районе о. Искусственный – во второй декаде марта, к югу от 45° с.ш. – во второй половине февраля.

После мягких зим припай на северо-востоке Каспия окончательно разрушается примерно на 1–3 недели раньше средних сроков – в первой-второй декадах марта.

В суровые зимы в восточной части Среднего Каспия разрушение припая начинается в феврале у открытых берегов и заканчивается в марте в закрытых бухтах и заливах. Самые поздние даты разрушения припая: в Актау – 28 марта 1956 г., в Туркменбаши – 10 марта 1954 года.

Припай, образовавшийся в суровые зимы у западного побережья Среднего Каспия, разрушается в феврале-марте. Самое позднее разрушение припая наблюдалось в Махачкале (море) 18 марта 1951 г., в Изербаше – 16 марта 1969 г., в Дербенте – 31 марта 1929 года. Следует заметить, что припай, образовывающийся у западного побережья Среднего Каспия в суровые зимы, неустойчив и может довольно быстро взламываться как при сильных северо-западных и западных (сгонных и отжимных), так и

при сильных юго-восточных и восточных (нагонных и нажимных) ветрах. И те, и другие ветры сопровождаются изменением уровня моря, способствующим взлому припая.

В суровые зимы окончательное разрушение припая вдоль всего побережья Северного Каспия может задерживаться до конца марта – середины апреля. Самые поздние даты разрушения припая: о. Большой Пешной – 16 апреля 1956 г., о. Искусственный – 28 марта 1969 г., о. Кулалы – 18 апреля 1954 г., о. Тюлений и Форт Шевченко – 30 марта 1954 года.

Окончательное очищение моря ото льда в умеренные зимы начинается в конце января – начале февраля с юго-восточного побережья моря, последовательно распространяясь к северу. В феврале ото льда очищаются бухты и заливы восточного побережья Среднего Каспия, в начале марта – все западное побережье Среднего Каспия.

В Северном Каспии обычно процесс очищения ото льда протекает в марте. В конце марта – начале апреля ото льда очищается северо-восточное побережье моря (район о. Большой Пешной в среднем очищается 31 марта, о. Искусственный – 21 марта, о. Тюлений – 12 марта, о. Кулалы – 13 марта, Форта Шевченко – 4 марта).

В мягкие зимы к северу от 45° с.ш. очищение ото льда завершается в середине марта. После мягкой зимы 2001/2002 гг. район о. Пешного очистился 1 марта. При этом, по данным ИСЗ, пятна вытаивающего дрейфующего льда наблюдались на северо-востоке моря до 18 марта.

После суровых зим процесс окончательного очищения ото льда у восточного побережья Среднего Каспия происходит в марте – начале апреля (Актау – 3 марта 1969 г., Кендирли, бухта – 1 апреля 1954 г., Туркменбаши – 11 марта 1954 г.). Вдоль западного побережья Среднего Каспия наиболее позднее очищение моря ото льда наблюдалось во второй-третьей декадах апреля: в Махачкале (море) – 20 апреля 1954 г., в Избербаше – 21 апреля 1969 г., в Дербенте – 12 апреля 1969 года.

Северный Каспий после аномально холодных зим освобождается ото льда в течение апреля. Наиболее позднее очищение в районе о. Искусственный наблюдалось 16 апреля 1954 г., о. Тюлений – 11 апреля 1969 г., о. Кулалы – 18 апреля 1954 г., Форта Шевченко – 5 апреля 1942 года. У северного побережья Каспия ледяной покров может сохраняться до третьей декады апреля (о. Большой Пешной – 21 апреля 1956 г., Жилая Коса – 29 апреля 1928 г.). Рис. 7.30 демонстрирует процесс очищения Северного Каспия ото льда в марте 2010 г. после умеренной зимы.

Продолжительность ледового сезона на Северном Каспии к северу от 45° с.ш. составляет в среднем 110–130 дней. В суровые зимы продолжительность ледового сезона увеличивается до 150–178 дней, в мягкие зимы сокращается до 60–80 дней. В районе Северного Каспия, лежащего к югу от 45° с.ш., продолжительность ледового сезона составляет в среднем 65–95 дней. В суровые зимы продолжительность ледового сезона увеличивается до 110–160 дней, в мягкие зимы сокращается до 10–30 дней.

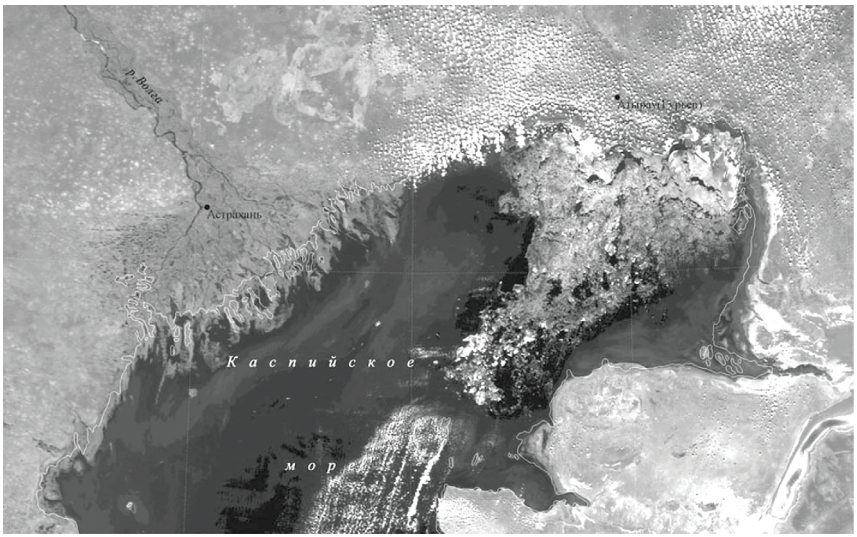


Рис. 7.30. Разрушающийся лед на Северном Каспии в марте 2010 года. Снимок с ИСЗ TERRA (MODIS).

Анализ данных за последние 30 лет показывает, что продолжительность ледового сезона на Северном Каспии сократилась в среднем на 2 недели в районе к северу от 45° с.ш. и на 3 недели в районе к югу от 45° с.ш.

Причиной этого на западе Северного Каспия, как считают некоторые авторы, являются не только климатические изменения, но и зарегулирование стока р. Волги. Зарегулирование стока, по их мнению, привело к более поздним датам появления первых ледяных образований, к заметной задержке сроков начала осеннего ледохода и ледостава, а также к несколько более ранним срокам весеннего ледохода и очищения взморья ото льда [75]. Однако это предположение требует дополнительного исследования. Пока же ясно одно: уменьшение среднего ледового периода находится в прямой зависимости от увеличения количества мягких зим.

7.7. Влияние ледяного покрова на судоходство и добычу углеводородов в Каспийском море

Задача по продлению навигации в портах северной части Каспийского моря и организации круглогодичного плавания в порты центральных районов Каспийского моря может успешно решаться при комплексном выполнении следующих основных условий:

– осуществление проводки судов во льдах ледоколами;

– организация систематических наблюдений за состоянием ледяного покрова и оперативная передача участникам морских операций результатов

наблюдений, метеорологических и ледовых прогнозов, рекомендаций курсов плавания.

Опасными гидрологическими явлениями на Северном Каспии в холодный период года являются: штормовые нагоны и сгоны, при которых происходит затопление или повреждение гидротехнических сооружений, дорог и других коммуникаций на побережье, нарушается или прекращается судоходство на мелководных участках судоходных каналов; быстрое обледенение судов и гидротехнических сооружений; присутствие льда в районах морских операций. При раннем появлении льда в море и каналах (раньше 15 ноября) срываются с якорей и уносятся в море навигационные буи. Интенсивный дрейф, подвижки, заторы и торошение льда представляют опасность для судов и береговых гидротехнических сооружений. Они снижают скорость движения судов и создают угрозу их выжимания за габариты судового хода Волго-Каспийского морского судоходного канала (ВКМСК) и посадки на мель в период зимних плаваний. В суровые зимы, когда почти вся акватория Северного Каспия покрывается мощным припаем, тяжелые условия плавания складываются на участке трассы Астрахань – порты Каспийского моря [19, 20]. Ежегодно после прохождения весеннего половодья некоторые участки ВКМСК заиливаются и нуждаются в проведении дноуглубительных работ.

Сложности при проведении морских операций в зимний период иллюстрирует экстремально суровая зима 1953/1954 годов. В этот ледовый сезон припай распространился на весь Северный Каспий, толщина ровного льда достигала 60–65 см. Вдоль западного побережья Среднего Каспия образовалась полоса дрейфующего льда сплоченностью 7–9 баллов. Ширина этой полосы доходила местами до 70 км. Дрейфующие льды блокировали все западное побережье моря вплоть до Апшеронского п-ова. Работа л/к «Серго Орджоникидзе», занимавшегося проводкой судов, была не эффективной и ее пришлось приостановить. Было разрушено несколько нефтяных вышек, установленных в море.

В связи с осуществлением рыболовства, в основном в южных районах моря, где лов можно вести круглогодично, возникла проблема круглогодичной транспортировки добываемой рыбы в Астрахань и дельту Волги (к рыбным перерабатывающим комбинатам) и доставки отсюда на рыболовецкие суда соли, продовольствия и других грузов. Важную задачу перед морскими и речными компаниями поставило также развитие транспортировки нефти и газа, а также перевозок различных грузов (в том числе оборудования для нефтегазовых месторождений) по трассам Каспийского моря на танкерах и судах «река–море» [91]. В настоящее время судоходство на Каспии осуществляется круглогодично. Наиболее существенное значение имеет установление круглогодичной навигации в порты Астрахань, Махачкала, Баутино, Туркменбаши.

Стационарные наблюдения за состоянием льдов Каспийского моря регулярно ведут гидрометеорологические станции, начиная с 30-х гг. XX века. Ледовые авиационные разведки в центральных районах Каспийского моря выполнялись с 40-х по 80-е годы. С 90-х гг. анализируются данные о ледовой обстановке в море с искусственных спутников Земли.

На рис. 7.31 показаны основные судоходные трассы в Северном и Среднем Каспии.

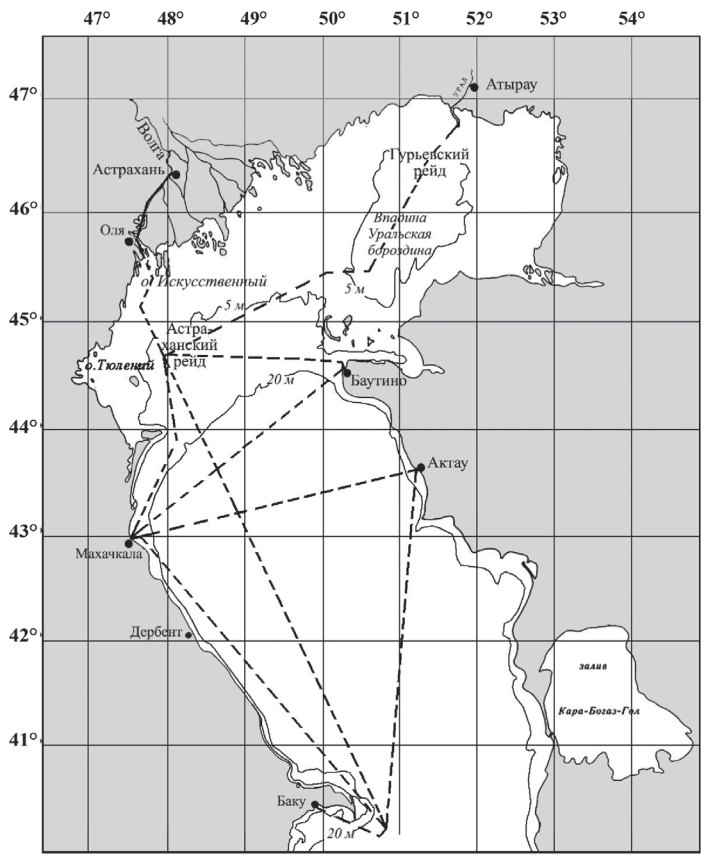


Рис. 7.31. Основные судоходные трассы в Северном и Среднем Каспии: пунктир – трассы, тонкие сплошные линии – изобаты 5 и 20 м.

В мягкие зимы ледовые затруднения, требующие ледокольной проводки судов, могут появляться только в январе-феврале лишь на трассах Астрахань – море, Оля – море и на пути к Гурьевскому рейду. На остальных трассах ледяной покров или не образуется, или же препятствия для судоходства не представляет.

В умеренные зимы ледовые затруднения характерны в январе-феврале для всех трасс северной части моря. При этом наиболее существенны они на трассах Астрахань – море, Оля – море, на пути от Астраханского рейда к Гурьевскому. На этих трассах ледовые затруднения суда испытывают и в марте. Кроме того, лед в январе–марте представляет явную опасность для стационарных платформ нефтяных месторождений, прежде всего Хвалынского, им. В. Филановского, им. Ю. Корчагина.

В суровые зимы ледовые затруднения существенны на всех трассах северной части моря уже в декабре и усиливаются в январе-феврале. Сплоченные льды в северной части Каспийского моря (7 баллов и более) опасны для зимнего плавания судов и стационарных платформ в этом районе. Навигационная обстановка осложняется еще и тем, что ледяной покров динамичен и положение кромки сплоченных льдов весьма изменчиво в пространстве и времени [18, 35].Подвижка и дрейф льда, вызываемые устойчивыми восточными и юго-восточными ветрами, преобладающими на Северном Каспии при всех типах зим, создают сложную ледовую обстановку в районе Астраханского морского рейда, в морской части ВКМСК, в районах нефтегазовых месторождений. Этому способствует и наличие здесь большого числа мелководных банок. Появление льда в порту или на пути движения судов затрудняет или делает невозможным продвижение судов. Сжатия, подвижки, дрейф и торошение льдов приводят к повреждениям судов, портовых сооружений и нефтепромыслов, затрудняют рыбный промысел.

В январе суровых и умеренных зим преобладающая торосистость на трассах Северного Каспия составляет 1–2 балла, в феврале – 2–3 балла.

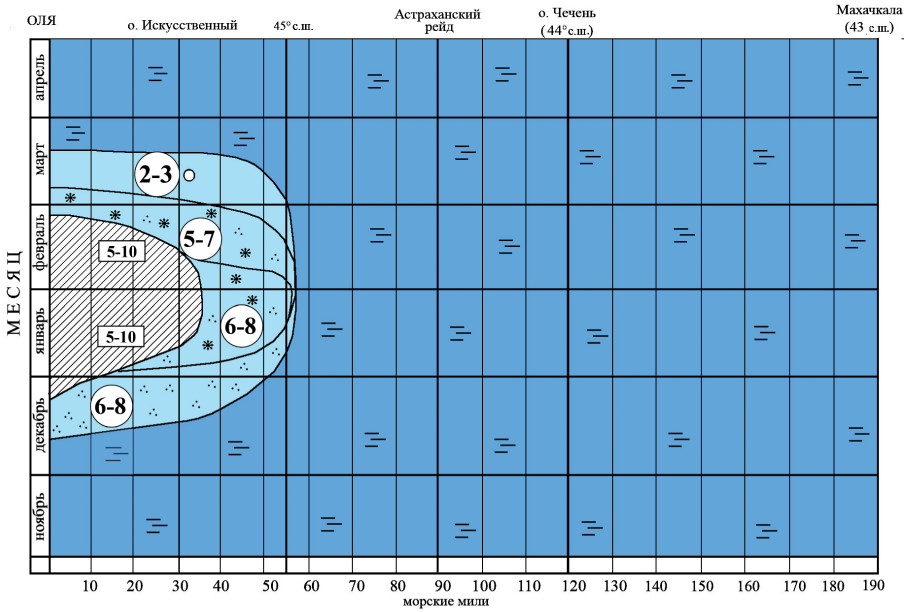
При плавании по судоходным трассам Каспия в суровые зимы необходимо учитывать следующее:

– при следовании Махачкала – Астраханский рейд в январе-феврале вдоль западного побережья моря от о. Чечень до Махачкалы распространяется полоса льда, в связи с чем суда должны следовать на север восточнее рекомендованной лоцией трассы (протяженность трассы увеличивается на 10 миль);

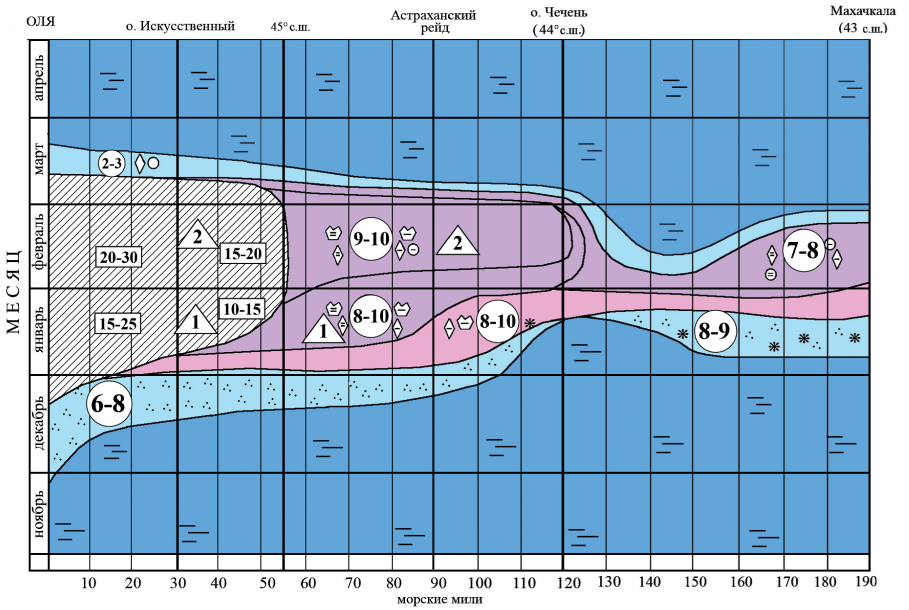
– при следовании Астраханский рейд – Баутино или Атырау участок от Астраханского рейда до порта Баутино или входа в проложенный ледоколом канал на Атырау суда должны проходить не по параллели, как рекомендует лоция, а несколько южнее, чтобы уменьшить протяженность пути во льдах (протяженность трассы увеличивается при следовании на Баутино на 15 миль, на Атырау – на 20 миль) [94].

На рис. 7.32 представлены графики типичных ледовых условий на трассе Каспийского моря Оля – Махачкала в мягкую зиму (а), в умеренную зиму (б), в суровую зиму (в) и в самую суровую зиму (г). Протяженность трассы – 190 миль.

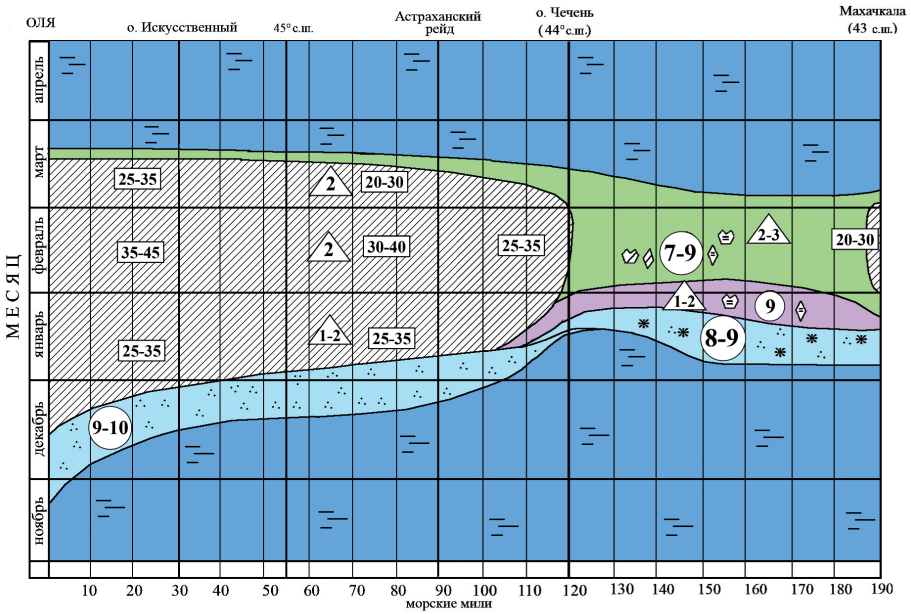
В табл. 7.10 приведена средняя протяженность ледовых зон на трассе Оля – Махачкала. Анализ таблицы показывает, что в момент максимального распространения льда в феврале протяженность ледового плавания на трассе Оля – Махачкала составляет в среднем в мягкую зиму – 60 миль, в умеренную зиму – 170 миль, в суровую зиму – 190 миль (вся трасса покрыта льдом). В середине марта протяженность ледового плавания на трассе в среднем составляет после мягких зим – 30 миль, после умеренных зим – 40 миль, после суровых зим – 125 миль, после самой суровой зимы – 135 миль. В середине апреля протяженность ледового плавания на трассе после мягких, умеренных и большинства суровых зим равна нулю. После самой суровой зимы лед сплоченностью 1–4 балла наблюдался лишь в районе ВКМСК севернее 45° с.ш. (протяженность участка ледового плавания – 40 миль).


ОЛЯ
о. Искусственный
45° с.ш.
Астраханский рейд
о. Чечень (44° с.ш.)
Махачкала (43 с.ш.)
МЕСЯЦ
апрель
март
февраль
январь
декабрь
ноябрь
2-3
5-7
5-10
6-8
5-10
6-8
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190
морские мили

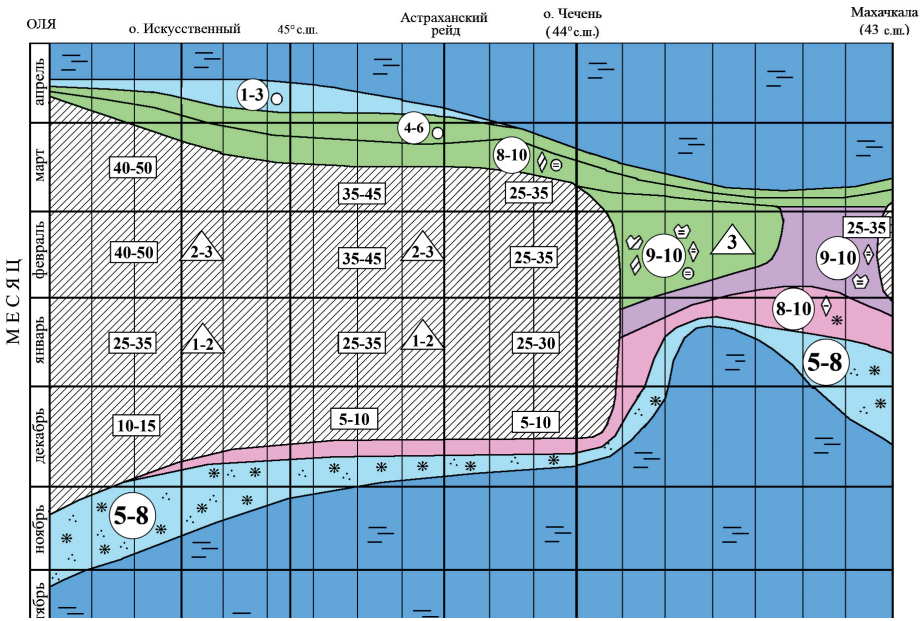
7.32а


ОЛЯ
о. Искусственный
45° с.ш.
Астраханский рейд
о. Чечень (44° с.ш.)
Махачкала (43 с.ш.)
МЕСЯЦ
апрель
март
февраль
январь
декабрь
ноябрь
2-3
20-30
2
15-20
9-10
2
7-8
15-25
1
10-15
1
8-10
8-10
8-9
6-8
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190
морские мили

7.32б



7.32в



7.32г

Рис. 7.32. Графики типичных ледовых условий на трассе Оля – Махачкала в мягкую зиму (а), в умеренную зиму (б), в суровую зиму (в) и в самую суровую зиму (г).

Таблица 7.10

Протяженность ледовых зон на трассе Оля – Махачкала (мили)

Характеристика зоны	Месяцы					
	XI	XII	I	II	III	IV
Мягкая зима						
Чистая вода	190	160	135	130	160	190
Нилас и начальные виды льда	–	30	20	30	–	–
Серый лед	–	–	–	–	–	–
Серо-белый и серый лед	–	–	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	–	–	–	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	30	–
Припай в районе Волго-Каспийского канала	–	–	35	30	–	–
Ледовая зона	**0**	**30**	**55**	**60**	**30**	**0**
Умеренная зима						
Чистая вода	190	160	35	20	150	190
Нилас и начальные виды льда	–	30	45	–	–	–
Серый лед	–	–	20	–	–	–
Серо-белый и серый лед	–	–	40	105	–	–
Серо-белый лед	–	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	–	–	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	–	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	10	40	–
Припай в районе Волго-Каспийского канала	–	–	50	55	–	–
Ледовая зона	**0**	**30**	**155**	**170**	**40**	**0**
Суровая зима						
Чистая вода	190	160	10	0	65	190
Нилас и начальные виды льда	–	30	40	–	–	–
Серый лед и нилас	–	–	–	–	–	–
Серо-белый и серый лед	–	–	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	–	30	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	65	55	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	–	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	–
Припай в районе Волго-Каспийского канала	–	–	110	125	70	–
Ледовая зона	**0**	**30**	**180**	**190**	**125**	**0**

Характеристика зоны	Месяцы					
	XI	XII	I	II	III	IV
Самая суровая зима						
Чистая вода	160	40	10	0	55	150
Нилас и начальные виды льда	30	20	15	–	–	–
Серый лед и нилас	–	5	25	–	–	–
Серо-белый и серый лед	–	–	–	–	–	–
Серо-белый лед	–	–	30	–	–	–
Тонкий однолетний и серо-белый лед	–	–	–	55	30	–
Тонкий однолетний лед	–	–	–	–	–	–
Редкий и разреженный лед (1–4 балла)	–	–	–	–	–	40
Припай в районе Волго-Каспийского канала	–	125	110	135	105	–
Ледовая зона	**30**	**150**	**180**	**190**	**135**	**40**

Серьезную опасность для морских операций представляет появление льда или припая в ранние сроки в мелководных районах Северного Каспия (до середины ноября). Для порта Махачкала, а также нефтеналивного порта Апшерон скопление дрейфующего льда сплоченностью 10 баллов является критерием стихийного гидрологического явления.

В 1947 г. на Каспии было открыто месторождение Гюргяны-море, в 1949 г. – Нефтяные Камни, в 1950 г. – Банка Дарвина. Самым крупным стало месторождение Нефтяные Камни, вступившее в эксплуатацию в 1959 году. Оно находится в 50 км от берега при глубинах моря от 6 до 27 м.

До конца 80-х гг. XX в. разведку нефти в Каспийском море вели на участке между Азербайджаном (район, примыкающий к Апшеронскому п-ову) и Туркменией (район, примыкающий к п-ову Челекен). Этот район считался наиболее перспективным. Большинство ранее открытых нефтяных месторождений сосредоточено именно здесь. Изучение северной и центральной частей дна Каспийского моря, ныне примыкающих к Казахстану и России, началось только с середины 1990-х годов. Здесь были открыты богатейшие месторождения, что позволило включить Каспий в пятерку наиболее значимых регионов в мире по нефтегазовым запасам.

На рис. 7.33 представлено положение основных месторождений, в виде заштрихованных зон выделены месторождения, открытые за последние 20 лет. Среди них гигантское месторождение на казахстанском шельфе – Кашаган. Весомость запасов Казахстана из всей каспийской нефти составляет 75 % по нефти и 45 % по газу. Такими эти цифры стали после открытия месторождения Кашаган. Туркменистан имеет почти столько же газа, а нефти – 6 %, доля России – 2 % нефти и 1 % газа, Азербайджана – 17 % нефти и10 % газа

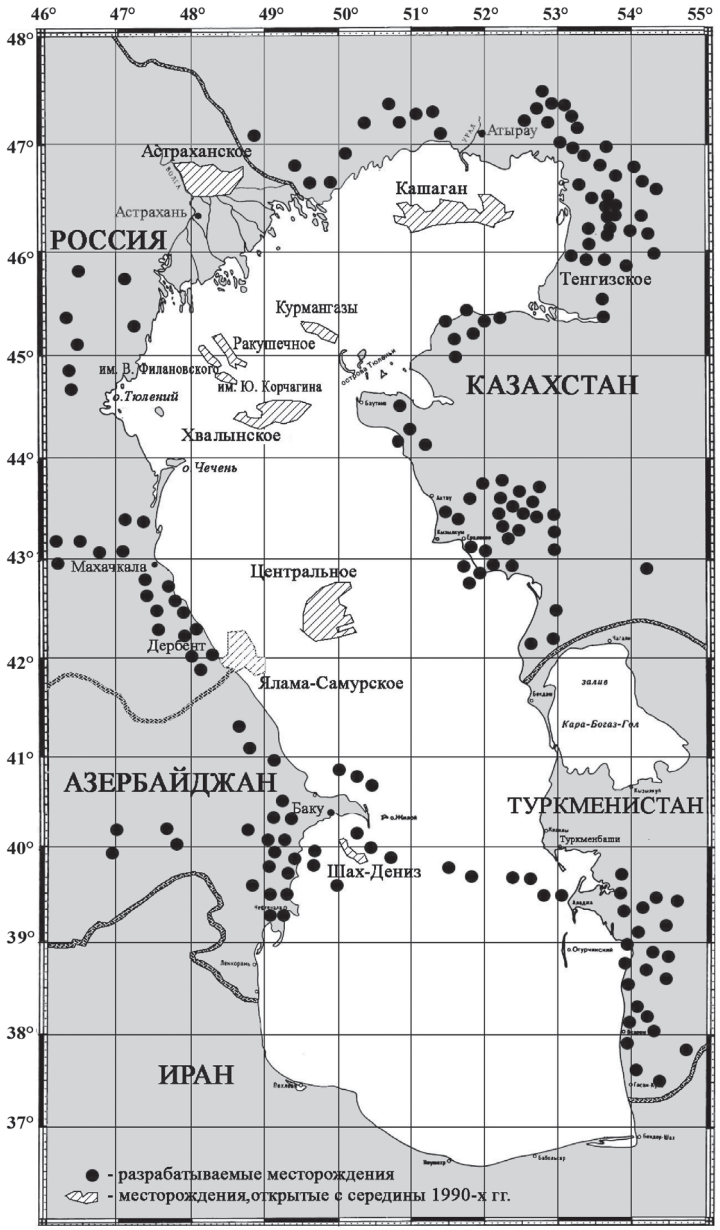


Рис. 7.33. Месторождения нефти и газа в Каспийском море.

Блок северных месторождений на российском шельфе включает Хвалынское, им. Ю. Корчагина, им. В. Филановского, Ракушечное и Центральное. Последнее, открытое в 2006 г., месторождение им. В. Филановского является

наиболее крупным на российском шельфе, в отличие от ранее открытых месторождений оно является преимущественно нефтяным [57].

Появление дрейфующего льда сплоченностью более 6 баллов является опасным для эстакад и буровых платформ. Наличие гряд торосов и стамух в непосредственной близости от нефтегазоносных структур представляет реальную опасность столкновения опор инженерных сооружений с достаточно крупными ледяными образованиями. Арктическим и антарктическим институтом Росгидромета в течение 2001–2008 гг. выполнялись специальные исследовательские работы для получения дополнительных характеристик ледяного покрова в районах нефтегазовых месторождений. Работы по изучению ледовых характеристик проводились экспедиционными группами, оснащенными специальным оборудованием, которые высаживались на лед с вертолета для проведения ледовых исследований [70].

Стамухи. Исследованные стамухи располагались в районе банок с глубинами 2,0–6,6 м и были в основном прямолинейно вытянуты вдоль своего гребня. Некоторые стамухи имели дугообразную форму. Анализ морфологии стамух показал, что сечение тела этого ледяного образования, перпендикулярное гребню, напоминает треугольник в парусе стамухи (части стамухи, возвышающейся над ровной поверхностью льда) и перевернутую трапецию в киле (части стамухи, находящейся в воде). При исследовании были обнаружены нарушения рельефа дна при продавливании его килем стамухи. Среднее значение длины исследованных стамух составляет 155 м, средняя ширина – 47 м. Высота паруса в среднем составила 4,2 м (максимальная – 10 м). Глубина киля ограничивается глубиной места нахождения стамухи. Средняя глубина киля составила 3,6 м, максимальная зафиксированная глубина – 6,6 м. Как правило, точка максимума паруса стамухи не совпадает с точкой максимума киля. Поэтому максимальная толщина стамухи не равна сумме максимальных значений паруса и киля.

Стамуха слагается из ледяных блоков – обломков ровного льда. При исследовании оказалось, что средняя толщина ледяных блоков составляет 19 см, что соответствует возрасту серо-белого льда, который преобладает на Северном Каспии. Максимальная толщина блоков (1,1 м) образуется в результате смерзания нескольких льдин. Чем больше толщина ледяных блоков, тем больше их горизонтальные размеры. Отношение длины блоков к их толщине при условии, что блоки сформировались из серо-белого льда, в среднем близко к 4. Для блоков более 30 см толщиной, пластичность которых ниже, это отношение стремится к 3.

Торосы. По результатам исследований сечение тела тороса в северо-западной части Каспийского моря, перпендикулярное гребню, можно аппроксимировать как треугольник в парусе и перевернутый треугольник в киле. Средняя длина тороса составляет в среднем 80 м, изменяясь от 45 до 170 м. Высота паруса в среднем составляет 1,3 м. Довольно редко высота парусов превышает 2 м. Максимальные значения киля торосов достигают 6,5–7,0 м. Отношение глубины киля к высоте паруса в среднем составило 3,1 при обычном значении 4,5, характерном для глубоких морей. Это объясняется тем, что

вследствие мелководья торосы нередко достигают дна, пропахивая его, при этом кили обламываются.

В торосах преобладают блоки с толщиной 15 см (толщина ровного льда при образовании торосов) и 30 см (толщина льда, смерзшегося при наслоении, либо льда спокойного термического нарастания). Средняя толщина блоков 28 см, максимальная – 65 см, минимальная – 11 см. Средняя длина блока 1,2 м (максимальна 5,1 м), средняя ширина – 0,9 м (максимальная – 4,7 м) [70].

Торосы и стамухи могут создать значительные ледовые нагрузки на сооружения, которые необходимо учитывать при проектировании. Мощность торосистого образования находится в прямой зависимости от толщины консолидированного слоя киля. Этот слой образуется при уплотнении обломков льда при торошении за счет сил плавучести киля и силы тяжести паруса тороса с последующим их смерзанием в сплошной монолит. У сформировавшегося тороса консолидированный слой составляет единое целое с окружающим льдом. Толщина слоя формируется верхней и нижней границами замерзания. Наибольшая толщина консолидированного слоя наблюдается в центральной части тороса, на краях тороса толщина этого слоя близка к толщине ровного льда.

Исследования показали, что для стамух Каспия толщина консолидированного слоя составляет в среднем 35 см. Наиболее суровой из зим в период исследований (2001–2008 гг.) была зима 2006 года. В эту зиму средняя толщина консолидированного слоя стамух составила 1,48 м, максимальная – 2,77 м.

На рис. 7.34 приведено положение стамух, выявленных в результате мониторинга, осуществленного специалистами Научно-исследовательского центра космической гидрометеорологии «Планета» весной 2010 года.

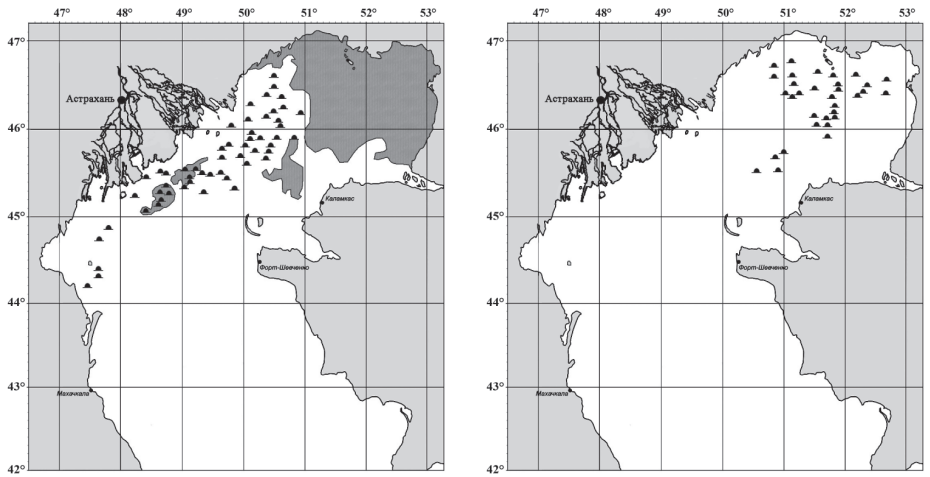


Рис. 7.34. Положение стамух на Северном Каспии 24 марта 2010 г. (а) и 4 апреля 2010 г. (б): серая область – зона присутствия дрейфующего льда.

Сравнение рис. 7.33 и 7.34 показывает, что зоны расположения стамух находятся в непосредственной близости от районов месторождений Кашаган, Курмангазы, им. Ю. Корчагина, им. В. Филановского, Ракушечное.

При волнении моря, а также при сгонно-нагонных колебаниях уровня стамухи совершают колебательно-поступательные движения. При этом киль стамухи пропахивает дно моря. Это обстоятельство необходимо учитывать при расчете заглубления трубопроводов, прокладываемых по дну мелкого моря, которое должно составлять в зоне образования стамух не менее 2 м.

7.8. Ледовые условия в портах Каспийского моря и на Астраханском рейде

Астрахань

Географические координаты порта: 46°22′ с.ш., 48°04′ в.д.

Порт Астрахань расположен в устье реки Волги, ширина которой здесь от 0,6 до 2 км. Длина портовой акватории 30 км. Из Каспийского моря к Астрахани ведет Волго-Каспийский морской судоходный канал длиной 188 км, глубиной 5 м, шириной на уровне навигационной глубины 100–120 м. По каналу разрешается двухстороннее движение судов длиной до 126 м, шириной 16 м и осадкой 4,2 м. При заиливании канала разрешенная осадка судов уменьшается. Судовой ход шириной 250–300 м на акватории порта проходит ближе к левому берегу Волги.

В Астраханском водно-транспортном узле действуют около полутора десятков пунктов погрузки-выгрузки судов, на которых перерабатываются черные металлы, металлопрокат, пиломатериалы, бумага, асбест, оборудование, контейнеры, автомобильная техника, продовольственные и другие грузы. Эти пункты расположены на правом и частично левом берегах реки Волги. Длина входящих в их состав причалов составляет 3,2 км. Глубины у причалов – от 4,0 до 5,2 м.

В зимний период р. Волга и прилегающие морские акватории замерзают. В суровые зимы лед сохраняется с декабря по март, в мягкие зимы – с января по февраль. Проводка судов в эти месяцы осуществляется с помощью ледоколов.

Самые холодные месяцы в районе Астрахани – январь и февраль. В январе самая низкая среднемесячная температура воздуха достигала –17,8 °С, в феврале –18,6 °С. Зимой преобладают ветры восточной четверти, средняя скорость ветра в районе Астрахани в зимний сезон составляет 4–5 м/с.

На акватории порта наблюдаются большие колебания уровня воды. Нагонные подъемы уровня в порту возникают зимой при сильных и устойчивых

восточных и юго-восточных ветрах. Такие подъемы наблюдаются один раз в 2–3 года и составляют 10–15 см.

Основные изменения уровня в порту определяются сбросом воды в нижний бьеф Волгоградского водохранилища. Наибольшие уровни бывают в период половодья в мае-июне (наивысшая отметка за период зарегулированного стока 320 см над нулем Астраханского поста в 1966 г.). Минимальный уровень зафиксирован в октябре 1975 г. (–90 см относительно нуля поста). Амплитуда колебаний среднесуточных уровней в течение зимы в порту может достигать 2,0–2,4 м. Максимальные скорости течения (до 150 см/с) наблюдаются вдоль стрежня речного потока, проходящего вблизи правого берега.

Первое появление льда в районе Астрахани происходит в среднем 7 декабря (ранняя дата – 9 ноября 1920 г., поздняя – 25 января 2005 года. Разрушение припая происходит в среднем 14 марта (раннее – 30 января 1948 г., позднее – 10 апреля 1929 г.). Ледовый сезон продолжается в среднем 110 дней. Наибольший ледовый период зафиксирован в суровую зиму 1953/1954 гг. (158 дней). Наибольшая толщина наблюдается в конце февраля – в среднем 35–40 см. В мягкие зимы толщина льда в момент наибольшего развития льда составляет 15–25 см, в суровые зимы – 50–60 см.

Оля

Географические координаты порта: 45°48′ с.ш., 47°32′ в.д.

Морской порт расположен в устьевой части реки Волга в рукаве Бахтемир. Его территория пролегает от 65,3 км (45°48′,0 с.ш., 47°32′,0 в.д.) Волго-Каспийского морского судоходного канала (ВКМСК) до входа в ВКМСК с моря (188 км ВКМСК, 44°45′,8 с.ш., 47°45′,6 в.д.). Основной фарватер на акватории порта проходит по ВКМСК. Дополнительными судовыми ходами на акватории порта являются фарватеры, выходящие к основному судовому ходу из рукавов Бакланья и Бакланёнок.

Порт Оля открыт для международного судоходства, имеет статус пункта пропуска через государственную границу. Через него в круглогодичном режиме переваливаются внешнеторговые грузы, следующие по Каспию в иранском, туркменском, казахстанском, индийском направлениях. Акватория морского порта Оля является смежной с акваторией морского порта Астрахань.

Порт осуществляет грузовые операции, обслуживает грузопассажирские суда, специализируется на контейнерных перевозках. Принимает суда длиной до 150 м и шириной до 20 м, с максимальной осадкой 4,5 м. Имеет 15 причалов общей протяженностью 2332 м с глубинами от 5,2 до 6,0 м. Порт находится в стадии строительства.

Судоходство в морском порту требует учета гидрометеорологических условий, связанных с изменением глубин вследствие ветровых сгонно-нагонных и паводковых явлений, частыми туманами.

Первое появление льда в районе входа в ВКМСК с моря наблюдается в среднем в последних числах ноября (ранняя дата – 25 октября 1953 г., поздняя – 16 января 2011 года). Очищение моря ото льда происходит в среднем 21 марта (раннее – 17 февраля 2009 г., позднее – 16 апреля 1954 г.). Ледовый период на взморье в районе входа в ВКМСК продолжается в среднем 112 дней. Наименьший ледовый период – 59 дней – зафиксирован в зиму 2008/2009 гг., наибольший ледовый период – в суровую зиму 1953/1954 гг., когда он продолжался 173 дня.

Наибольшей толщины лед достигает в конце февраля – в среднем – 20–30 см. В экстремально мягкие зимы припай в районе взморья не наблюдается, в суровые зимы толщина припая – 50–60 см. В последнее 30-летие наибольшая толщина ровного льда в районе входа в ВКМСК с моря не превышала 35–45 см. Сроки появления льда сдвинулись в сторону более поздних дат на 6 дней, сроки очищения моря ото льда – в сторону более ранних дат на 7 дней. Ледовый период сократился, по сравнению со средним многолетним, на две недели и составляет (по данным наблюдений за последние 30 лет) 99 дней.

Астраханский рейд

Расположен в открытом море в 198 км к югу от Астрахани (см. рис. 7.1). Это место якорной стоянки судов с осадкой 3–5 м и перевалки грузов с морских судов на мелкосидящие речные суда для дальнейшей транспортировки на Волгу. Глубина на Астраханском рейде увеличивается с севера на юг: в южной части – 7–8 м, в северной – 3–5 м.

Самый холодный месяц – январь. Средняя месячная температура (по данным ГМС о. Тюлений) составляет –1,1 °С, наименьшая среднемесячная температура наблюдалась в 1972 г. (–10,6 °С). В зимнее время в районе Астраханского рейда преобладающими являются ветры восточной четверти: их повторяемость составляет 60 %. Средняя скорость ветра над Астраханским рейдом выше, чем в порту Астрахань, и составляет 5–6 м/с.

В северной части рейда ветровые сгоны могут вызвать уменьшение глубины на 2–2,5 м, в южной – на 0,8 м. Максимальные сгонно-нагонные колебания уровня в ледовый сезон происходят в ноябре и марте.

Средняя дата появления первого льда на Астраханском рейде по ряду многолетних наблюдений – 18 декабря. За последнее тридцатилетие начало ледообразования сдвинулось в сторону более поздних дат на 10 дней.

Период между датой первого появления льда и началом устойчивого ледообразования в суровые и умеренные зимы составляет от нескольких дней до трех недель, в мягкие зимы устойчивого ледообразования может не быть вовсе. В среднем устойчивое ледообразование в суровые и умеренные зимы

начинается через 10 дней после первого появления льда. Припай устанавливается в суровые зимы в среднем через 10 дней, в умеренные – через 20 дней после начала устойчивого ледообразования. В умеренные зимы толщина припая достигает максимума в феврале и составляет 12–15 см. В суровые зимы толщина льда может достигать 40–44 см (1953/1954 гг.).

Разрушение льда (один балл разрушенности) начинается в районе Астраханского рейда в среднем после суровых зим в середине марта, а после умеренных зим – в середине февраля. Взлом припая после суровых зим происходит в среднем в третьей декаде марта, после умеренных зим – в конце февраля; окончательное очищение района после суровых зим – в начале апреля, после умеренных – в первой половине марта. Наиболее позднее очищение, по данным ГМС о. Тюлений, наблюдалось 11 апреля 1969 г. после суровой зимы. Продолжительность ледового сезона составляет в среднем 85 дней (наибольшая продолжительность – 137 дней). В мягкие зимы ледовый сезон продолжается от нескольких дней до 50 дней.

В последнее 30-летие сроки очищения моря ото льда сдвинулись в сторону более ранних дат на 8 дней. Продолжительность ледового сезона сократилась, по сравнению со средним многолетним, на 19 дней и составляет 66 дней.

Махачкала

Географические координаты порта: 43°00′ с.ш., 47°31′ в.д.

Порт расположен на северо-западном побережье Среднего Каспия в Республике Дагестан. Навигация открыта круглый год. Порт перерабатывает нефтепродукты, минерально-строительные (щебень, гравий), навалочные, генеральные и лесные грузы. Через него проходят грузопотоки из России, Белоруссии, Украины, Прибалтики, а также транзитные грузы на Иран, Турцию, Среднюю Азию.

Махачкалинский порт имеет два грузовых района – сухогрузный и нефтяной. В районе порта 6 причалов. Длина причальной линии – 386 м. Берег в районе порта отмелый. Глубины в каналах, гаванях и у причалов непостоянны и поддерживаются дноуглубительными работами.

Особенностью температурного режима порта является неоднократный переход температуры воздуха через 0 °С осенью и весной. Наиболее холодными месяцами являются январь и февраль – средняя многолетняя температура воздуха в эти месяцы составляет 0 °С, наименьшая средняя месячная температура наблюдалась в январе 1972 г. (–9,2 °С) и в феврале 1929 г. (–9,6 °С).

Средняя дата устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С осенью к отрицательным значениям приходится на первую декаду января, весной – в среднем во второй декаде февраля.

В зимнее время в районе порта преобладают юго-восточные и северо-западные ветры. В суровые зимы преобладают обычно северо-западные ветры. Средняя скорость ветров зимой – 6,0–6,5 м/с. Максимальные скорости северо-западного ветра – до 40 м/с (октябрь 1948 г.), юго-восточного – 34 м/с (март 1954 г.). Район порта отличается значительными сгонно-нагонными колебаниями уровня, особенно большими с ноября по февраль. При юго-восточных ветрах наблюдаются нагонные повышения уровня до 60–70 см, при северо-западных – сгонные понижения уровня до 80–90 см.

Лед в порту наблюдается часто, а в суровые зимы представляет препятствие для судоходства. Средняя дата начала устойчивого ледообразования в суровые и умеренные зимы – первая декада января. В мягкие зимы появления льда, как правило, не наблюдается. В умеренные и суровые зимы значительная часть льда приносится из Северного Каспия. Средняя толщина льда местного образования в Махачкале 10–20 см. Однако в суровые зимы при интенсивном выхолаживании водной поверхности и смерзании приносного дрейфующего льда образуется припай, толщина которого может достигать 60–100 см.

Средняя дата окончательного очищения моря ото льда приходится на третью декаду февраля. Самое позднее очищение моря ото льда произошло в Махачкале 20 апреля 1954 года. Ледовый сезон 1953/1954 гг. был самым продолжительным и составил в бухте 140 дней, в открытом море – 118 дней.

Глава 8

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ МОРЕЙ ЕТР НА РУБЕЖЕ XX–XXI ВЕКОВ

8.1. Климатическая достоверность результатов исследования

В представленном в настоящем пособии исследовании обобщены факты, накопленные в виде рядов системных инструментальных и визуальных наблюдений на протяжении 100–200 лет и менее, то есть за отрезок времени, ничтожно малый по сравнению со временем существования климатической системы Земли (как твердой шарообразной планеты Солнечной системы), возраст которой с начала Архейской эры насчитывает 3,5 млрд. лет. Диапазон изменения климата очень велик. Однако ценность обобщения инструментально обеспеченного материала о состоянии природной среды состоит в том, что при всех ограничениях по климатической достоверности, о которых ниже будет идти речь, именно эти данные являются наиболее информативными и точными, по сравнению с описаниями качественного характера предыдущих периодов существования Земли.

В табл. 8.1 приведены данные об использованных рядах наблюдений при проведении исследования. Необходимо отметить проблемы, ограничивающие точность представленных в пособии данных.

1. В рядах ледовых характеристик имеются пропуски информации, причиной которых является либо отсутствие наблюдений в отдельные годы, либо непоступление информации в ФГБУ «Гидрометцентр России» по каналам связи. Принимались во внимание только те ряды, для которых количество пропусков не превышает 25 % ряда.

2. Искажение результатов наблюдений могло происходить в ходе перевода их в код КН-02 и передачи от первоисточника (гидрометеорологической станции) в ФГБУ «Гидрометцентр России», а также в ходе расшифровки данных кода (человеческий фактор). В сомнительных случаях проводилось сравнение информации соседних станций. Недостоверные случаи исключались из расчетов, правдоподобие экстремальных ледовых ситуаций проверялось путем сопоставления их с сопутствующей температурой воздуха.

3. В определении ледовитости морей также имеются некоторые сомнительные моменты. Это связано прежде всего с тем, что до конца 1970-х гг. единственным способом получения данных о ледовой обстановке были визуальные наблюдения с берега, с самолетов и вертолетов, с кораблей. Отрицательной стороной ледовых авиационных разведок, выполняемых по фиксированным галсам, являлась неоднозначность определения границ ледяного покрова между галсами. В то же время полеты на низких высотах позволяли надежно фиксировать и включать в состав площади ледяного покрова при расчете ледовитости зоны начальных видов льда и редкого льда, а также определять наслоенность, торосистость, заснеженность и разрушенность ледяного покрова.

Таблица 8.1

Ряды наблюдений за ледовыми характеристиками, использованные при проведении настоящего исследования, и пропуски данных в них

Район моря или пункт наблюдений	Гидрометеорологическая характеристика	Период наблюдений, годы	Число лет наблюдений	Пропуски данных, %
Карское море				
Амдерма	СГДМ	1940–2012	73	0
о. Диксон	СГДМ	1922–2012	91	0
Амдерма	ЛФ	1935–2012	78	5
Усть-Кара	ЛФ	1935–2012	78	10
Марре-Сале	ЛФ	1934–2012	79	3
Харасавей	ЛФ	1954–1998	45	10
о. Белый	ЛФ	1934–2012	79	13
о. Диксон	ЛФ	1934–2012	79	0
Сопочная Карга	ЛФ	1956–2012	57	18
Новый Порт	ЛФ	1981–2012	32	5
Амдерма	ТЛ	1940–2012	73	2
Усть-Кара	ТЛ	1935–2012	78	5
Марре-Сале	ТЛ	1940–2012	73	0
Харасавей	ТЛ	1964–1997	34	6
о. Белый	ТЛ	1934–2012	79	13
Диксон	ТЛ	1924–2012	89	2
Сопочная Карга	ТЛ	1942–2012	71	2
Дудинка	ТЛ	1949–2012	64	12
Игарка	ТЛ	1964–2012	49	6
Тамбей	ТЛ	1966–2008	43	15
м. Каменный	ТЛ	1951–1993	43	0
Новый Порт	ТЛ	1994–2012	19	5
Юго-западная часть	ПНЗ	1940–2012	73	0
	Л	1940–2012	73	0

Продолжение табл. 8.1

Район моря или пункт наблюдений	Гидрометеорологическая характеристика	Период наблюдений, годы	Число лет наблюдений	Пропуски данных, %
Баренцево море				
Нарьян-Мар	СГДМ	1928–2012	85	0
Баренцбург	СГДМ	1913–2012	100	0
Бугрино	ЛФ	1924–2012	89	2
Северный Колгуев	ЛФ	1942–2012	71	0
Индига	ЛФ	1924–2012	89	9
Константиновский	ЛФ	1960–2012	53	0
Варандей (Шар)	ЛФ	1941–2012	72	4
Белый Нос	ЛФ	1950–2012	63	2
Малые Кармакулы	ЛФ	1950–2012	63	14
о. Хейса	ЛФ	1960–2012	53	8
Бугрино	ТЛ	1924–2012	89	2
Индига	ТЛ	1965–2012	48	15
Константиновский	ТЛ	1965–2012	48	4
Варандей (Шар)	ТЛ	1965–2012	48	25
Белый Нос	ТЛ	1941–2012	72	0
Малые Кармакулы	ТЛ	1940–2012	73	1
о. Хейса	ТЛ	1958–2012	55	7
Все море	Л	1907–2012	106	14
Юго-восточная часть	Л	1928–2012	85	0
Белое море				
Архангельск	СГДМ	1834–2012	179	0
Архангельск	ЛФ	1882–2012	131	0
о. Мудьюг	ЛФ	1912–2012	101	2
Унский маяк	ЛФ	1923–2012	90	2
Зимнегорский	ЛФ	1909–2012	104	1
Онега	ЛФ	1916–2012	97	1
Кемь-Порт	ЛФ	1917–2012	96	6
Разнаволок	ЛФ	1918–2012	95	3
Соловки	ЛФ	1941–2012	72	0
Гридино	ЛФ	1925–2012	88	6
Ковда	ЛФ	1939–2012	74	13
Кандалакша	ЛФ	1924–2012	89	8
Умба	ЛФ	1954–2012	59	20
Сосновец	ЛФ	1910–2012	103	4

Продолжение табл. 8.1

Район моря или пункт наблюдений	Гидрометеорологическая характеристика	Период наблюдений, годы	Число лет наблюдений	Пропуски данных, %
Абрамовский	ЛФ	1912–2012	101	3
Моржовец	ЛФ	1892–2012	121	5
Канин Нос	ЛФ	1916–2012	97	4
о. Мудьюг	ТЛ	1914–2012	99	12
Унский маяк	ТЛ	1939–2012	74	12
Онега	ТЛ	1932–2012	81	6
Кемь-Порт	ТЛ	1939–2012	74	15
Разнаволок	ТЛ	1930–2012	83	6
Соловки	ТЛ	1950–2012	63	6
Гридино	ТЛ	1930–2012	83	13
Ковда	ТЛ	1939–2012	74	8
Кандалакша	ТЛ	1930–2012	83	7
Умба	ТЛ	1940–2012	73	15
Воронка моря	Л	1951–2012	62	0
Балтийское море				
Санкт-Петербург	СГДМ	1806–2012	207	0
Санкт-Петербург	ЛФ	1921–2012	92	0
Кронштадт	ЛФ	1889–2012	124	0
Лисий Нос	ЛФ	1923–2012	90	0
Усть-Луга	ЛФ	1921–2012	92	13
Выборг	ЛФ	1946–2012	67	0
Приморск	ЛФ	1951–2012	62	2
Лисий Нос	ТЛ	1925–2012	88	8
Кронштадт	ТЛ	1911–2012	102	22
Выборг	ТЛ	1930–2012	83	14
Все море	Л	1720–2012	293	0
Финский залив	Л	1951–2012	62	0
Азовское море				
Ростов-на-Дону	СГДМ	1882–2012	131	0
Таганрог	ЛФ	1923–2012	90	5
Мариуполь	ЛФ	1925–2012	88	4
Ейск	ЛФ	1924–2012	89	13
Приморско-Ахтарск	ЛФ	1924–2012	89	8
Бердянск	ЛФ	1924–2012	89	11
Геническ	ЛФ	1925–2012	88	10
Тамань	ЛФ	1936–2012	77	20

Окончание табл. 8.1

Район моря или пункт наблюдений	Гидрометеорологическая характеристика	Период наблюдений, годы	Число лет наблюдений	Пропуски данных, %
Керчь	ЛФ	1925–2012	88	8
Таганрог	ТЛ	1924–2012	89	6
Мариуполь	ТЛ	1927–2012	86	10
Приморско-Ахтарск	ТЛ	1924–2012	89	10
Тамань	ТЛ	1936–2012	77	25
Все море	Л	1950–2012	63	0
Черное море				
Одесса	СГДМ	1882–2012	131	0
Николаев	ЛФ	1927–2012	86	5
Очаков	ЛФ	1926–2012	87	8
Одесса	ЛФ	1923–2012	90	20
Николаев	ТЛ	1940–2012	73	5
Очаков	ТЛ	1940–2012	73	15
Северо-западная часть	Л	1950–2012	63	0
Каспийское море				
Астрахань	СГДМ	1846–2012	167	0
о. Большой Пешной	ЛФ	1930–2012	83	20
о. Искусственный – Лагань	ЛФ	1942–2012	71	19
о. Тюлений	ЛФ	1940–2012	73	24
о. Кулалы	ЛФ	1940–2012	73	25
Форт Шевченко	ЛФ	1933–2012	80	25
о. Большой Пешной	ТЛ	1930–2012	83	24
о. Искусственный – Лагань	ТЛ	1953–2012	60	15
Форт Шевченко	ТЛ	1953–2012	60	25
Северный Каспий	Л	1928–2012	85	0

Примечание. СГДМ – сумма градусодней мороза; ЛФ – ледовые фазы; ТЛ – толщина припайного льда; Л – ледовитость; ПНЗ – площадь Новоземельского массива.

Начиная с 1980-х гг. для определения положения кромок льда используются снимки низкого и среднего разрешения с искусственных спутников Земли (сканирование в видимом, инфракрасном, радиолокационном диапазонах, микроволновое радиометрическое сканирование). Для каждого сканера имеются ограничения по достоверности дешифрирования ледовых условий:

– на снимках в видимом и инфракрасном спектрах нельзя определить границы льда в условиях облачности;

– низкое разрешение снимков даже в условиях хорошей видимости не всегда дает возможность зафиксировать наличие начальных видов льда или редкого льда;

– используемые в настоящее время для автоматического определения ледовитости данные микроволновых радиометров игнорируют начальные виды льда и редкий лед, а также могут интерпретировать мокрый лед любой сплоченность как чистую воду.

Тем не менее обилие материалов наблюдений, большая работа по их проверке и анализу полученных результатов дают надежду на то, что попытка систематизировать сумму представлений о состоянии ледового режима морей ЕТР в XX – начале XXI вв. окажется полезной для теоретиков и практиков, обеспечивающих проведение морских операций в замерзающих российских морях.

8.2. Соответствие современных изменений климата палеоклиматическим представлениям

Велик соблазн увязать настоящее исследование с палеонтологическими данными, имеющими, безусловно, более низкую климатическую достоверность, чем системные визуальные и инструментальные данные наблюдений за ледовой обстановкой и температурным режимом в российских морях, перечисленные в табл. 8.1.

Понятие «климат» претерпевало изменения по мере накопления данных наблюдений за температурой воздуха. В 60-х гг. XX века «климат» определялся как «многолетний режим погоды для данной местности», который «относительно неизменен за многолетние периоды, но подвергается коренным изменениям на протяжении геологических эпох» [95].

С конца XX века климат – «совокупность статистических свойств климатической системы за ограниченный промежуток времени» – 10, 30 лет и т.д. [14]. Со второй половины XIX века в качестве показателей изменения древних климатов используются литологические данные (информация о составе и происхождении осадочных пород), которые находятся в большой зависимости от погодных факторов. По представлениям палеоклиматологов в последний миллион лет (относящийся к четвертичному периоду кайнозойской эры) ледниковые периоды (продолжительностью 50–150 тыс. лет) чередовались с межледниковыми периодами. При этом в ледниковой теории остается множество спорных вопросов. Представления о смене ледниковых и межледниковых периодов за последний миллион лет очень приблизительны: по мнению разных исследователей таких перемен было от 4 до 7. В табл. 8.2 приведена версия [14, 43] о предполагаемых временных рамках ледниковых и межледниковых периодов за последний миллион лет в Европе. Следует отметить, что в других источниках имеются сдвиги пределов периодов на 10–20 тыс. лет и более.

Таблица 8.2

Данные о предполагаемых временных рамках ледниковых и межледниковых периодов за последний миллион лет в Европе

№	Название	Время, лет тому назад	Климатические экстремумы, лет тому назад	Период, лет	ΔTmax, °C
1	Дунайское оледенение, первый максимум	1200–960 тыс.	970 тыс.	240 тыс.	≈–3...–5
2	Первый интерстадиал	960–930 тыс.	н.с.	30 тыс.	≈+2...+4
3	Дунайское (Сетуньское) оледенение, второй максимум	930–815 тыс.	855 тыс.	115 тыс.	≈–4...–6
4	Второй интерстадиал (Акуловское межледниковье)	815–730 тыс.	н.с.	85 тыс.	≈+2...+4
5	Дунайское (Донское) оледенение, третий максимум	730–620 тыс.	685 тыс.	110 тыс.	≈–4...–8
6	Дунай-гюнцское межледниковье	620–595 тыс.	н.с.	25 тыс.	≈+2...+4
7	Гюнцское оледенение	595–545 тыс.	н.с.	50 тыс.	≈–5...–9
8	Гюнц-миндельское межледниковье	545–490 тыс.	н.с.	55 тыс.	≈+2...+4
9	Миндельское (Окское) оледенение	490–430 тыс.	н.с.	60 тыс.	≈–5...–10
10	Миндель-рисское (Лихвинское) межледниковье	430–280 тыс.	335–300 тыс.	150 тыс.	≈+2...+4
11	Рисское (Днепровское) оледенение	280–180 тыс.	н.с.	100 тыс.	≈–5...–10
12	Рисс-вюрмское (Микулинское) межледниковье	180–70 тыс.	130–75 тыс.	105 тыс.	≈+1...+2
13	Вюрмское (Валдайское) оледенение	70–15 тыс.	20–18 тыс.	55 тыс.	≈–5...–10
14	Межледниковье голоцена	15–0 тыс.	6–5,5 тыс.	15 тыс.	≈+2...+4 (оптимум)

Примечание. Первое название оледенения соответствует оледенению Альп, второе (в скобках) – оледенению ЕТР, ΔTmax – отклонение температуры воздуха от современной в периоды климатических экстремумов, н.с. – нет сведений.

Предположительно средняя температура Земли изменяется в пределах ±10 °С при переходе от ледниковых к межледниковым периодам и обратно. Из анализа табл. 8.2 следует, что средняя продолжительность периода оледенения составляет 105 тыс. лет, а межледниковья – 75 тыс. лет (что не соответствует ряду источников, в которых сообщается, что межледниковые

периоды значительно короче ледниковых и длятся 15–20 тыс. лет). При этом три последних наиболее доказанных межледниковья имеют продолжительность более 50 тыс. лет. Поскольку современное межледниковье голоцена длится только 15 тыс. лет, вероятность скорого наступления нового ледникового периода невелика, и значительно вероятнее, что у человечества есть еще впереди, по крайней мере, 30 тысяч лет с относительно стабильными климатическими условиями. Что такое «относительная стабильность», можно заключить из анализа климата Земли в период последнего межледниковья – голоцена. То, что мы называем «глобальным потеплением», в полной мере вписывается в понятие о естественных колебаниях температуры воздуха, пики которых за последние всего лишь 6 тысяч лет уже несколько раз превышали современную температуру воздуха на 2–4 °С.

Наиболее подробные данные об изменениях климата за последние 150 тыс. лет получены при анализе кернов континентального льда ледников Гренландии, Северной Земли, Антарктиды. В [14] приведен график отклонений от современных значений средней глобальной температуры воздуха за последние 27 тыс. лет, построенный как результат комплексных палеоклиматических исследований. Увязка данных этого графика с современной информацией о средней годовой температуре воздуха в Санкт-Петербурге позволила построить гипотетический график изменчивости средней годовой температуры воздуха в районе Санкт-Петербурга за этот период (рис. 8.1).

Пунктирная линия на графике – данные реконструкции палеотемператур для последних 10 тыс. лет, полученные на основе анализа спорово-пыльцовых диаграмм (СПД) озерно-болотных отложений на разрезе «Кивач» (южная часть Карелии). Целый ряд аналогичных СПД по другим карельским разрезам подтверждают данные реконструкции, приведенной на рис. 8.1 [55, 63].

Пик межледниковья, предшествующего последнему ледниковому периоду, пришелся на время 130–75 тыс. лет назад, когда средняя годовая температура воздуха в умеренной зоне Северного полушария была предположительно на 1,5–2 °С выше современной температуры. В последующие 5 тыс. лет температура медленно понижалась и 70 тыс. лет назад климат предположительно был таким же, как современный. Далее начинается последний ледниковый период, границы которого определяет интервал 70–15 тыс. лет назад (продолжительность – примерно 55 тыс. лет). 25 тыс. лет назад начинается активное наступление на материк ледяного покрова, который достигает своего максимального распространения 18–20 тыс. лет назад. В это время Скандинавский п-ов и районы современных Белого и Балтийского морей были покрыты ледниковым панцирем толщиной несколько сотен метров, по данным некоторых источников, предположительно 2000 м и более [14, 67]. 15 тыс. лет назад (в XIII веке до н.э.) началось активное потепление (последний межледниковый период), деградация ледников, повышение уровня океана.

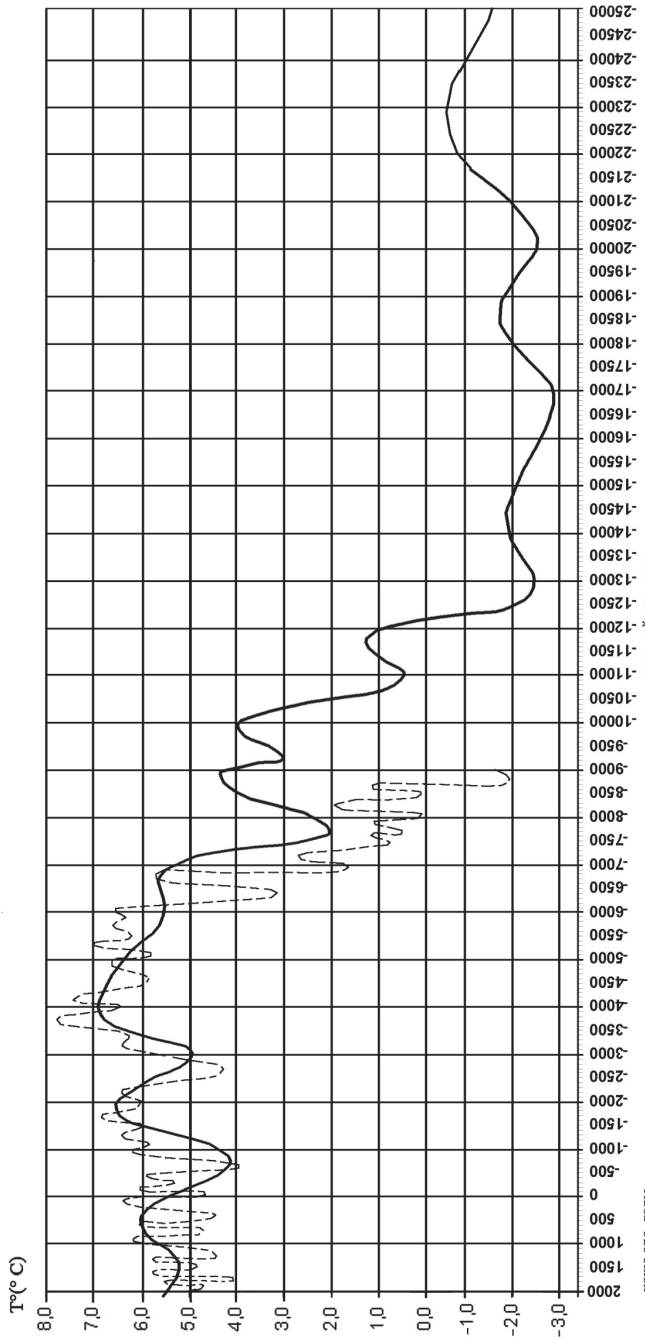


Рис. 8.1. График изменчивости средней годовой температуры воздуха в районе Санкт-Петербурга за 27 тыс. лет:
сплошная линия – результат комплексных палеоклиматических и «керновых» исследований;
пунктирная линия – данные анализа СПД на разрезе «Кивач».

Последние 10 тыс. лет, и особенно вторая половина голоцена, изучены детальнее, чем предшествующие периоды. Рис. 8.1 показывает, как график хода температуры, полученный для голоцена путем анализа СПД, уточняет общие представления о палеоклимате: если график для 27 тыс. лет «улавливает» изменения, характерный масштаб которых тысяча лет, то кривая для голоцена – попытка отобразить колебания с характерным масштабом 100 лет. Оба графика фиксируют климатический оптимум голоцена 5,5–6,0 тыс. лет назад (3,5–4,0 тыс. лет до н.э.), когда температура воздуха была на 2–4 °С выше современной. Приближаясь по временной оси к нашему времени, можно зафиксировать три ощутимых похолодания и последующих потепления. Тем не менее после оптимума сохранялась тенденция к снижению температуры.

Последнее значительное повышение температуры относится к IX–XIII вв. н.э. Этот период получил название малого климатического оптимума. Он был не столь теплым, как климатический оптимум голоцена 6 тыс. лет назад, но все-таки теплее нашего климата на 1,5–2,0 °С. С XIV в. началось похолодание, известное как «малый ледниковый период», продолжавшийся до начала XIX века. Глобальная температура в это время была на 1,5–2,0 °С ниже современной. Поскольку этот период был сравнительно недавно, он оставил мощный след в исторических хрониках [14]. С начала XIX в. началось постепенное повышение температуры воздуха, продолжающееся и теперь, о чем свидетельствуют результаты инструментальных наблюдений. Для европейской части России это подтверждают, например, данные по Санкт-Петербургу (рис. 4.3).

Анализ накопившихся к настоящему времени наблюдений за температурой воздуха позволил сделать предположения о существовании в характере климатических изменений циклов с разными периодами (тяготеющих к 12, 20, 60, 80, 90 гг. и т.д.), связанных с ритмами космической механики. Некоторые авторы справедливо связывают эти циклы с периодами вращения планет Солнечной системы, обращая при этом внимание на сложность характера воздействий совместных влияний (прежде всего гравитационных) этих планет на климатическую систему Земли. Наиболее вероятно влияние на климатическую систему гравитационных полей планет-гигантов Юпитера (317,9 земных масс), Сатурна (95,2 земных масс), Урана (14,5 земных масс), Нептуна (17,1 земных масс). Есть смысл обратить внимание на их орбитальные периоды: Юпитер – 11,86 лет, Сатурн – 29,46 лет, Уран – 84,01 лет, Нептун – 164,79 лет, а также, например, на 20-летний цикл соединения Сатурна и Юпитера и на ряд циклов Солнечной активности [43].

В ФГБУ «Гидрометцентр России» с целью повышения оправдываемости долгосрочного прогноза ледовых условий была предпринята попытка разработки новой методики с использованием полных рядов наблюдений за метеорологическими и ледовыми характеристиками (табл. 8.1) на основе традиционного физико-статистического подхода [1]. В основу методики прогноза заложено предположение о том, что на будущую суровость зимы и значения ледовых характеристик в морях европейской части России влияют состояние,

интенсивность и взаимодействие крупных термобарических атмосферных структур; положение пункта прогноза относительно центров этих структур; наличие накладывающихся друг на друга циклов, определяемых внешним (космическим) воздействием.

Прогнозисты-практики знают, что долгосрочный прогноз любого явления (включая прогноз природного процесса) – дело почти невозможное. Любой процесс в климатической системе обладает определенной инерцией – «памятью»; с течением времени под действием различных малых импульсов природный процесс «забывает», с чего начался, поэтому за пределами сохранения «памяти» прогноз практически невозможен [67]. Ряд национальных гидрометслужб вовсе отказались от составления прогнозов элементов климатической системы заблаговременностью более одного месяца. Однако на практике долгосрочный прогноз является не только сильно востребованным элементом обслуживания судоходных компаний, но и принуждает разработчиков к проведению глубоких тематических исследований. Следует отметить, что именно поставленная трудновыполнимая задача привела к необходимости анализа имеющихся рядов наблюдений, сканированию огромного количества ледовых карт, созданию электронного архива и в конечном счете – возможности создания данного пособия.

В силу производственной необходимости в ФГБУ «Гидрометцентр России» в течение многих лет составляется долгосрочный прогноз ледовых условий на российских морях на предстоящую зиму. При этом прогнозируется ряд характеристик ледового сезона по портам российских морей с заблаговременностью от двух до восьми месяцев: сумма градусодней мороза (СГДМ), первое появление льда (ПП), максимальная за ледовый сезон средняя месячная ледовитость моря (МЛ), максимальная за ледовый сезон толщина припайного льда (МТЛ), дата окончательного очищения моря ото льда (ОО), продолжительность ледового периода (ЛП).

Несмотря на то, что все неарктические моря находятся в разных физико-географических районах, в их ледовом режиме много общего: на всех морях наблюдается большая ледовая инерция; знаку аномалии суммы градусодней мороза и ледовитости на одном море, как правило, соответствует такая же по знаку аномалия на других морях данного региона. Существует значимая корреляция (коэффициент корреляции r=0,6–0,8) между ледовитостью и положением кромки льда, ледовитостью и толщиной льда. Ледовые процессы на всех морях связаны со спецификой макроциркуляционных атмосферных процессов, которые в свою очередь зависят от состояния центров действия атмосферы в месяцы, предшествующие ледовому сезону. Это делает возможным осуществление единого подхода к разработке метода долгосрочного ледового прогноза для всех неарктических морей. Попытка такого единого подхода была предпринята в Гидрометцентре СССР А.И. Каракашем в 1970-х гг. [2]. В 2008–2010 гг. была осуществлена проверка данного метода на независимом 25-летнем ряде наблюдений (1983–2007 гг.), которая не дала положительного результата. Это свидетельствует лишь о том, что статистические связи не

являются устойчивыми и нуждаются в постоянном осмыслении и обновлении, что объясняется сменой эпох атмосферной макроциркуляции, период которых тяготеет к 20–25 годам [41, 45, 47].

Короткие (20–30-летние) ряды, использованные разработчиками методов прогноза во второй половине XX в., не дают возможности привлечения большого числа предикторов. Сложность же изучаемых процессов заключается в том, что использование трех-четырех предикторов может обеспечить устойчивость связи только на коротком отрезке времени, сопоставимом с продолжительностью макроциркуляционной эпохи. А с другой стороны, с неограниченным увеличением числа аргументов коэффициент корреляции между рядами фактических и расчетных величин может увеличиваться с одновременным уменьшением его достоверности. Таким образом, существует острая необходимость постоянного совершенствования методик долгосрочного прогноза элементов климатической системы, которая заставляет искать природные закономерности более общего характера, сохраняющие свое действие в течение длительного периода времени.

Информационная основа нового метода долгосрочного прогноза ледовых условий на морях ЕТР:

– данные наблюдений за температурой воздуха у поверхности Земли на морских гидрометеорологических станциях за 70–200 лет;

– данные наблюдений за приземным давлением в пунктах, расположенных в районах центров действия атмосферы (ЦДА): сибирского максимума (Иркутск), исландского минимума (Рейкьявик) и азорского максимума (Понта-Делгада) за 130 лет;

– таблицы дат наступления ледовых фаз, продолжительности ледовых периодов и толщин припайного льда, составленные по данным наблюдений морских ГМС за 50–130 лет (табл. 8.1);

– таблицы ледовитости неарктических морей, полученные на основе использования данных ледовых авиаразведок и ИСЗ за 60–85 лет (табл. 8.1).

Технология долгосрочного прогноза представляет собой ансамблевый метод, включающий три компонента для расчета ледовых параметров [49, 50]:

1. Расчет по уравнениям множественной корреляции на основе использования поля приземной температуры воздуха над евроатлантическим сектором.

2. Расчет по уравнениям множественной корреляции на основе использования характеристик поля приземного давления над евроатлантическим сектором.

3. Разложение кривых хода межгодовой изменчивости ледовых параметров на гармонические составляющие с последующей экстраполяцией их сумм на предстоящий ледовый сезон.

В окончательном прогнозе ледовых характеристик учитывается вклад каждого из трех компонентов. При этом величина этого вклада в общий результат пропорциональна обеспеченности расчета в рамках каждого компонента.

При разработке методики прогноза исследовалась связь характеристик ледового режима неарктических морей с параметрами атмосферных процессов:

– среднемесячными значениями приземной температуры воздуха, характеризующими сибирскую, причерноморскую, североатлантическую и беломорскую воздушные массы, и разностями этой температуры на фиксированных створах ΔT_1 и ΔT_2;

– среднемесячными значениями приземного давления в ЦДА и разностями этих значений на фиксированных створах ΔP_1 и ΔP_2. Корреляционный анализ осуществлялся по данным девяти месяцев, предшествующих ледовому сезону (с января по сентябрь) на основе привлечения большого числа предикторов, характеризующих влияние атмосферных процессов (центров действия атмосферы – ЦДА, а также зональных и меридиональных потоков тепла и количества движения) на ледовые явления. В табл. 8.3 приведены предикторы, использованные в расчетных уравнениях.

Таблица 8.3

Предикторы, используемые при прогнозе СГДМ и ледовых явлений

Предиктор	Характеристика
$T_{Р}$	Среднемесячная температура воздуха в Ростове-на-Дону, характеризующая причерноморскую воздушную массу
$T_{Ар}$	Среднемесячная температура воздуха в Архангельске, характеризующая беломорскую воздушную массу
$T_{СПб}$	Среднемесячная температура воздуха в Санкт-Петербурге, характеризующая евроатлантическую воздушную массу
$T_{Ир}$	Среднемесячная температура воздуха в Иркутске, характеризующая сибирскую воздушную массу
ΔT_1	Меридиональный температурный градиент
ΔT_2	Зональный температурный градиент
P_c	Давление в районе сибирского максимума (Иркутск)
$P_и$	Давление в районе исландского минимума (Рейкьявик)
$P_а$	Давление в районе азорского максимума (Понта-Делгада)
ΔP_1	Меридиональный градиент давления
ΔP_2	Зональный градиент давления

Примечание. $\Delta T_1 = T_{Ар} - T_{СПб}$; $\Delta T_2 = T_{Ир} - (T_{Ар} + T_{СПб})/2$;

$$\Delta P_1 = P_а - P_и;\ \Delta P_2 = P_c - (P_а + P_и)/2.$$

Степень влияния этих предикторов различная для разных месяцев, предшествующих зимнему периоду, подробно проанализирована в [52]. Ограничение набора предикторов данными за сентябрь определено тем, что результаты прогноза предоставляются потребителям ледовой информации в начале октября.

Для морей европейской части России был выбран единый набор наиболее значимых предикторов (46 характеристик поля температуры и 39 характеристик поля давления). Уравнения для всех портов имеют аналогичный вид,

отличаясь только весовыми коэффициентами. Число весовых коэффициентов, отличных от нуля, в каждом уравнении не превышает 20 % ряда рассчитываемой ледовой характеристики. Термическое и барическое воздействия включены в отдельные компоненты методики с целью облегчения выявления их системного влияния на будущую специфику ледовых процессов.

Если обозначить предикторы x_1, x_2, ... x_n, то линейное корреляционное уравнение может быть записано в виде:

$$y = A_i(B_1 x_1 + B_2 x_2 + ... + B_n x_n) + C_i, \quad (8.1)$$

где B_1, B_2, ... B_n – весовые коэффициенты; A_i и C_i – коэффициенты в линейном уравнении для i-го элемента ледового режима (сумма градусодней мороза, дата начала ледообразования, максимальная за ледовый сезон ледовитость моря, максимальная за ледовый сезон толщина льда, дата очищения моря ото льда).

Для третьего компонента прогноза периоды циклов для гармоник определялись по ряду приземной температуры воздуха в Санкт-Петербурге, для которого имеется наибольшее число наблюдений. Разложению подвергался 200-летний ряд отклонений СГДМ от генерального тренда. При этом генеральный тренд также описывался длиннопериодной гармоникой, наиболее близко соответствующей полиномиальному тренду 2-го порядка.

Мерой согласованности фактических и расчетных отклонений от генерального тренда являлся полученный в процессе перебора вариантов максимальный (пиковый) коэффициент корреляции между значениями двух рядов – фактических отклонений СГДМ и соответствующих значений гармоники (G), описываемых уравнением вида:

$$G = A_g \sin((N_i - N_0)2\pi/\Delta t), \quad (8.2)$$

где N_i – номер текущего года; N_0 – номер узлового года (отклонение от генерального тренда равно нулю); A_g – амплитуда, определяемая по регрессии между значениями $\sin((N_i - N_0)2\pi/\Delta t)$ и фактическими данными; Δt – период цикла.

На рис. 8.2 показано положение гармоники № 1 (генеральный тренд) и полиномиального тренда 2-го порядка для ряда СГДМ по Санкт-Петербургу, на рис. 8.3 – положение той же гармоники на оси времени, длина которой составляет 5 тыс. лет.

Проверим, как согласуются данные этой гармоники с климатическими представлениями, изложенными выше.

Анализ рис. 8.3 показывает, что предпоследнее значительное повышение температуры (которым соответствуют минимальные значения СГДМ), как констатировалось выше, действительно относится к IX–XIII вв. н.э. (малый климатический оптимум). Мы видим, что в XIV в. действительно началось похолодание, известное как «малый ледниковый период», продолжавшийся до начала XIX в., далее началось постепенное повышение температуры воздуха (уменьшение СГДМ), продолжающееся и теперь (и находящееся в соответствии

с рис. 8.3 на половине пути к следующему экстремальному значению очередного климатического оптимума). Таким образом, чисто теоретически найденная гармоника подтверждает палеоклиматические представления, что служит доказательством ее реального существования.

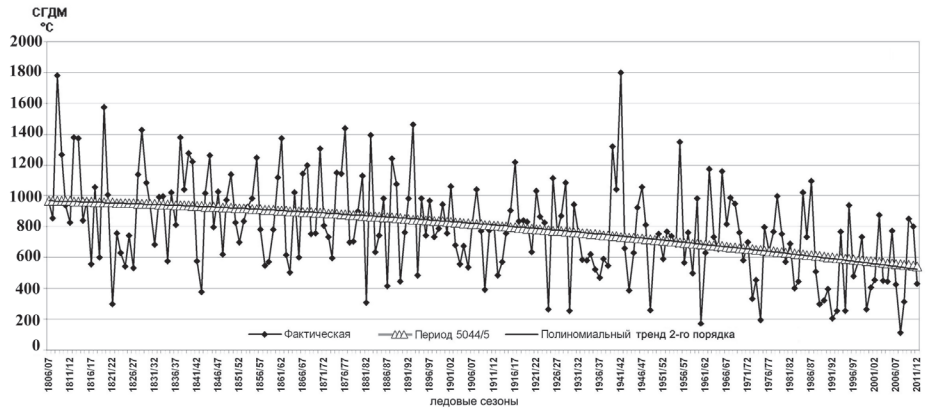


Рис. 8.2. Положение гармоники № 1 (генеральный тренд) и полиномиального тренда 2-го порядка для ряда СГДМ по Санкт-Петербургу.

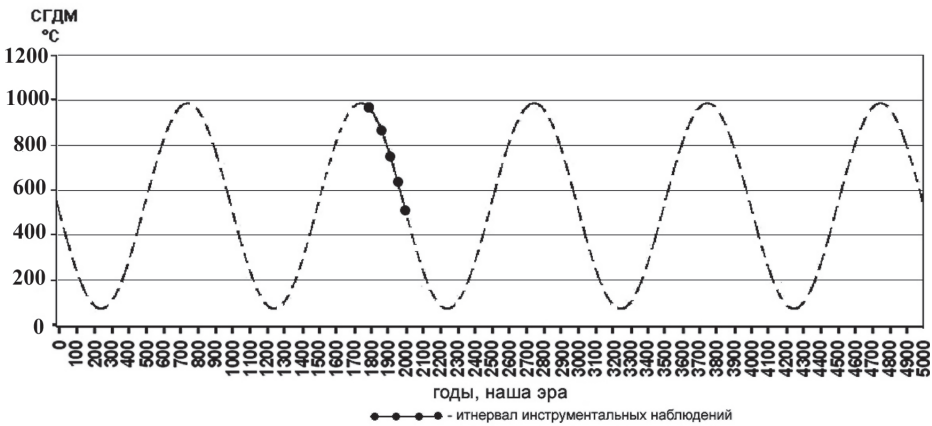


Рис. 8.3. Положение гармоники № 1 (генеральный тренд) для ряда СГДМ по Санкт-Петербургу на оси времени до 5000 г. н.э.

На рис. 8.4 показано положение гармоники № 2 и полиномиального тренда 4-го порядка для отклонения СГДМ по Санкт-Петербургу от генерального тренда.

На рис. 8.5 показано положение гармоники № 3 и полиномиального тренда 6-го порядка для отклонения СГДМ по Санкт-Петербургу от генерального тренда.

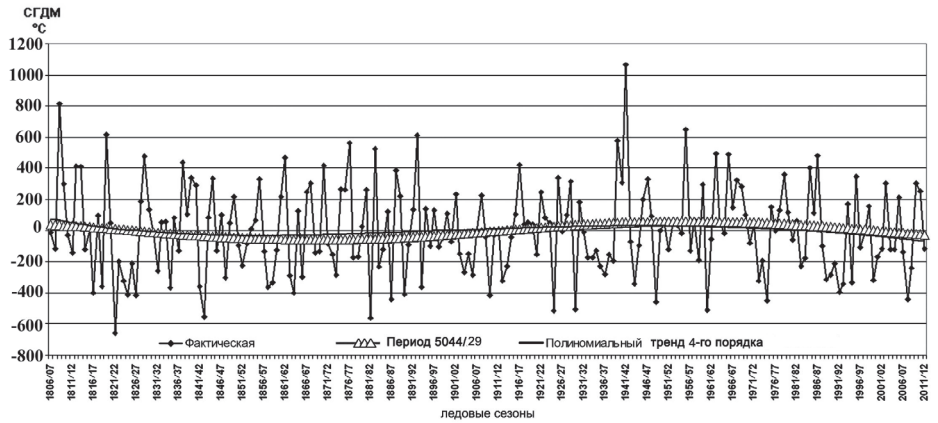


Рис. 8.4. Положение гармоники № 2 и полиномиального тренда 4-го порядка для отклонения СГДМ по Санкт-Петербургу от генерального тренда.

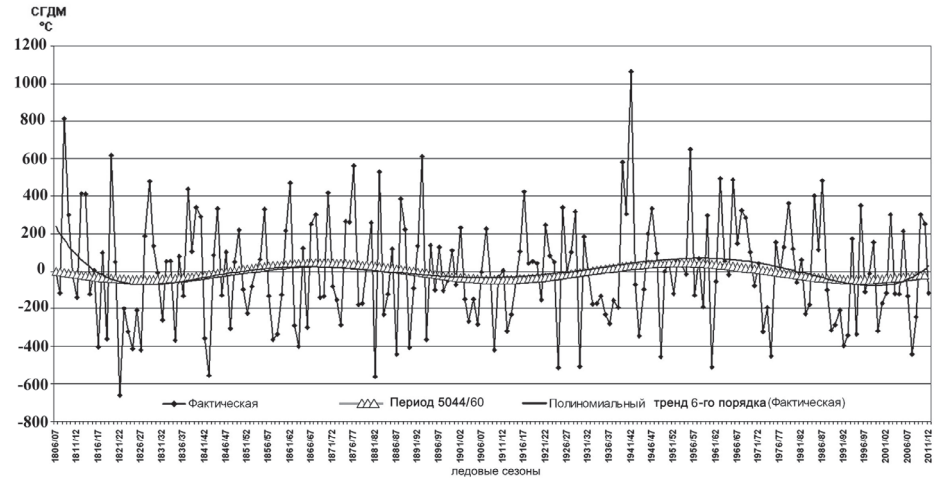


Рис. 8.5. Положение гармоники № 3 и полиномиального тренда 6-го порядка для отклонения СГДМ по Санкт-Петербургу от генерального тренда.

Как показывает рис. 8.3, узловыми годами гармоники № 1 (для которых выполняется условие $\sin((N_i - N_0)2\pi/\Delta t))=0$), являются годы, соответствующие среднему значению СГДМ, близкому к 530 °С. Для гармоник № 2 и № 3, описывающих отклонение фактических значений СГДМ от генерального тренда, узловым годам соответствуют нулевые ординаты. Оказалось, что для этих трех визуально определяемых гармоник существуют общие узловые годы, повторяющиеся в периоде, равном ΔT=5044. В частности, общий узловой год попадает на начало современного летоисчисления (рис. 8.3). Из представления об общности узлового года для трех гармоник и наличии

глобального периода было выдвинуто предположение, что N_0 – величина, постоянная для ряда гармоник, сумма которых способна аппроксимировать изменчивость СГДМ внутри глобального периода. Тогда значение Δt для этих гармоник должно определяться из выражения:

$$\Delta t = \Delta T / m, \tag{8.3}$$

где ΔT – глобальный период; m – целые числа.

На рис. 8.2–8.5 видно, что гармоники № 1, № 2, № 3 действительно визуально определимы. Остальные гармоники найдены по существенным всплескам коэффициентов корреляции между фактическими отклонениями от генерального тренда и синусоидами с периодами, полученными путем последовательного деления величины глобального периода, равной 5044 годам, на целые числа от 2 до 2500.

В табл. 8.4 приведены параметры для 31 гармоники, сумма которых аппроксимирует СГДМ в Санкт-Петербурге и Архангельске, а также коэффициенты корреляции (r).

Таблица 8.4

Параметры гармоник (m и Δt), полученные по рядам СГДМ в Санкт-Петербурге и Архангельске, и коэффициенты корреляции (r) для гармоник

№ гармоники	m	Δt	r		№ гармоники	m	Δt	r	
			Санкт-Петербург	Архангельск				Санкт-Петерб.	Архангельск
1 (ген. тренд)	5	1008,80	0,40	0,23	16	952	5,30	0,13	0,22
					17	998	5,05	0,16	0,12
2	29	173,93	0,07	0,14	18	1024	4,92	0,14	0,11
3	60	84,07	0,12	0,10	19	1082	4,66	0,10	0,15
4	198	25,47	0,10	0,10	20	1154	4,37	0,13	0,18
5	232	21,74	0,18	0,15	21	1192	4,23	0,10	0,10
6	278	18,14	0,10	0,11	22	1280	3,94	0,18	0,08
7	372	13,56	0,10	0,14	23	1494	3,38	0,13	0,13
8	398	12,67	0,11	0,12	24	1640	3,08	0,17	0,19
9	450	11,21	0,14	0,12	25	1782	2,83	0,14	0,10
10	516	9,78	0,17	0,10	26	1876	2,69	0,10	0,11
11	544	9,27	0,18	0,13	27	1948	2,59	0,12	0,11
12	648	7,84	0,20	0,10	28	2098	2,40	0,17	0,19
13	666	7,57	0,05	0,12	29	2156	2,34	0,12	0,05
14	778	6,48	0,07	0,15	30	2234	2,26	0,24	0,16
15	892	5,65	0,10	0,15	31	2484	2,03	0,18	0,18
Суммарные коэффициенты корреляции r								**0,80**	**0,74**

В третьем компоненте методики долгосрочного прогноза суммы найденных гармоник аппроксимируют значения СГДМ и ледовых характеристик

морей европейской части России. Коэффициенты корреляции между рядами значений, рассчитанных по суммам гармоник, и соответствующими рядами фактических значений для разных ледовых характеристик и портов варьируют от 0,6 до 0,8.

Обращает на себя внимание близость периодов отдельных найденных гармоник с периодами колебания гравитационных воздействий (орбитальных периодов) Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна, а также с основными циклами солнечной активности, что вряд ли может быть случайностью. В табл. 8.5 приведены числовые характеристики, характеризующие это соответствие.

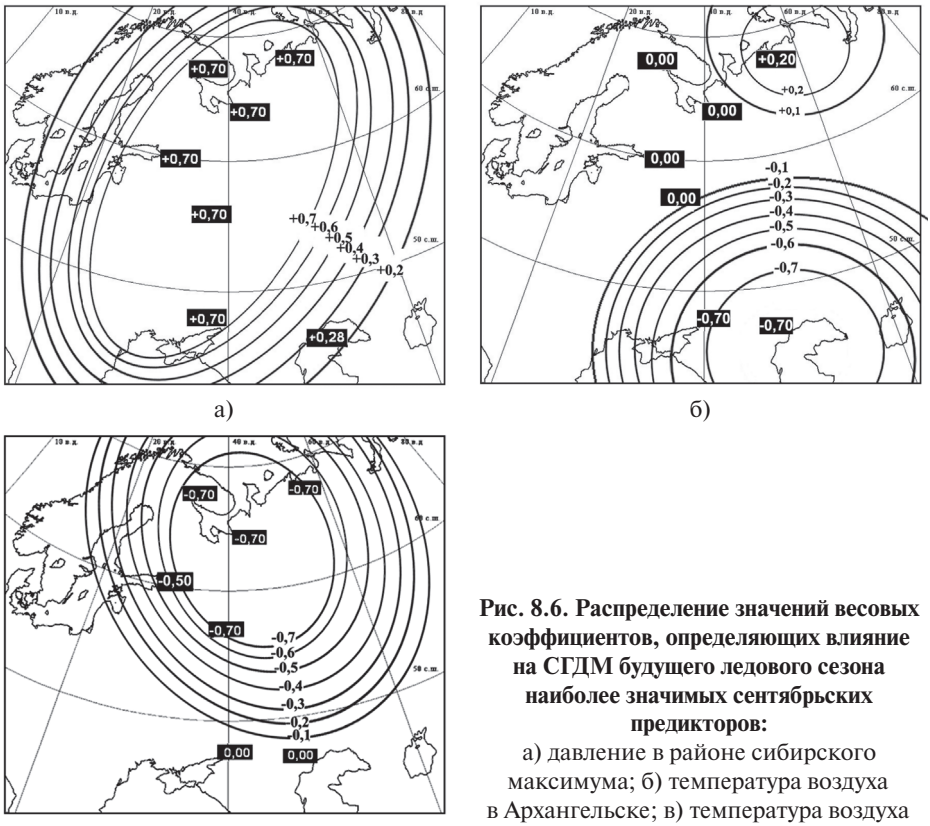
Таблица 8.5

Соответствие периодов гармоник с периодами колебаний гравитационных воздействий планет и солнечной активности на природные процессы Земли

Влияние планет	Планетарный цикл, лет	Номер гармоники и ее период, лет
Нептун	Орбитальный период = 164,79	№ 2 = 173,93
Уран	Орбитальный период = 84,01	№ 3 = 84,07
Сатурн	Орбитальный период = 29,46	№ 4 = 25,47
Сатурн и Юпитер	Цикл соединения = 20,00	№ 6 = 18,14
Солнце	Цикл солнечной активности = 22,00	№ 5 = 21,74
Солнце	Цикл солнечной активности = 11,00	№ 9 = 11,21
Солнце	Цикл солнечной активности = 4,60	№ 19 = 4,66
Юпитер и Марс	Цикл соединения = 2,20	№ 30 = 2,26

Ряд полученных в процессе разработки метода прогноза уравнений множественной корреляции в совокупности является статистической моделью эволюции ледяного покрова неарктических морей. Поскольку во всех уравнениях весовые коэффициенты (B_1, B_2, ... B_n) нормированы единообразно от 0 до 0,7 по абсолютной величине, то пространственное распределение их значений при широкой географии пунктов, для которых осуществлялся расчет, дает объективную картину влияния того или иного предиктора на конкретную ледовую характеристику. Следовательно, данный подход может быть использован в качестве метода исследования формирования различных тенденций в процессе эволюции ледового покрова на неарктических морях. Такой подход позволяет выявить причинно-следственные связи в процессе воздействия термобарических полей на характеристики будущего ледового сезона и дать количественную оценку активности этих связей.

В [45] было прослежено, как в хронологической последовательности (с января по сентябрь, предшествующие ледовому сезону) осуществляется действие отдельных предикторов на будущую СГДМ. На рис. 8.6. в качестве примера представлено распределение весовых коэффициентов, определяющих влияние на будущую СГДМ трех наиболее мощных сентябрьских предикторов.



а) б)

в)

Рис. 8.6. Распределение значений весовых коэффициентов, определяющих влияние на СГДМ будущего ледового сезона наиболее значимых сентябрьских предикторов:
а) давление в районе сибирского максимума; б) температура воздуха в Архангельске; в) температура воздуха в Санкт-Петербурге.

На рис. 8.7 и 8.8 в качестве примеров представлены данные расчета трехкомпонентным ансамблевым методом СГДМ в Ростове-на-Дону и ледовитости Белого моря.

Средняя для всех пунктов эффективность ансамблевого метода по зависимым и независимым рядам составляет для всех элементов ледового режима по европейским морям России (СГДМ, ПП, ОО, ЛП, МТЛ, ЛП) 20–25 %. Таким образом, расчет ледовых характеристик ансамблевым методом дал вполне правдоподобный результат.

Специфика каждого компонента достаточно определенно выражена, и это доказывает тот факт, что эффективность ансамблевого расчета на 5–10 % выше частных эффективностей по каждому компоненту (табл. 8.6). Средняя эффективность ансамблевого метода долгосрочного прогноза по зависимым и независимым рядам составляет для различных элементов ледового режима по европейским морям России 20–25 %. При этом эффективность гармонической компоненты – 11–19 %, что свидетельствует о большом вкладе данной компоненты в общий результат прогноза.

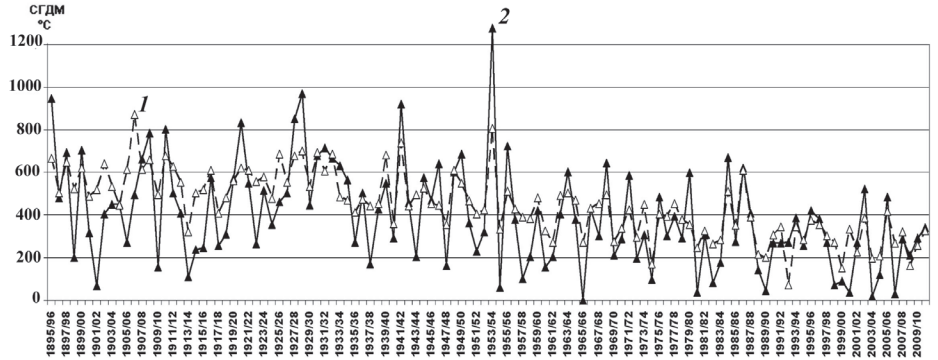


Рис. 8.7. Результаты расчетов СГДМ в Ростове-на-Дону:
1 – прогностическая величина; 2 – фактическая величина.

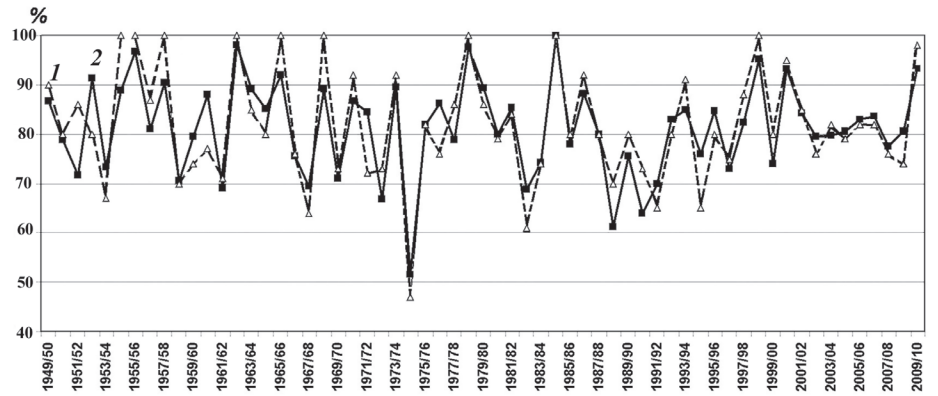


Рис. 8.8. Результаты расчетов ледовитости Белого моря:
1 – прогностическая величина; 2 – фактическая величина.

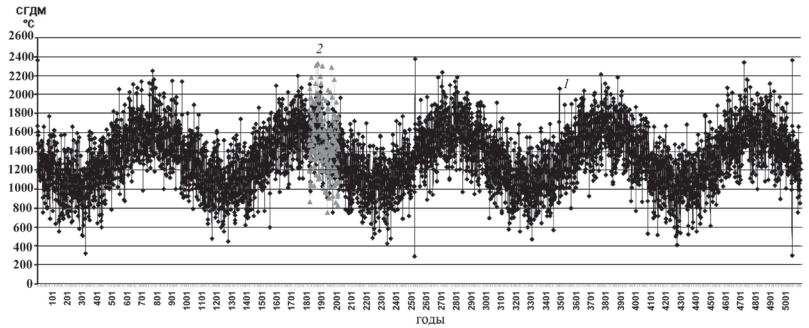
Таблица 8.6

Данные о средней для всех морей эффективности расчетов по зависимому ряду (%)

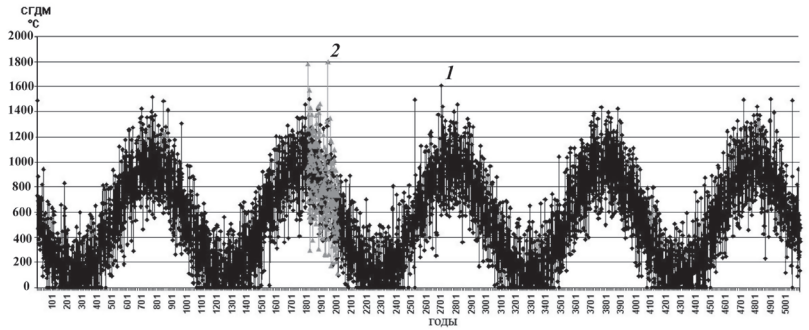
Характеристика ледового сезона	Расчет по зависимому ряду			
	Т	Д	Г	А
СГДМ	11	11	16	21
ПП	12	11	11	20
МЛ	12	9	16	21
МТЛ	11	11	17	23
ОО	14	13	19	25

Примечание. Т – расчет по полю температуры; Д – расчет по полю давления; Г – расчет по гармоникам; А – ансамбль.

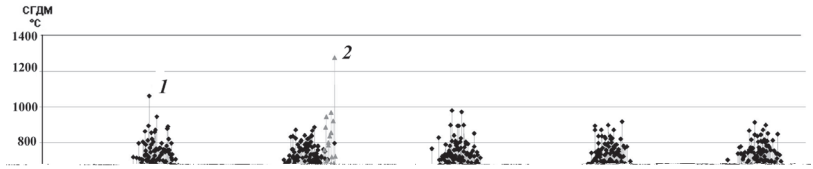
На рис. 8.9 показаны результаты расчета СГДМ путем суммирования гармоник для Белого моря, Финского залива, Азовского моря в рамках глобального периода ΔT=5044 года.



а)



б)



в)

Рис. 8.9. Результаты расчетов СГДМ в рамках глобального периода:
Белое море, Архангельск (а); Финский залив, Санкт-Петербург (б);
Азовское море, Ростов-на-Дону (в);
1 – прогностическая величина; 2 – фактическая величина.

Экстраполяция сумм гармоник, результаты которой показаны на рис. 8.9, позволяет сделать следующие гипотетические выводы:

– появление полного аналога ледовых условий возможно не ранее, чем через 5 тыс. лет, а значит, поиск аналогов с использованием коротких рядов малоэффективен;

– минимальные СГДМ для европейских морей в рамках происходящего потепления возможны в период наибольшего потепления (в XXII–XXIII вв.), в этот период:

а) в Архангельске средняя СГДМ предположительно будет составлять 800 °С (подобная мягкая зима наблюдалась на Белом море в 2007/2008 гг., когда наибольшая за ледовый сезон ледовитость Воронки моря составляла 80 %), при этом с вероятностью 10 % возможно наступление умеренной зимы, с вероятностью 89 % – мягкой зимы и с вероятностью 1 % – суровой зимы (по критериям XX в.), маловероятны зимы с полным отсутствием льда;

б) в Санкт-Петербурге средняя СГДМ будет составлять 200 °С (подобная мягкая зима наблюдалась на Финском заливе, например, в 1991/1992 гг., когда наибольшая ледовитость залива составляла 50 %), при этом с вероятностью 8 % возможно наступление умеренной зимы, с вероятностью 91 % – мягкой зимы и с вероятностью 1 % – суровой зимы, вероятность зимы с полным отсутствием льда – 10 %;

в) в Ростове-на-Дону средняя СГДМ будет составлять 20–30 °С (подобная мягкая зима наблюдалась на Азове, например, в 1980/1981 гг., когда наибольшая ледовитость моря составляла 5 %), при этом с вероятностью 1 % возможно наступление умеренной зимы, с вероятностью 99 % – мягкой зимы, наступление суровой зимы маловероятно, вероятность зимы с полным отсутствием льда составляет 70–80 %.

С течением времени при увеличении длины рядов визуальных и инструментальных наблюдений за метеорологическими и ледовыми параметрами будет повышаться степень правдоподобия не только представлений о современном климате, но и о климате предыдущих периодов жизни Земли. Делать же выводы о закономерностях климатических изменений по данным инструментальных рядов длиной менее 1000 лет – дело крайне рискованное, такие заключения могут иметь исключительно гипотетический статус.

8.3. Результаты исследования изменений ледовых условий на морях ЕТР

Суровость зим и интенсивность ледовых явлений зависит от степени влияния на них атмосферных процессов. С изменением характера погоды на акваториях морей меняется и характер ледовых условий на этих морях.

Происходящие климатические перемены на планете, кроме не проясненного до конца влияния антропогенного фактора, связаны, предположительно, со сменой макроциркуляционных эпох. Количественная оценка

макроциркуляционных атмосферных процессов, оказывающих влияние на климат различных районов земного шара, может быть сделана, например, по классификации, разработанной Г.Я. Вангенгеймом и А.А. Гирсом.

Авторы классификации, являющиеся также авторами макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов, исходили из того, что в Северном полушарии основным является западно-восточный перенос (западная форма циркуляции W), который нарушается меридиональными потоками тепла и количества движения (формы циркуляции Е и С). Эти нарушения происходят из-за неравномерности нагревания суши и моря, циклонической деятельности на тропосферных фронтах, солнечной активности, «комплекса космико-геофизических факторов» [21, 38]. Метод классификации основан на выявлении однородных атмосферных процессов, повторяющихся в различные месяцы года и являющихся характерными для отдельных регионов земного шара. Ценность этой классификации в том, что она системно поддерживается и к настоящему моменту имеет ряд с 1891 г. по наши дни. В ААНИИ в течение многих лет ведется изучение закономерностей развития ледовых процессов на арктических морях в рамках макроциркуляционного метода прогнозов [13, 22, 43, 59]. На рис. 8.10 – график межгодовой изменчивости отклонений от годовой нормы количества дней с формами циркуляции Е, С и W.

А.А. Гирс [38] на основе анализа повторяемости форм циркуляции Е, С, W и отклонений повторяемости от нормы для Северного полушария за 1900–1972 гг. определил четыре циркуляционные эпохи: 1900–1928 гг. (29 лет) – эпоха W, 1929–1939 гг. (11 лет) – эпоха Е, 1940–1948 гг. (9 лет) – эпоха С, 1949–1972 гг. (24 года) – эпоха Е+С. Разбивка на эпохи осуществлялась исходя из того, что в течение некоторых временных периодов (эпох) годовая повторяемость одной или двух форм циркуляции систематически из года в год превышает норму, а повторяемость других форм – меньше нормы.

Понятие «эпоха» весьма условно: как показывают графики на рис. 8.10, скачки повторяемости процессов не всегда означают смену эпохи. С накоплением ряда данных по формам атмосферной циркуляции границы эпох и нормы менялись. Относительная плавность и цикличность процессов смены эпох, подтверждаемые трендами на рис. 8.10, позволяют выделить более общие «ритмичные» 22–27-летние интервалы (соответствующие гармоникам № 4 и № 5 из табл. 8.4). Нормы, пересчитанные по имеющимся данным за 100-летний период (XX в.), следующие: для формы Е среднее количество дней в году – 159, для формы W – 116 дней, для формы С – 91 день.

В табл. 8.7 приведены данные, характеризующие климатические эпохи с 1891 г. до наших дней. При этом каждому году присвоен соответствующий индекс Е, С или W, фиксирующий преобладание той или иной формы циркуляции в течение данного года. С точки зрения влияния форм атмосферной циркуляции на суровость зимы наибольший интерес представляет форма С. Для всех европейских морей максимальная повторяемость суровых зим зафиксирована в период меридиональных эпох С. Причем для южных морей влияние эпох С выражено меньше, чем для северных морей [46, 54].

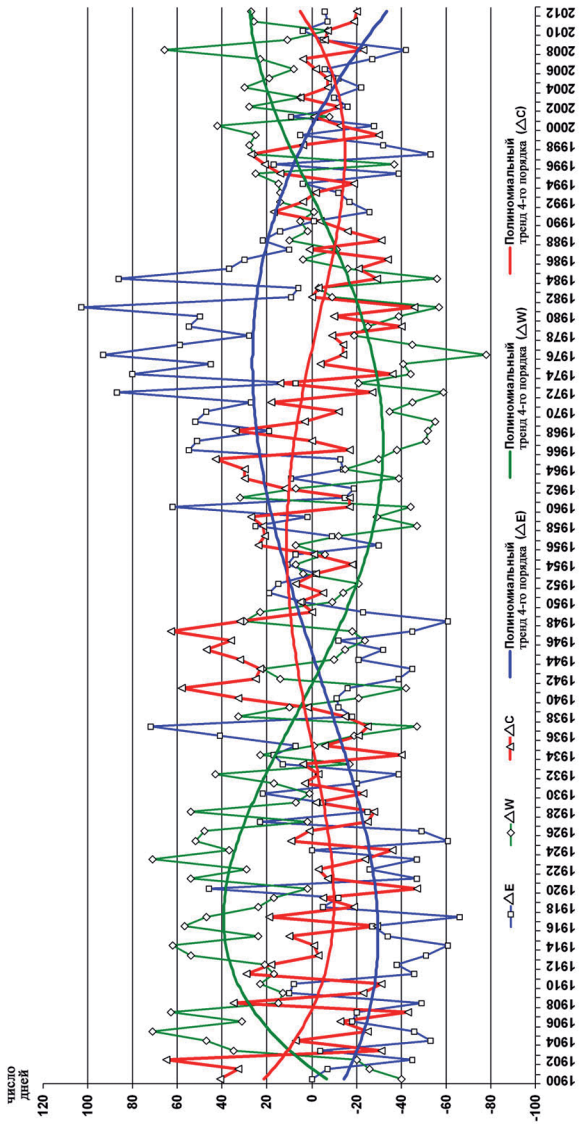


Рис. 8.10. Межгодовая изменчивость отклонений от нормы количества дней (в течение года) с формами атмосферной циркуляции E, W и C.

Таблица 8.7

Определение преобладающей формы циркуляции (1891–2012 гг.)

Год	Индекс года	Год	Индекс года	Год	Индекс года	Год	Индекс года
W+C	(27 лет)	1924	W	1953	W	1984	E
1891	W+C	1925	W	1954	E	1985	E
...	W+C	1926	W	1955	E	1986	E
....	W+C	1927	E	1956	C	1987	E
1899	W+C	1928	W	1957	C	1988	E
1900	C	1929	W	1958	E+C	1989	E
1901	C	1930	E	1959	C	W	(23 года)
1902	C	1931	W	1960	E	1990	W
1903	W	1932	W	1961	W	1991	C
1904	W	1933	E	1962	C	1992	W
1905	W	1934	E+W	1963	C	1993	W
1906	W	1935	E	1964	C	1994	W
1907	W	1936	E	1965	C	1995	W
1908	W+C	1937	E	E	(22 года)	1996	E
1909	W+E	1938	W	1966	E	1997	W+C
1910	W	1939	W	1967	E	1998	W
1911	W+C	C+W	(26 лет)	1968	E+C	1999	W
1912	W+C	1940	C	1969	E	2000	W
1913	W	1941	C	1970	E	2001	E
1914	W	1942	C+W	1971	E+C	2002	W
1915	W	1943	C+W	1972	E	2003	W+C
1916	W	1944	C	1973	C	2004	W
1917	W+C	1945	C	1974	E	2005	W
W+E	(22 года)	1946	C	1975	E	2006	W
1918	W	1947	C	1976	E	2007	W
1919	W	1948	C+W	1979	E	2008	W
1920	E	1949	W	1980	E	2009	W
1921	W	1950	E+C	1981	E	2010	E
1922	W	1951	E	1982	E	2011	W
1923	W	1952	E	1983	E	2012	W

Переходы состояния атмосферы к новым качественным изменениям могут быть размытыми. Смена макроциркуляционных эпох, по всей вероятности, является результатом суммарного влияния циклических процессов. Следствием этого являются различия в поведении глобальных атмосферных структур, таковыми являются центры действия атмосферы (ЦДА). Их относительная устойчивость обеспечивает высокую повторяемость некоторых климатических особенностей конкретного региона (например повторяемости и направления преобладающих ветров или дрейфа льда). В то же время изменчивость их

интенсивности и расположения центральных зон создает огромное разнообразие термодинамических, а следовательно, и ледовых ситуаций.

На состояние термобарических полей в евроатлантическом регионе оказывают влияние прежде всего три центра действия атмосферы: сибирский максимум (СМ), азорский максимум (АМ) и исландский минимум (ИМ). Сибирский антициклон, являющийся зимой аккумулятором холода, считается сезонным центром действия атмосферы, поскольку летом он заменяется азиатской депрессией. Азорский антициклон является основным поставщиком теплого воздуха для Европы, исландская депрессия – основным поставщиком циклонов. Все три ЦДА находятся в состоянии непрерывного взаимодействия и трансформации. Их влияние друг на друга проявляется в перманентном глобальном обмене воздушными массами, а также количеством тепла и движения. Наиболее быстрый обмен происходит между АМ и ИМ, находящихся на расстоянии примерно 3500 км друг от друга. Медленнее, пропорционально расстоянию между центрами, осуществляется взаимное влияние СМ и АМ, СМ и ИМ (сибирский максимум находится на расстоянии примерно 6500 км от АМ и ИМ).

В табл. 8.8 приведены данные, полученные на основе анализа информации о приземном давлении для трех центров действия атмосферы и о температуре воздуха в Архангельске, Кандалакше, Санкт-Петербурге, Москве, Ростове-на-Дону и Астрахани по 118-летним рядам наблюдений (с 1895 г.). Исключение составил температурный ряд по Нарьян-Мару, для которого имелись данные о температуре воздуха только за 85 лет. Осуществлялся поиск наиболее влиятельных коэффициентов корреляции между окончательной СГДМ и давлением во все осенние и зимние месяцы, относящиеся к периоду формирования СГДМ.

Таблица 8.8

Наиболее влиятельные коэффициенты корреляции между СГДМ и характеристиками барического поля в текущий ледовый сезон

Характеристика / Пункт	$P_и$	$P_с$	$P_а$	$\Delta P_{са}$	$\Delta P_{си}$	$\Delta P_{аи}$
Нарьян-Мар	+0,36(I)	–	–0,40(I) –0,41(II)	+0,39(II)	–0,40(I)	–0,42(I) –0,38(II)
Архангельск	+0,46(I)	–	–0,38(II)	+0,42(II)	–0,43(I)	–0,46(I)
Кандалакша	+0,37(I)	–	–0,31(II)	+0,30(II)	–0,37(I)	–0,38(I)
Санкт-Петербург	+0,47(1)	–	–	+0,48(II)	–0,40(I)	–0,46(I)
Москва	+0,38(I)	+0,39(II)	–	+0,41(II)	–	–0,35(I)
Ростов-на-Дону	–	+0,31(II)	–	–	–	–
Астрахань	–	+0,30(II)	–	–	–	–

Примечание. $P_с$ – давление в сибирском максимуме (Иркутск), $P_и$ – давление в исландском минимуме (Рейкьявик), $P_а$ – давление в азорском максимуме (Понта-Делгада), $\Delta P_{са}=P_с-P_а$, $\Delta P_{си}=P_с-P_и$; $\Delta P_{аи}=P_а-P_и$, римской цифрой обозначен месяц.

Проведенный анализ воздействия ЦДА на характер зим на морях европейской части России [45] позволил выявить следующие закономерности:

– на суровость зим северных морей европейской части России наибольшее влияние оказывает интенсивность исландского минимума в январе, а на суровость южных морей – сибирского максимума в феврале;

– закладка сценариев глобальных атмосферных и ледовых процессов начинается с заблаговременностью более года;

– активное влияние предикторов, являющихся характеристиками евроазиатского термобарического поля, на СГДМ будущей зимы начинается в мае после весенней перестройки атмосферы;

– весенний сценарий воздействия трансформации термобарических полей на суровость будущей зимы развивается поэтапно: в марте начинают работать потоки количества движения и тепла, в апреле – интенсивность перестраивающихся ЦДА, в мае и июне – температурные параметры воздушных масс;

– наибольшее влияние предикторов, являющихся характеристиками евроазиатского термобарического поля, на СГДМ будущей зимы наблюдается в августе-сентябре, когда действие предикторов, имеющих высокие весовые коэффициенты, охватывает большие территории европейской части России (рис. 8.6);

– влияние одних и тех же предикторов на группы северных и южных морей может иметь как одинаковые, так и разные знаки.

В табл. 8.9 приведены данные об изменении приземных значений температуры воздуха и давления в трех ЦДА в последние 30 лет, по сравнению с 118-летним периодом.

Таблица 8.9

Изменение приземных значений температуры воздуха (Т) и давления (Р) в трех ЦДА за последнее 30-летие

ЦДА	Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Сибирский максимум	Т, °С	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0	0	0	0	1,0	1,0	2,0	0,9
	Р, гПа	0	–1,1	–0,6	–1,1	–0,2	–0,3	0	0	–0,5	–0	–0,6	–0,4	–0,4
Исландский минимум	Т, °С	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Р, гПа	–1,6	–1,5	–2,2	–0,5	–0,3	0,7	–0,5	–1,1	–0,4	–0,7	–0,9	0,6	–0,7
Азорский минимум	Т, °С	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Р, гПа	2,9	3,1	2,5	0,5	0,1	0,3	0,3	0	–0,4	0	0,5	–0,4	0,8

Существенно поменялся температурный режим только в районе сибирского максимума: средняя годовая температура повысилась на 1 °С, а зимняя – на 1–2 °С. При этом уменьшились значения давления в районах сибирского максимума и исландского минимума: годовые – на 0,4–0,7 гПа, зимние за отдельные месяцы – на 1–2 гПа. Зато существенно увеличились значения давления в районе азорского максимума: годовые – на 0,8 гПа, зимние за отдельные месяцы – на 2–3 гПа. Такое перераспределение энергий основных ЦДХ и привело в конечном итоге к изменениям, описанным ниже.

В табл. 8.10 приведены средние, максимальные и минимальные значения сумм градусодней мороза (СГДМ) за 100-летний период (XX век), за последние 30 лет и за первые 12 лет XXI века.

Таблица 8.10

Средние, максимальные и минимальные значения сумм градусодней мороза (СГДМ) за различные периоды времени

Море, район моря	ГМС	СГДМ, °С								
		в XX веке			за последние 30 лет			за 12 лет XXI века		
		сред.	макс.	мин.	сред.	макс.	мин.	сред.	макс.	мин.
Карское	Диксон	4480	5803	2952	4335	5168	2952	4120	5134	2952
Баренцево	Баренцбург	2340	3860	1199	2141	3015	1199	1857	2303	1199
	Нарьян-Мар	2410	3633	1433	2313	3361	1494	2182	2587	1631
Белое	Архангельск	1425	2302	751	1354	2157	827	1266	1754	827
Балтика	С.-Петербург	700	1800	113	535	1096	113	530	873	113
Азовское	Ростов-на-Дону	400	1277	0	273	668	19	255	524	19
Черное	Одесса	146	639	0	100	472	0	100	327	0
Каспий	Астрахань	460	1240	37	314	688	37	282	538	59
Средняя СГДМ по северным морям		2271	3480	1290	2136	2959	1317	1991	2530	1344
Средняя СГДМ по южным морям		335	1052	12	229	609	19	212	463	26
Изменение по сравнению с XX в. для северных морей, °С		0	0	0	–135	–521	46	–280	–950	54
Изменение по сравнению с XX в. для южных морей, °С		0	0	0	–106	–443	7	–123	–589	14
Изменение по сравнению с XX в. для северных морей, %		0	0	0	–6	–15	4	–12	–27	4
Изменение по сравнению с XX в. для южных морей, %		0	0	0	–32	–42	58	–37	–56	117

Примечание. В данной таблице, а также в табл. 8.11 и 8.13, к северным морям условно отнесены Карское, Баренцево, Белое и Балтийское, к южным морям – Азовское, Черное и Каспийское.

Анализ таблицы показывает, что в последнее 30-летие, по сравнению с XX в., средние СГДМ уменьшились для северных морей на 135 °С, а для южных морей – на 106 °С. Таким образом, акватории северных морей в процентном отношении уменьшили потерю тепла в течение холодного периода года в среднем на 6 %, а акватории южных морей – на 32 %.

В первые 12 лет XX века процесс потепления шел более интенсивно в северных морях. Средняя СГДМ для акваторий северных морей уменьшилась, по сравнению с XX веком, на 280 °С, а для южных морей – на 123 °С.

В последнее 30-летие ни по одному морю не был перекрыт максимум XX века для сумм градусодней мороза, а на первые 12 лет XXI века не приходится ни одного максимума последнего 30-летнего периода. При этом половина абсолютных минимумов СГДМ зафиксирована в последний 12-летний период.

Строгую направленность процесса уменьшения суровости зим на всех морях ЕТР демонстрирует рис. 8.11. Мы видим, что для 112 последних лет (для которых имеются данные инструментальных наблюдений за температурой воздуха) зимний температурный режим всех европейских морей России характеризуется уменьшением с течением времени значений СГДМ со средней скоростью от 0,96 до 2,60 °С в год. Средние скорости уменьшения СГДМ в XX веке – начале XXI века ранжируются следующим образом: Финский залив (Санкт-Петербург) – 2,60 °С в год, Азовское море (Ростов-на-Дону) – 2,39 °С в год, Северный Каспий (Астрахань) – 1,91 °С в год, Баренцево море (Баренцбург) – 1,35 °С в год, Белое море (Архангельск) – 1,04 °С в год, Черное море (Одесса) – 0,96 °С.

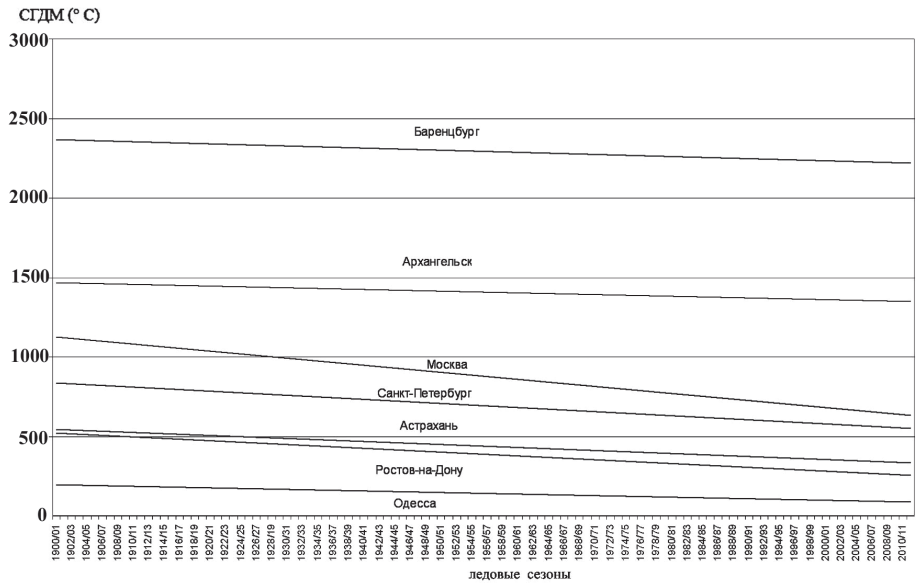


Рис. 8.11. Линейные тренды СГДМ для различных пунктов европейской части России за период с зимнего сезона 1900/1901 гг. по сезон 2011/2012 годов.

В табл. 8.11 приведены количественные характеристики последствий этого процесса. Анализ таблицы показывает, что за последнее 30-летие, по сравнению с данными за XX век, и в северном, и в южном регионе Европейской территории России количество мягких зим выросло в среднем на 13–14 %, а в первые 12 лет XXI века – на 20–25 %.

Таблица 8.11

Повторяемость мягких (М), умеренных (У) и суровых (С) зим в различные периоды времени

Море, район моря	ГМС	Повторяемость зим, %								
		в XX веке			за последние 30 лет			за 12 лет XXI века		
		М	У	С	М	У	С	М	У	С
Карское	Диксон	14	67	19	23	67	10	42	50	8
Баренцево	Баренцбург	20	64	16	27	66	7	50	50	0
	Нарьян-Мар	16	65	19	17	70	13	25	75	0
Белое	Архангельск	21	63	16	30	53	17	42	50	8
Балтика	Санкт-Петербург	20	60	20	60	33	7	58	42	0
Азовское	Ростов-на-Дону	22	56	22	33	60	7	42	58	0
Черное	Одесса	23	54	23	33	54	13	42	50	8
Каспий	Астрахань	19	61	20	40	53	7	42	58	0
Среднее по северным морям		18	64	18	31	58	11	43	53	4
Среднее по южным морям		21	57	22	35	56	9	42	55	3
Изменение, по сравнению с XX веком, для северных морей					13	–6	–7	25	–11	–14
Изменение, по сравнению с XX веком, для южных морей					14	–1	–13	21	–2	–19

Характерным является то, что наибольшая изменчивость повторяемости мягких зим зафиксирована в Финском заливе, где увеличение для последнего 30-летия составило 40 %. Этим подтверждается тот факт, что именно повышение активности зональной атмосферной циркуляции в последние годы, определяющей рост влияния Атлантики, – основная причина уменьшения суровости зим в европейской части России.

Критериям суровой зимы (определенным по рядам СГДМ для XX века) в первые 12 лет XXI века оказались соответствующими только три зимы: 2000/2001 гг. – для восточного района юго-западной части Карского моря, 2002/2003 гг. – для Черного моря, 2010/2011 гг. – для Белого моря. Уменьшение суровости русских европейских зим привело к сдвигам в наступлении ледовых фаз на российских морях.

В табл. 8.12 приведены данные о сдвиге в последние годы дат первого появления льда (ПП) на морях в сторону более поздних сроков, дат очищения моря ото льда (ОО) в сторону более ранних сроков, а также уменьшении продолжительности ледового периода (ЛП), по сравнению со средними многолетними значениями. Анализ таблицы показывает, что во всех морях ЕТР в последние годы для ледовых фаз имеют место сдвиги дат в сторону облегчения ледовых условий. Так, в последние 30 лет даты первого появления льда сдвинулись, по сравнению со средними многолетними значениями, в сторону более поздних сроков для всех морей в среднем на 3–8 дней, даты

очищения моря ото льда в сторону более ранних сроков – на 5–8 дней, продолжительность ледового периода уменьшилась на 1–2 недели.

Таблица 8.12

Сдвиг средних дат наступления ледовых фаз по данным гидрометеорологических станций

Море, район моря	Сдвиг, дни					
	за последнее 30-летие			за 12 лет XXI века		
	ПП в сторону поздних сроков	ОО в сторону ранних сроков	ЛП в сторону уменьшения	ПП в сторону поздних сроков	ОО в сторону ранних сроков	ЛП в сторону уменьшения
Карское, к востоку от о. Белый	3–4	1–5	5–8	7–10	5–12	14–16
Карское, к западу от о. Белый	3–4	7–14	12–17	6–15	12–14	19–29
Баренцево	1–4	4–7	6–11	4–11	5–13	12–22
Белое	4–8	4–7	8–14	7–21	5–10	14–25
Балтика, Финский залив	4–8	3–8	10–14	9–15	4–8	14–21
Азовское	2–8	6–10	8–14	7–21	7–14	14–28
Черное	2–9	7–10	9–19	8–18	7–11	17–23
Каспий	5–16	5–8	14–21	10–19	9–14	21–30
Среднее	3–8	5–9	8–13	7–16	7–12	16–24

В течение первых 12 лет XXI века первое появление льда сдвинулось в сторону более поздних сроков для всех морей в среднем на 7–16 дней, даты очищения моря ото льда – на 7–12 дней, продолжительность ледового периода уменьшилась на 16–24 дня. Следует отметить, что 12-летний период не только не является показательным с точки зрения объективной оценки климатических изменений в XXI веке в целом, он не является репрезентативным для характеристики макроциркуляционной эпохи, продолжительность которой тяготеет к 25 годам. В данном пособии 12-летний период иллюстрирует только термическое состояние воздушных масс над ЕТР в начале XXI века как конечную на данный момент стадию длительной тенденции повышения температуры воздуха. Из анализа рис. 8.12 следует, что, несмотря на общий понижающийся тренд для СГДМ в Санкт-Петербурге, и в XIX, и в XX веках существовали такие 25-летия, в рамках которых наблюдались восходящие тренды. Таковыми являлись третье 25-летие XIX века, а также первая и вторая четверти XX века.

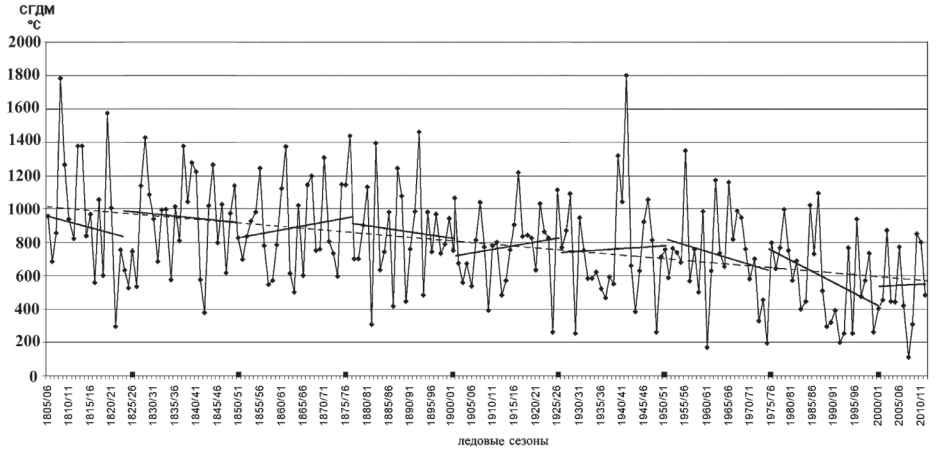


Рис. 8.12. Линейные тренды СГДМ в Санкт-Петербурге для 25-летних периодов в XIX и XX вв.:
———— – тренды для 25-летних периодов наблюдений;
--------- – тренд для всего периода наблюдений за температурой воздуха.

Исследование изменения повторяемости наличия льда на трассах европейских морей в первые 12 лет XXI века, по сравнению со второй половиной XX века, показало, что в *октябре* повторяемость наличия льда на трассах юго-западной части Карского моря и северной части Баренцева моря в начале XXI века, по сравнению со второй половиной XX века, уменьшилась в среднем на 10–25 %.

В *декабре* повторяемость наличия льда на трассах юго-западной части Карского моря, Баренцева, Белого и Балтийского морей уменьшилась в среднем на 10–20 %. При этом повторяемость наличия льда в Азовском море увеличилась на 5–10 %. На Северном Каспии изменения коснулись только крайнего юго-западного района, где повторяемость наличия льда уменьшилась на 15–25 %.

В *феврале* в юго-западной части Карского моря, северной части Баренцева моря, Белом море повторяемость наличия льда осталась прежней. На юго-востоке Баренцева моря и в Финском заливе повторяемость наличия льда уменьшилась в среднем на 10–20 %. Наибольшие изменения претерпела повторяемость наличия льда в феврале (а также в январе и марте) в Азовском море, уменьшившись в среднем на 15–30 %. На Северном Каспии, так же как и в предыдущие месяцы, уменьшение повторяемости наличия льда в феврале (на 5–15 %) зафиксировано только на крайнем юго-западе района.

В *апреле* в юго-западной части Карского моря повторяемость наличия льда осталась прежней, а в Баренцевом, Белом и Балтийском морях уменьшилась на 15–20 %.

К середине *июня* на всех трассах Баренцева и Карского морей произошло уменьшение повторяемости наличия льда в среднем на 10–25 %.

В начале XXI века, по сравнению со второй половиной XX века, для юго-западной части Карского моря, северной части Баренцева моря, а также для Белого моря не зафиксированы существенные изменения повторяемости наличия льда в месяцы наибольшего развития льда. Однако в осенне-зимние периоды ледообразования, а также в весенне-летние периоды разрушения льда повторяемость наличия льда в трассовых зонах этих морей уменьшилась в среднем на 10–20 %. Для юго-восточной части Баренцева моря повторяемость наличия льда в трассовых зонах уменьшилась на 15–25 %. В Финском заливе повторяемость наличия льда уменьшилась для всех месяцев ледового сезона на 10–25 %.

Для Азовского моря на 5–10 % увеличилась повторяемость наличия льда в трассовых зонах в декабре, на 15–30 % она уменьшилась во все остальные месяцы ледового периода. На Северном Каспии существенные изменения произошли только в юго-западном районе, где повторяемость наличия льда во все месяцы ледового сезона уменьшилась в среднем на 10–20 %.

В табл. 8.13 приведены обобщенные данные об изменении толщин припайного льда в морях ЕТР. Анализ таблицы показывает, что средние толщины льда на момент максимального развития ледяного покрова в морях ЕТР за последнее 30-летие (по сравнению данными полных рядов наблюдений) уменьшились на 1–10 см, максимальные толщины льда уменьшились на 5–30 см. Средние толщины льда за период, охватывающий первые 12 лет XXI века, уменьшились на 5–20 см, а максимальные толщины – на 15–45 см.

Таблица 8.13

Изменение средней и максимальной толщины льда

Море, район моря	Уменьшение толщины льда на момент наибольшего развития ледяного покрова, см			
	средней		максимальной	
	за последнее 30-летие	за 12 лет XXI века	за последнее 30-летие	за 12 лет XXI века
Карское, юго-западная часть	1–5	5–10	20–25	30–45
Баренцево	1–5	5–10	20–30	20–65
Белое, кроме Кандалакшского залива	1–5	5–15	10–20	20–40
Белое, Кандалакшский залив	0	0	5–20	5–30
Балтика, Финский залив	1–5	2–5	10–15	10–15
Азовское, кроме Таганрогского залива	1–5	2–5	15–30	15–30
Азовское, Таганрогский залив	5–10	5–10	10–25	10–25
Черное	0–5	0–5	20–25	20–25
Каспий	5–15	5–15	15–35	15–35
Среднее по северным морям	1–5	5–10	10–20	15–45
Среднее по южным морям	5–10	5–15	10–30	15–30

В табл. 8.14 приведены обобщенные данные об изменении ледовитости морей ЕТР на момент наибольшего развития ледяного покрова.

Таблица 8.14

Средняя и максимальная среднемесячная ледовитость на момент наибольшего развития ледяного покрова в различные периоды времени

Море, район моря	Ледовитость на момент максимального развития ледяного покрова, %								
	в XX веке			за последнее 30-летие			за 12 лет XXI века		
	сред.	макс.	мин.	сред.	макс.	мин.	сред.	макс.	мин.
Карское, юго-западная часть	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Баренцево, все море	62	92	34	54	75	34	50	66	34
Баренцево, юго-восточная часть	66	100	27	62	97	27	61	90	40
Белое, Воронка	76	100	45	76	100	48	76	98	50
Финский залив	75	100	7	70	100	7	73	100	7
Азовское	63	100	2	58	99	3	51	99	3
Черное, северо-западная часть	11	54	0	9	33	0	9	27	0
Каспий	75	98	29	70	97	29	71	97	38

Анализ таблицы показывает, что средняя ледовитость морей на момент наибольшего развития ледяного покрова на всех морях, кроме юго-западной части Карского моря и Воронки Белого моря, уменьшилась в последнее 30-летие на 3–8 %, в последние 12 лет – на 2–12 %. В юго-западной части Карского моря сохранилось среднее значение наибольшей за ледовый сезон ледовитости, равное 100 %, а в Воронке Белого моря – 76 %. Максимальная ледовитость на момент наибольшего развития ледяного покрова в большинстве морей уменьшилась незначительно – не более чем на 1–3 %. Исключение составили:

– северо-западная часть Черного моря, для которой максимальная ледовитость в последние 30 лет не смогла приблизиться к значению 54 %, зафиксированному для 1953/1954 гг. (максимум наибольшей за ледовый сезон ледовитости снизился на 21 %);

– Баренцево море, для которого максимальная ледовитость в последние 30 лет не смогла приблизиться к значению 90 %, что было характерно для суровых зим 1916/1917, 1928/1929, 1941/1942, 1965/1966 гг. (максимум наибольшей за ледовый сезон ледовитости снизился на 17 %).

Основные изменения в ледовом режиме замерзающих морей ЕТР, произошедшие за 30 лет (на рубеже XX–XXI вв.):

– суммы градусодней мороза как для северных, так и для южных морей уменьшились в среднем на 100 °С;

– повторяемость мягких зим увеличилась для всех морей в среднем на 14 %; повторяемость суровых зим уменьшилась для морей северной части ЕТР на 7 %, южной части ЕТР – на 13 %;

– даты первого появления льда сдвинулись в сторону более поздних сроков для всех морей в среднем на 3–8 дней, даты очищения моря ото льда в сторону более ранних сроков – на 5–8 дней, продолжительность ледового периода уменьшилась на 1–2 недели;

– средние толщины припайного льда на момент наибольшего развития ледяного покрова в морях северной части ЕТР уменьшились на 1–5 см, максимальные толщины льда уменьшились на 10–20 см; в морях южной части – на 5–10 и 10–30 см соответственно ЕТР

– средняя ледовитость на момент наибольшего развития ледяного покрова на всех морях, кроме юго-западной части Карского моря и Воронки Белого моря, уменьшилась на 3–8 % (в юго-западной части Карского моря сохраняется среднее значение наибольшей за ледовый сезон ледовитости, равное 100 %, а в Воронке Белого моря – 76 %);

– в первые 12 лет XXI века все процессы, связанные с потеплением, происходили с еще более высокой активностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абузяров З.К., Думанская И.О., Нестеров Е.С.* Оперативное океанографическое обслуживание. – Обнинск: ИГ–СОЦИН, 2009. – 286 с.

2. *Абузяров З.К., Кудрявая К.И., Серяков Е.И., Скриптунова Л.И.* Морские прогнозы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 320 с.

3. Атлас Арктики. – М.: ГУ геодезии и картографии при СМ СССР, 1984. – 203 с.

4. Атлас океанов. Северный Ледовитый океан – М.: ГУ геодезии и картографии при СМ СССР, 1980. – 184 с.

5. Атлас Балтийского моря. – Варшава: Институт метеорологии и водного хозяйства, 1994. – 214 с.

6. Атлас льдов Балтийского моря и прилегающих районов. Часть I. Балтийское море, Рижский залив, Датские проливы и прилегающая часть Северного моря. – Л.: Гидрометиздат, 1961. – 64 с.

7. Атлас льдов Балтийского моря и прилегающих районов. Часть II. Финский и Ботнический заливы. – Л.: Гидрометиздат, 1961. – 110 с.

8. Атлас льдов Черного и Азовского морей / под ред. В.С. Назарова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1962. – 120 с.

9. Атлас опасных и особо опасных для мореплавания и рыболовства гидрометеорологических явлений. Северное и Балтийское моря. – Л.: ГУ навигации и океанографии МО, 1980. – 166 с.

10. Атлас течений Белого моря. – Л.: Управление гидрографической службы ВМФ, 1962. – 20 с.

11. *Бетин В.В.* Ледовые условия в районе Балтийского моря и на подходах к нему и их многолетние изменения // Труды ГОИН. – 1957. Вып. 41.– С. 54 – 125

12. *Бетин В.В., Преображенский Ю.В.* Суровость зим в Европе и ледовитость Балтики. – Л.: Гидрометиздат, 1964. – 107 с.

13. *Болотинская М.Ш., Вангенгейм Т.Г, Рогозина В.С., Худякова И.Н.* Результаты испытаний прогностических связей для уточнения фонового метеорологического прогноза// Труды ААНИИ. – 1990. – Т. 422. – С. 88–92.

14. *Борисенков Е.П., Пасецкий В.М.* Летопись необыкновенных явлений природы за 2,5 тысячелетия. – СПб: Гидрометеоиздат, 2003. – 235 с.

15. *Бородачев В.Е.* Льды Карского моря. – СПб: Гидрометеоиздат. 1998. – 176 с.

16. *Бурке А.К.* Атлас карт состояния льдов, сжатий и разрежений в северной части горла Белого моря и в районе острова Моржовец.– Архангельск: Изд. Северного ГМИ, 1932. – 20 с.

17. *Бурков В.А.* Общая циркуляция Мирового океана. – Л.: Гидрометиздат, 1980. – 253 с.

18. *Бухарицин П.И., Васянин М.Ф., Калиниченко Л.А.* Метод краткосрочного прогноза положения кромки сплоченных льдов на Северном Каспии // Метеорология и гидрология. – 1992. – № 4. – С. 74–81.

19. *Бухарицин П.И., Болдырев Б.Ю., Андреев А.Н.* Роль гидрометеорологических факторов, влияющих на безопасность мореплавания в Каспийском море // Проблемы и перспективы современной науки. – 2009. – Т. 2. – Вып. 1. С. 57–60.

20. *Валлер Ф.И.* Ледовые условия на судоходных трассах северной части Каспийского моря и их влияние на движение судов // Проблемы Арктики и Антарктики. – 1977. – Вып. 50. – С. 99–104.

21. *Вангенгейм Г. Я.* Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики // Труды ААНИИ. – 1952. – Т. 34. – С. 3 –14.

22. *Вангенгейм Т.Г.* Прогностические связи для уточнения фонового метеорологического прогноза на декабрь–февраль // Труды ААНИИ. –1990. – Т. 422. – С. 80–87.

23. *Веселова Л.Е.* Ледяной покров Каспийского моря, условия его образования и развития // Труды ГОИН. – 1956. – Вып. 24. – С. 56–147.

24. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Балтийское море. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – Т. 1. – Вып. 1. – 172 с.

25. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Баренцево море. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – Т. 6. – 264 с.

26. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Белое море. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – Т. 3. – 235 с.

27. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Карское море. – Л.: Гидрметеоиздат, 1986. – Т. 7. – 95 с.

28. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Каспийское море. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – Т. 2. – 268 с.

29. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Черное море. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – Т. 4. – 100 с.

30. Гидрометеорологический справочник Азовского моря / под ред. А.А. Аксенова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1962. – 365 с.

31. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Азовское море / под ред. Н.П. Гоптарева – СПб: Гидрометеоиздат, 1991. – Т. 5 – 236 с.

32. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Балтийское море. Гидрометеорологические условия. – Л.: Гидрометеоиздат, 1992. – Т. 3. – Вып. 1. – 450 с.

33. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Баренцево море. Гидрометеорологические условия. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – Т. 1. – Вып.1. – 280 с.

34. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Белое море. Гидрометеорологические условия. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – Т. 2. – Вып. 1. – 240 с.

35. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Каспийское море. Гидрометеорологические условия – СПб: Гидрометеоиздат, 1992. – Т. 6. – Вып. 1. – 360 с.

36. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Каспийское море. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. – СПб: Гидрометеоиздат, 1996. – Т. 6. – Вып. 2 – 322 с.

37. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Черное море. Гидрометеорологические условия. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – Т. 4. – Вып. 1. – 430 с.

38. *Гирс А.А.* Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 487 с.

39. *Гладун Л.П.* Методика краткосрочного прогноза появления льда на Черном море. – Одесса: Управление гидрометслужбы УССР, 1961. – 38 с.

40. *Грузинов В.М.* Гидрология фронтальных зон Мирового океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 272 с.

41. *Гудкович З.М., Кириллов А.А., Ковалев Е.Г.* и др. Основы методики долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 348 с.

42. *Дерюгин К.М.* Гидрологический режим Белого моря // Труды ГГИ. – 1928. – Вып. 7–8. – С. 90–181.

43. *Дмитриев А.А., Белязо В.А.* Космос, планетарная, климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов. – СПб: Гидрометеоиздат, 2006. – 258 с.

44. *Добровольский А.Д., Залогин Б.С.* Моря СССР. – М.: Изд-во Московского университета, 1982. – 190 с.

45. *Думанская И.О.* Анализ влияния центров действия атмосферы на характер зим на морях европейской части России // Труды Гидрометцентра России. – 2011. – Вып. 345. – С. 56–82.

46. *Думанская И.О.* Анализ изменчивости положения кромок дрейфующего льда и максимальной ледовитости Белого моря // Труды Гидрометцентра России. – 2004. – Вып. 339. – С. 4–54.

47. *Думанская И.О.* Зависимость ледовитости Белого моря от макроциркуляционных атмосферных процессов // Труды Гидрометцентра России. – 2004. – Вып. 339. – С. 55–63.

48. *Думанская И.О.* Использование вероятностных площадных характеристик дрейфующего льда для гидрометеорологического обеспечения морских транспортных операций и построения численной модели перераспределения льда в Белом море // Труды Гидрометцентра России. – 2006. – Вып. 341. – С. 42–78.

49. *Думанская И.О.* Метод долгосрочного прогноза ледовых условий на Белом и Азовском морях // Труды Гидрометцентра России. – 2011. – Вып. 345. – С. 83–104.

50. *Думанская И.О.* Методика долгосрочного прогноза ледовых условий на европейских морях России // Метеоспектр. – 2009. – № 4. – С. 88–96.

51. *Думанская И.О.* Оценка возможности использования вероятностных характеристик дрейфующего льда и численной модели перераспределения льда в Белом море для гидрометеорологического обеспечения морских транспортных операций в условиях климатических изменений // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2007. – № 77. – С. 128–142.

52. *Думанская И.О., Котилевская А.М.* Оценка возможности использования в современной практике ледового обслуживания мореплавания прогностических методик XX века на неарктических морях России // Труды Гидрометцентра России. – 2009. – Вып. 343. – С. 67–88.

53. *Думанская И.О., Котилевская А.М., Федоренко А.В.* Ледовые условия морей европейской части России в условиях климатических изменений (уроки зимы 2007–2008 гг.) // Метеоспектр. – 2008. – № 2 – С. 134–144

54. *Думанская И.О., Федоренко А.В.* Анализ связи ледовых характеристик морей европейской части России с макроциркуляционными атмосферными процессами // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 12. – С. 82–94.

55. *Елина Г.А., Филимонова Л.В.* Палеорастительность позднеледниковья – голоцена восточной Фенноскандии и проблемы картографирования. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 143 с.

56. *Жидкова Н.И.* Ледовые условия на Черном море в зимы разной суровости. Сборник работ. ГОИН. Лаборатория южных морей. Гидрометеорологические исследования южных морей и Атлантического океана. – М.: Гидрометеоиздат, 1972. – Вып. 2. – С. 103–111.

57. *Запивалов Н.П.* Нефтегазоносность акваторий мира. Учебное пособие. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2009. – 260 с.

58. *Зубов Н.Н.* Льды Арктики. – М.: Изд. Главсевморпути, 1943. – 360 с.

59. *Иванов В.В.* Синоптико-статистический способ прогноза температуры воздуха на ноябрь–январь для Арктики и его эффективность // Труды ААНИИ. – 1990. – Т. 422. – С. 93 – 106.

60. *Карелин И.Д.* Заприпайные полыньи Карского моря по данным наблюдений со спутников// Труды ААНИИ.– 1981. – Т. 388. – С.104–109.

61. *Карелин И.Д., Карклин В.П.* Припай и заприпайные полыньи арктических морей сибирского шельфа в конце XX – начале XXI века. – СПб: ГНЦ РФ «ААНИИ», 2012. – 179 с.

62. *Кац А.Л.* Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы погоды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1960. – 270 с.

63. *Климанов В.А., Елина Г.А.* Изменения климата на северо-западе Русской равнины в голоцене // Доклады АН СССР. – 1984.– Т. 274. – № 5. – С. 1164–1167.

64. Комплексный гидрометеорологический справочник Баренцева и Белого морей. – Л.: Гидрометиздат, 1971. – 230 с.

65. *Леднев В.А.* К карте постоянных течений Белого моря // Записки по гидрографии. –1934. – № 2. – С. 132–136.

66. Ледяные образования морей западной Арктики / под ред. Г.К. Зубакина – СПб: ГНЦ РФ «ААНИИ», 2006. – 272 с.

67. *Лосев К.С.* Климат: вчера, сегодня... и завтра? – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 175 с.

68. Лоция Белого моря. – Л.: Управление Гидрографической службы ВМФ, 1964. – 296 с.

69. *Мадат-заде А.А.* Основные типы атмосферных процессов, обусловливающих поле ветра на Каспийском море // Труды Океанографической комиссии АН СССР. – 1959. – Т. 5. – С. 140–145.

70. *Миронов Е.У., Порубаев В.С.* Морфологические параметры торосов и стамух по данным экспедиционных исследований в северо-западной части Каспийского моря // Метеорология и гидрология. – 2011. – № 5. – С. 68–75.

71. *Миронов Е.У., Порубаев В.С.* Статистическая модель морфологии гряды тороса в юго-западной части Карского моря // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2011. – № 3 (89). – С. 49–61.

72. Наблюдения за ледовой обстановкой. Учебное пособие / под ред. Е.У. Миронова. – СПб: ГНЦ РФ «ААНИИ», 2009. – 359 с.

73. Наставление для плавания по Северному морскому пути. – М.: ГУНИО МО СССР, 1966. – 129 с.

74. *Никифорова Н.А.* Усовершенствование методики краткосрочного прогноза устойчивого появления льда и замерзания на Азовском море. Отчет по теме. – Жданов: УГМС УССР, 1985. – 49 с.

75. *Новиков В.И., Бухарицин П.И.* Особенности работы портов и портовых комплексов Астраханской области в условиях зимней навигации // Проблемы и перспективы современной науки. – 2009. – Вып. 1. – С. 136–140.

76. Номенклатура морских льдов. Условные обозначения для ледовых карт. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 86 с.

77. Океанографическая энциклопедия. – Л.: Гидрометеоиздат. 1974. – 630 с.

78. Отчет о научно-исследовательской работе подпрограммы «Исследование природы Мирового океана» ФЦП «Мировой океан» на 1999–2002 годы по теме «Исследование изменчивости ледовых, гидрометеорологических, литодинамических, геокриологических и экологических условий в ограниченных ключевых районах арктических морей и в локальных районах освоения минеральных ресурсов на шельфе Баренцева и Карского морей». – СПб: ГНЦ РФ «ААНИИ», 2002. – 165 с.

79. *Пасторс А.А.* Атлас ледовитости Рижского залива. – Рига: УГМС Латвийской ССР, 1958. – 71 с.

80. *Пасторс А.А.* Ледовитость Рижского залива. – Рига: – УГМС Латвийской ССР, 1965. – 26 с.

81. Проблемы исследования и математического моделирования экосистемы Балтийского моря. Проект «Балтика» // Экосистемные модели. Оценка современного состояния Финского залива. – Вып. 5. – Ч. 2. – СПб: Гидрометеоиздат, 1997. – С. 198–215.

82. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Северный край. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – Т. 3. – 475 с.

83. Руководство для сквозного плавания судов по Северному морскому пути. – СПб.: ГУНИО МО РФ, 1995. – 415 с.

84. *Синюрин Ю.Н.* Гидрометеорологические процессы, обусловливающие ледовый режим и ледопроходимость Азовского моря.– М.: Рукопись диссертации, 1979. – С. 29–43, 95–117.

85. *Скриптунов Н.А.* К расчету максимальных сгонно-нагонных колебаний уровня Каспийского моря // Труды ГОИН. – 1967. – Вып. 80. – С. 46–61.

86. Справочник по гидрологическому режиму морей и устьев рек СССР. Основные гидрологические характеристики. Каспийское море. Средняя и южная части. – Ч. 1. – Т. 2. – Вып. 2.– Баку: УГМС Азербайджанской ССР, 1971. – 346 с.

87. Справочник по гидрологическому режиму морей и устьев рек СССР. Основные гидрологические характеристики. Уровень моря, температура и соленость. Белое море. – Т. 5.– Вып. 1.– Архангельск: СУГКС, I97I. – 341 с.

88. Справочник по гидрологическому режиму морей и устьев рек СССР. Основные гидрологические характеристики. Белое море. Гидрология устья р. Северная Двина. – Т. 5. – Вып. 2. – Архангельск: СУГКС, I97I. – 110 с.

89. Статистические характеристики и допустимые погрешности для прогнозируемых элементов ледового режима арктических морей России. Научно-методическое пособие. – СПб: ААНИИ, 2004. – 58 с.

90. *Тимонов В.В.* Схема общей циркуляции вод Бассейна Белого моря и происхождение его глубинных вод // Труды ГОИН. – 1947. – Вып. 1 (13). – С. 118–131.

91. Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря. – М.: ГЕОС, 1998. – 260 с.

92. Учет ледовых условий при гидрометеорологическом обеспечении зимних плаваний в Азовском море / под ред. П.А. Гордиенко. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 106 с.

93. Учет ледовых условий при гидрометеорологическом обеспечении зимних плаваний в Балтийском море / под ред. П.А. Гордиенко. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 167 с.

94. Учет ледовых явлений при гидрометеорологическом обеспечении зимних плаваний в Каспийском море / под ред. П.А. Гордиенко. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 131 с.

95. *Чеботарев А.И.* Гидрологический словарь. – Л: Гидрометеоиздат, 1964. – 222 с.

96. *Швец Г.И.* Выдающиеся гидрометеорологические явления на юго-западе СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 243 с.

97. Climatic atlas of the Sea of Azov. – U.S: Department of commerce National Oceanic and Atmospheric Administration, National Environmental Satellite, Data, and Information Service, 2008. – P. 16.

98. Climatological ice atlas for Baltic Sea, Kattegat, Skagerrak and Lake Vanern (1963–1979). Helsinki: 1982. – 220 p.

99. *Dunbar M., Wittman W.* Some features of ice in the approaches to North America during decade 1956–1965 // Marine Observer. – 1967. – Vol. 37, N 218. – P. 267– 277.

100. Statistic of the sea surface temperature of Baltic Sea 21 October – 1 March (1965–1986). Helsinki: 1987. – 97 p.

101. *Untersteiner W.* Calculations of temperature regime and heat budget of sea ice in the Central Arctic // J. Geophys. Res. – 1964. Vol. 69, N 22. – P. 4755– 4766.

102. *Untersteiner W.* Calculating thermal regime and mass budget of sea ice. Proc. of the Symposium on the Arctic budget and atmospheric circulation. – California: The Rand Corporation, 1966. – P. 203–214.

103. *Wittman W., Shule J.* Comments on the mass budget of arctic pack ice. Proc. of the Symposium on the Arctic budget and atmospheric circulation. – California: The Rand Corporation, 1966. – P. 215– 246.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Условные обозначения 8

Глава 1. Ледовые условия в юго-западной части Карского моря и Обь-Енисейском районе 11

1.1. Общие сведения о гидрометеорологическом режиме юго-западной части Карского моря 11
1.2. Факторы, обусловливающие состояние ледяного покрова юго-западной части Карского моря 17
1.3. Типизация зим по степени суровости в юго-западной части Карского моря 20
1.4. Ледообразование в юго-западной части Карского моря 54
1.5. Нарастание и распространение льда в юго-западной части Карского моря 61
1.6. Очищение ото льда юго-западной части Карского моря 94
1.7. Влияние ледовых процессов на судоходство и добычу углеводородов в юго-западной части Карского моря 100
1.8. Ледовые условия в портах юго-западной части Карского моря 114

Глава 2. Ледовые условия в Баренцевом море 116

2.1. Общие сведения о гидрометеорологическом режиме Баренцева моря 116
2.2. Факторы, обусловливающие состояние ледяного покрова Баренцева моря 125
2.3. Типизация зим по степени суровости в Баренцевом море 126
2.4. Ледообразование в Баренцевом море 169
2.5. Нарастание и распространение льда в Баренцевом море 176
2.6. Очищение ото льда Баренцева моря 200
2.7. Влияние ледовых процессов на судоходство и добычу углеводородов в Баренцевом море 204
2.8. Ледовые условия в портах Баренцева моря 213

Глава 3. Ледовые условия в Белом море 215

3.1. Общие сведения о гидрометеорологическом режиме Белого моря 215
3.2. Факторы, обусловливающие состояние ледяного покрова Белого моря 222
3.3. Типизация зим по степени суровости в Белом море 224
3.4. Ледообразование в Белом море 249
3.5. Нарастание и распространение льда в Белом море 258
3.6. Очищение ото льда Белого моря 287
3.7. Влияние ледовых процессов на судоходство в Белом море 290
3.8. Ледовые условия в портах Белого моря 308

Глава 4. Ледовые условия в Балтийском море 313

4.1. Общие сведения о гидрометеорологическом режиме Балтийского моря 313
4.2. Факторы, обусловливающие состояние ледяного покрова Балтийского моря 323

4.3. Типизация зим по степени суровости в Балтийском море 324
4.4. Ледообразование в Балтийском море 349
4.5. Нарастание и распространение льда в Балтийском море 357
4.6. Очищение Балтийского моря ото льда 376
4.7. Влияние ледовых процессов на судоходство в Балтийском море 379
4.8. Ледовые условия в портах Финского залива 388

Глава 5. Ледовые условия в Азовском море 394

5.1. Общие сведения о гидрометеорологическом режиме Азовского моря 394
5.2. Факторы, обусловливающие состояние ледяного покрова Азовского моря 402
5.3. Типизация зим по степени суровости в Азовском море 403
5.4. Ледообразование в Азовском море 417
5.5. Нарастание и распространение льда в Азовском море 424
5.6. Очищение ото льда Азовского моря 447
5.7. Влияние ледовых процессов на судоходство в Азовском море 448
5.8. Ледовые условия в портах Азовского моря 455

Глава 6. Ледовые условия в Черном море 463

6.1. Общие сведения о гидрометеорологическом режиме Черного моря 463
6.2. Факторы, обусловливающие состояние ледяного покрова Черного моря 467
6.3. Типизация зим по степени суровости в Черном море 468
6.4. Ледообразование в Черном море 477
6.5. Нарастание и распространение льда в Черном море 482
6.6. Очищение ото льда Черного моря 489
6.7. Влияние ледовых процессов на судоходство в Черном море 490
6.8. Ледовые условия в портах Черного моря 495

Глава 7. Ледовые условия в Каспийском море 499

7.1. Общие сведения о гидрометеорологическом режиме Каспийского моря 499
7.2. Факторы, обусловливающие состояние ледяного покрова Каспийского моря 509
7.3. Типизация зим по степени суровости на Северном Каспии 510
7.4. Ледообразование в Каспийском море 525
7.5. Нарастание и распространение льда в Каспийском море 531
7.6. Очищение ото льда Каспийского моря 547
7.7. Влияние ледяного покрова на судоходство и добычу углеводородов в Каспийском море 550
7.8. Ледовые условия в портах Каспийского моря и на Астраханском рейде 561

Глава 8. Результаты исследования изменений ледовых условий морей ЕТР на рубеже XX и XXI веков 566

8.1. Климатическая достоверность результатов исследования 566
8.2. Соответствие современных изменений климата палеоклиматическим представлениям 571
8.3. Количественная оценка изменений ледовых условий на морях ЕТР 587

Список литературы 601

I.O. Dumanskaya
Ice conditions of the seas of the European part of Russia

A main objective of the scientific handbook development was identification of the climatic changes which have happened on the boundary of XX and XXI centuries. The factors defining a condition of an ice cover are described for all seas. Typification of winters on degree of severity is executed and sets of monthly cards of an ice situation are constructed. Tables of statistical characteristics for ice phases and thickness of ice are provided. Much attention is paid to the influence of the ice processes on navigation and production of hydrocarbons. Tables and diagrams characterizing an ice situation on the main navigable routes of the European part of Russia are created. Results of research can be used for elaboration of scenarios of the possible climat changes in the European part of Russia. The book is useful to students of institutes, the experts providing winter navigation, captains of ships and representatives of shipping companies.

И.О. Думанская

ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ МОРЕЙ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Издатель: «Исследовательская группа “Социальные науки”»
СР 1044004204683 от 07.05.2004 г.
249031, г. Обнинск, а/я 1023,
тел. 8(906) 640-95-05, e-mail: ig_socin@mail.ru

Корректор Н.А. Иванова.
Компьютерная верстка: Е.С. Олейникова.
Технический и выпускающий редактор В.Г. Колесников.

Подписано в печать 22.04.2014. Формат 70×100/16.
Усл. п. л. 38,0. Тираж 250 экз. Заказ № 84.

Отпечатано: ООО «Информполиграф»,
111123, Москва, ул. Плеханова, 3а.