

4828

Б-К

Бесплатно

Государственный комитет СССР по гидрометеорологии
и контролю природной среды

ОРДЕНА ЛЕНИНА АРКТИЧЕСКИЙ И АНТАРКТИЧЕСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

ПОДАШЕНО
экз. 1

На правах рукописи
УДК: 551.326.12(269)

РОМАНОВ АЛЬБЕРТ АНДРЕЕВИЧ

ЛЬДЫ ЮЖНОГО ОКЕАНА
И УСЛОВИЯ СУДОХОДСТВА
(II.00.08 - Океанология)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора географических наук

Ленинград - 1987

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена в ордена Ленина Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте Госкомгидромета СССР.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук В.А.Рожков (Ленинградское отделение государственного океанографического института Госкомгидромета СССР);

доктор географических наук В.Г.Нейман (Институт океанологии им. П.П.Ширшова АН СССР);

доктор географических наук В.Н.Яковлев (Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии Министерства рыбного хозяйства СССР).

Ведущее учреждение - Ленинградский Государственный университет им. А.А.Жданова.

Автореферат разослан *17 августа* 1987 г.

Защита диссертации состоится *15 октября* 1987 г. в "14" час. на заседании Специализированного совета по присуждению ученой степени доктора наук Д.024.04.01 при ордена Ленина Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте Госкомгидромета СССР.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Арктического и антарктического научно-исследовательского института.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просим направлять ученому секретарю ААНИИ по адресу: 199226 Ленинград В.О. ул. Беринга, 38.

Ученый секретарь Специализированного совета доктор географических наук

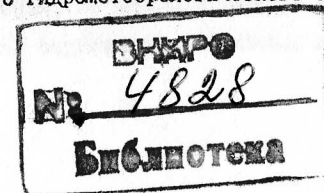
Е.Г.Ковалев Е.Г.Ковалев

Актуальность. Ледяной покров является важной физико-географической особенностью полярных областей Мирового океана. Значительная пространственно-временная изменчивость полярных льдов определяет необходимость их изучения как составной части общей климатической системы нашей планеты и как природного фактора, влияющего на деятельность человека в плане изучения и освоения природных ресурсов полярных областей, охраны окружающей среды.

Одним из существенных достижений в области полярной океанологии последних лет следует признать положение о том, что морские арктические льды устойчивы к изменениям внешних климатообразующих факторов (Доронин, 1968; Захаров, 1981). Это означает не только известную устойчивость современного климата, но и признание роли морского ледяного покрова, как климатообразующего фактора (Трешников, Крутских, Никифоров, Захаров, Николаев, 1984).

Поскольку на долю морских антарктических льдов приходится около половины общей площади, занимаемой ледяным покровом в Мировом океане, изучение их изменчивости является весьма актуальным. Кроме того, природные и климатические условия южной полярной области определяют своеобразие ледовых процессов, придают им характерные черты, основной из которых является значительная пространственно-временная изменчивость развития морских антарктических льдов.

В связи с расширением научных исследований в Антарктике и освоением природных ресурсов Южного океана возникла необходимость разработки и создания отечественной системы научно-оперативного гидрометеорологического обеспечения этих меро-



приятый. Актуальность этой проблемы резко возросла в последние годы. В связи с распространением национальной юрисдикции на прибрежные 200-мильные экономические зоны, 38 % площади всей акватории морей и океанов оказались изъятыми из сферы свободного рыболовства (Студенецкий, 1984). В этих условиях значение Южного океана в развитии рыбного промысла существенно увеличилось.

Возросли требования и к научно-оперативному обеспечению экспедиционного судоходства. События 1985 г., связанные с ледовым пленением и трехмесячным дрейфом НЭС "Михаил Сомов" в районе ст. Русская, остро поставили вопрос о необходимости выявления гарантированных по ледовым условиям сроков плавания к антарктическим станциям. Это позволило бы исключить вероятность ледового пленения судов и избежать огромных материальных, финансовых и моральных потерь.

Таким образом, научная актуальность и практическая значимость диссертационного исследования вытекает из того, что без знания состояния и изменчивости ледяного покрова Южного океана невозможно правильное понимание характера развития природных процессов, происходящих в гидросфере и атмосфере Земли, и решение проблемы научно-оперативного обеспечения мореплавания в антарктических водах.

Цель исследования. Главная цель работы состоит в создании теоретического обобщения результатов изучения ледового режима Южного океана и разработке основных концепций решения проблемы научно-оперативного обеспечения мореплавания в антарктических водах и льдах.

При постановке и формулировке цели исследования автор исходил из того, что к настоящему времени создались объективные предпосылки для ее реализации.

Наиболее важные результаты изучения ледового режима южной полярной области Мирового океана, сохраняющие свое значение до сих пор, были получены с начала послевоенных лет до 70-х годов текущего столетия. Сумма накопленных знаний о ледовом режиме Южного океана за этот период была обобщена, главным образом, советскими учеными: в работе П.А.Гордиенко, В.И.Федорова, В.И.Шильникова (1960), монографиях В.С.Назарова (1962), А.Ф.Трешникова (1963), Атласе Антарктики (1966) и последнем крупном исследовании В.Х.Буйницкого (1973). Указанные обобщения были созданы на основе прибрежных, судовых и авиационных наблюдений, выполненных, главным образом, в водах Восточной Антарктики. Использование с конца 60-х годов искусственных спутников Земли (ИСЗ) для наблюдения за ледяным покровом, которое в начале 70-х годов стало регулярным, представило возможность развития и уточнения ранее полученных представлений о характере ледовых процессов в Южном океане, выявления закономерностей пространственно-временной изменчивости ледяного покрова.

К началу 70-х годов следует отнести и исследование вопросов, связанных с изучением антарктических льдов как среды судоходства, итоги которого были обобщены в монографии автора (Романов, 1976). Эти исследования проводились на основе методических положений и принципов, разработанных при решении аналогичных задач в Арктике П.А.Гордиенко и его школой (1967) и развитых в теоретическом и прикладном аспектах А.Я.Бузуевым (1981).

Исходные материалы и методы исследования. Основу исходных данных составили материалы ледовых наблюдений, хранящиеся в фондах АНИИ, за период с 1956 по 1982 г. Использовались также данные спутниковых наблюдений из фондов Гидрометцентра

СССР. На основе этих материалов были составлены на единых методических принципах ежелекционные ледовые карты распределения льда для океана в целом и его отдельных районов в результате обобщения и анализа прибрежных, авиационных, судовых и спутниковых наблюдений. С 1964 по 1972 г. освещение Южного океана спутниковыми наблюдениями носило нерегулярный характер и только с 1973 г. эти наблюдения охватывают всю его акваторию практически за все сезоны.

В работе использованы результаты наблюдений, опубликованные в отечественных и иностранных источниках. В этих случаях в диссертации сделаны соответствующие ссылки, причем, предпочтение отдано работам обобщающего характера.

Исследование выполнялось на основе физико-статистических методов, при которых физическое обоснование закономерностей изучаемых процессов является главным условием их объективной интерпретации. В качестве основных статистических методов использовались корреляционный и спектральный анализы. Для изучения пространственно-временной изменчивости ледяного покрова применялось разложение полей на ортогональные функции с помощью метода главных компонент.

Научная новизна исследования. В соответствии с основной целью в диссертации были впервые поставлены и решены следующие задачи.

1. Дано описание состояния и современного развития морских антарктических льдов на основе количественных оценок основных его характеристик.

2. Произведен расчет и построение генеральной схемы движения антарктических льдов.

3. Выявлены особенности крупномасштабной адвекции льда и оценена ее роль в формировании ледовых условий.

4. Вскрыты закономерности пространственно-временной изменчивости основных элементов ледового режима.

5. Количественно оценено влияние антарктического ледяного покрова на ледопроездимость судов.

6. Выполнена классификация антарктической области Южного океана по ледовым условиям для промышленного судоходства.

7. Разработана научно обоснованная схема рекомендуемых маршрутов плавания судов к берегам Антарктического континента.

8. Обоснована продолжительность навигационных периодов различной природной обеспеченности на рекомендуемых маршрутах.

Решение каждой из этих задач имело самостоятельное научное и практическое значение на различных этапах многолетних исследований автора.

Существо полученных научных и практических результатов и их новизна заключаются в следующем.

1. Сформулированы физико-географические факторы формирования ледового режима Южного океана, под которыми понимается совокупность физико-географических, климатических и гидрометеорологических условий, которые определяют количественные и качественные характеристики ледовых процессов и, в конечном итоге, составляют их механизм. Обращено внимание на незначительное опреснение поверхностных антарктических вод (ЦАВ), что определяет существенно больший вклад океанического тепла в процессы развития и разрушения ледяного покрова Южного океана по сравнению с Северным Ледовитым океаном (СЛО).

2. Дано описание современного состояния морских антарктических льдов на основе количественных оценок его элементов и параметров (площади, объема, количества, толщины, сплоченности, ледяных массивов, полыней, припая), характеризующих его развитие в сезонном и межгодовом плане. Выполнен статис-

тический анализ пространственно-временной изменчивости основных параметров ледяного покрова, толщины, заснеженности, сроков наступления основных фаз развития и разрушения ледяного покрова. Значительно уточнены составляющие ледового баланса Южного океана, выявлены его региональные особенности.

3. Построена генеральная схема дрейфа льда. На основе полученных количественных оценок его элементов и параметров существенно уточнены представления о характере движения морских антарктических льдов и айсбергов. Получены оценки крупномасштабной адвекции льда, выявлен ее вклад в развитие и динамику ледяных массивов, прибрежных полиней, а также в сезонную и межгодовую изменчивость ледовитости.

4. Выявлены закономерности пространственно-временной изменчивости ледовитости, как основного показателя ледового режима и условий судоходства. Выполнена оценка роли динамических и термических факторов в формировании ледовитости различных районов Южного океана. Получены количественные оценки сезонных и межгодовых колебаний ледовитости океана в целом и его отдельных районов.

5. Исследовано влияние антарктических льдов на ледопроездимость судов, главным образом, ледовой категории УДА (усиленный ледовый арктический) и УЛ (усиленный ледовый). Выявлены зависимости между скоростью судна и параметрами дрейфующих льдов, айсбергов и припая. Определены состояния ледяного покрова, которые являются критическими для активного плавания во льдах.

6. Выполнена классификация антарктической области Южного океана для промыслового мореплавания, в основу которой положена вероятность достижения судном ледовой категории УЛ берегов Антарктиды в навигационный период с ноября по март.

7. Разработана схема рекомендуемых маршрутов плавания в антарктической области Южного океана, определена и обоснована продолжительность навигационных периодов различной природной обеспеченности. Выявлена реальность гарантированных навигационных периодов на каждой трассе для судов ледовой категории УЛА.

Изложенные результаты позволили получить следующие основные положения и выводы.

1. Незначительное опреснение поверхностных антарктических вод является одним из основных физико-географических факторов, определяющих особенности развития морских антарктических льдов.

2. Основные закономерности пространственно-временной изменчивости антарктического ледяного покрова определяются различиями в аккумулярующей способности деятельного слоя океана и устойчивости пинноклина.

3. Важной особенностью движения антарктических льдов является преобладающий выносной характер адвекции и региональные различия в ее интенсивности.

4. Различия в характере адвекции льда к западу и востоку от Антарктического полуострова определяют оппозицию в ледовитости Атлантического и Тихоокеанского секторов океана с квазидвухлетней цикличностью.

5. Преобладание сплошных льдов в течение всего годового цикла развития и разрушения ледяного покрова является природной закономерностью ледового режима Южного океана и основным фактором формирования условий судоходства.

6. Важной закономерностью пространственно-временной структуры ледяного покрова является формирование стационарных прибрежных полиней и развитие разрежений ледяного покрова в

определенных районах Южного океана, что обуславливает географическое положение рекомендуемых маршрутов плавания.

7. Ледовые условия на рекомендуемых маршрутах позволяют осуществлять плавание судов ледовой категории УЛА к антарктическому побережью в гарантированные навигационные периоды и периоды меньшей природной обеспеченности.

Эти положения и выводы являются предметом защиты и в совокупности представляют теоретическое обобщение, результаты которого в конструктивной и приемлемой для практики форме переведены в алгоритм решения проблемы научно-оперативного обеспечения мореплавания в антарктических водах и льдах.

Практическая значимость работы. Результаты, полученные в диссертации, имеют важное народно-хозяйственное значение и могут быть использованы при оценке климатической изменчивости природных условий в полярных областях Мирового океана, гидросфере и атмосфере Земли; разработке физических основ методов прогнозов ледовых и гидрометеорологических условий в Южном океане; планировании научных исследований, поиске перспективных районов промысла биологических объектов в Южном океане и освоении минеральных ресурсов в Антарктике; создании и развитии современной системы научно-оперативного гидрометеорологического обеспечения народно-хозяйственных мероприятий в Антарктике, в том числе плавания экспедиционных, промысловых и транспортных судов в Южном океане; составлении пособий для учебных заведений гидрометеорологического и судоводительского профиля.

Основная часть результатов, полученных в диссертационном исследовании, внедрена в практику работы Советской антарктической экспедиции, учреждений Госкомгидромета, Минморфлота, Минрыбхоза СССР и Министерства Обороны СССР в части планирования, организации и проведения научных исследований и народно-

хозяйственных мероприятий в Антарктике, научно-оперативного обеспечения судоходства и промысловых работ в Южном океане.

Результаты обобщений по морским антарктическим льдам, выполненных под руководством автора и его личном участии, использованы в таких изданиях как Атлас океанов, Тихий океан (1974), Атлас океанов, Атлантический и Индийский океаны (1977) и приняты к изданию редакционными коллегиями Атласа проливов Мирового океана, Атласа опасных и особо опасных явлений в южной полярной области, Атласа снежно-водных ресурсов мира и второго издания Атласа Антарктики.

Личный вклад автора. Диссертация написана по результатам, полученным автором лично в процессе его работы над плановыми темами в соответствии с заданиями и целевыми комплексными программами Госкомгидромета и ГКНТ. Автор осуществлял сбор натурального материала по ледовому режиму и условиям судоходства в составе трех Советских антарктических экспедиций, а с 1977 по 1986 г. принимал непосредственное участие в научном, методическом и оперативном руководстве экспедиционными исследованиями Южного океана по национальным и международным программам. Личный вклад автора заключается также в постановке целей и задач диссертационного исследования, их реализации, теоретическом обобщении полученных результатов и научных выводов, разработке практических рекомендаций.

Апробация работы. Основные научные и практические результаты диссертации докладывались регулярно на Ученом Совете ААНИИ и его секциях, а также Научном Совете Госкомгидромета по изучению океанов и морей (март 1982 г.), Бассейновой секции ГКНТ "Атлантический океан и Балтийское море" (Ленинград, июнь 1983 г., июнь 1986 г.), Бассейновой секции ГКНТ "Тихий океан" и ВРЮ Дальрыба (Владивосток, сентябрь 1983 г.),

а также на Всесоюзных и Международных совещаниях, в том числе на: Всесоюзном совещании по обмену опытом гидрометеорологического обеспечения промышленных работ в Южном океане (Москва, май 1981 г.), Отраслевом совещании по вопросам безопасности мореплавания и мерам по обеспечению безаварийной эксплуатации флота рыбного хозяйства (Таллин, февраль 1982 г.), Всесоюзном совещании по научно-оперативному гидрометеорологическому обеспечению промышленного и транспортного флота в Южном океане и авиации в Антарктике (Ленинград, май 1982 г.), ХУП сессии Научного комитета по антарктическим исследованиям (Ленинград, июль-июль 1982 г.), II Всесоюзном съезде океанологов (Ялта, декабрь 1982 г.), Всесоюзном совещании-семинаре по обмену опытом планирования и организации исследований в Мировом океане (Владивосток, сентябрь 1983 г.), Всесоюзном совещании-семинаре по обмену опытом гидрометобеспечения судов рекомендованными маршрутами плавания в океанах (Мурманск, ноябрь 1983 г.), III Всесоюзном симпозиуме "Метеорологические исследования в Антарктике" (Ленинград, октябрь 1986 г.), Географическом обществе СССР (Ленинград, ноябрь 1984, январь 1987 г.) и других семинарах и совещаниях, посвященных изучению ледового режима Южного океана, условиям судоходства и его научно-оперативному обеспечению.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 28 работ, в том числе две монографии. Две работы по теме диссертации опубликованы за рубежом.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и содержит 190 страниц текста (без рисунков, таблиц и списка литературы), 17 таблиц и 51 рисунок. Список литературы включает 202 наименования, в том числе 60 работ зарубежных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Освещается состояние изученности ледового режима Южного океана и условий судоходства в антарктических водах и льдах. Обосновывается актуальность исследования, формулируются его цели и задачи. Излагаются основные результаты и научные выводы, представляющие совокупность научных положений, выносимых на защиту.

Первая глава состоит из двух параграфов. В первом, на основе анализа физико-географических, климатических и гидрометеорологических условий Южного океана формулируются основные факторы формирования его ледового режима, обосновывается большой вклад процессов, происходящих в верхних слоях океана, в развитие и разрушение антарктического ледяного покрова.

Известно, что образование, географическое распространение и устойчивость арктического морского ледяного покрова органически связаны с особенностями строения верхнего слоя океана, его халинной структурой. Это определяет условия теплообмена между океаном и атмосферой, вклад тепла глубинных вод в процессы развития и разрушения ледяного покрова (Захаров, 1978, 1981).

Незначительное опреснение поверхностных антарктических вод (ПАВ) определяет особенности их вертикальной структуры, характерным для которой является развитие мощного деятельного слоя и наличие неустойчивого пикноклина. Вследствие этого повышается способность верхнего слоя океана к аккумуляции солнечной энергии, увеличивается его теплосодержание. Толщина слоя ПАВ в 4-6 раз превышает толщину слоя поверхностных арктических (Трешников, Алексеев, Саруханиян и Смирнов, 1978).

Кроме того, доля океанического тепла, участвующего в те-

площадью с атмосферой, существенно увеличивается за счет развитой конвекции, происходящей в условиях непрерывного выноса льда в период его образования и развития. Так, к концу зимы в Арктическом бассейне критическая глубина конвекции не превышает 70 м (Захаров, 1981); в Южном океане до начала ледообразования она может достигать 100 м, а к концу зимы в отдельных районах до 1000 м (Трешников, Шпайхер, Гиндлш, 1967). Конвекция вовлекает в теплообмен значительную толщу циркулярной глубинной воды (ЦГВ), подстилающей ПЛВ. Этому способствует слабое развитие пикноклина и развитый характер климатических циклонов и соответствующих им циркуляций поверхностных вод. Исключительно благоприятные условия для поступления тепла глубинных вод к поверхности создаются в зонах апвеллинга, образующихся в районах циклонических циркуляций. Особенно развиты эти процессы в районах наиболее значительных поднятий дна, где возможно полное разрушение пикноклина.

Эти явления играют исключительно большую роль в термодинамическом взаимодействии атмосферы и океана в южной полярной области, главной особенностью которого является большой удельный вес океанического тепла в этих процессах, что определяет особенности формирования, развития и разрушения морских антарктических льдов. По современным оценкам (Gordon, 1981) почти 50% тепла, необходимого для таяния антарктических льдов в весенне-летний период, поступает из океана, причем более половины этого количества (около 18 Вт/м^2) приходится на тепло глубинных вод, переносимое через пикноклин за счет конвекции и диффузии. В Арктическом бассейне количество аналогичного тепла по различным оценкам составляет от 1.3 до 5.4 Вт/м^2 (Захаров, 1981), т.е. экранирующая способность антарктического пикноклина как минимум в 3.3 раза меньше по

сравнению с арктическим.

Важным фактором повышения теплосодержания ПЛВ являются нарушения зональности Антарктического циркулярного течения (АЦТ), его существенная поперечная неоднородность (Нейман, 1986). Весьма значительная адвекция тепла в меридиональном направлении осуществляется также синоптическими вихрями, зарождающимися в зоне АЦТ (Каменкович, Кошляков, Монин, 1982; Walsh, 1983).

Высокие и слабо изменчивые значения альбедо антарктических льдов, наличие мощного снежного покрова создают условия, существенно затрудняющие таяние ледяного покрова сверху. Прямое влияние солнечной радиации на таяние ослаблено, оно осуществляется, главным образом, через океан за счет поглощения солнечной энергии полыньями и разводьями, развитием процессов бокового таяния и внутреннего разрушения льда. Интенсивности этих процессов способствует также преобладание среди дрейфующих льдов крупно- и мелкобитых форм.

Второй параграф главы посвящен методическим принципам систематизации исходных данных, в основу которых положено районирование антарктической области Южного океана по меридиональному принципу на основе различий в физико-географических факторах формирования ледовых условий. Эти различия определяются радиационным балансом, положением климатических центров действия атмосферы и соответствующих им циркуляций поверхностных вод.

В Атлантическом секторе выделено три района (I-й район собственно море Уэдделла, расположен между 60 и 25°з.д. ; второй - между 25°з.д. и 0° ; третий - между 0° и 30°в.д. , соответствует морям Рисер-Ларсена и Лазарева). В Индийском секторе район 4 соответствует меридиональным границам моря Космо-

навтов, 5 - моря Содружества, 6 - моря Дейвиса. Акватория между морями Дейвиса и Сомова выделена в район 7. В Тихоокеанском секторе меридиональные границы района 8 соответствуют морю Сомова, района 9 - морю Росса. Акватория между морем Росса и Амундсена выделена в район 10, который назван районом ст. Русская. Моря Амундсена и Беллинсгаузена объединены в район 11.

Изложенная схема районирования использована при систематизации исходных материалов и по существу является физико-географической основой базы данных по ледовому режиму, созданной не только для решения задач настоящего исследования, но и в плане разработки автоматизированной ледово-информационной системы, предназначенной для режимных целей и научно-оперативного обеспечения судоходства в Южном океане (Романов, Студитский, 1986).

Региональный принцип формирования базы данных позволяет использовать ее не только как источник информации по ледовому режиму Южного океана в целом, но и его отдельных районов, а также классифицировать данные по продолжительности и степени их достоверности.

Разработанная схема районирования положена в основу исследования пространственно-временной структуры ледяного покрова. Она также позволяет изучать изменчивость ледовых процессов, исходя из представлений о едином гидрологическом процессе, развивающемся во всех однородных гидрологических районах в форме одинакового элементарного гидрологического процесса (Крутских, 1978).

Вторая глава посвящена описанию состояния и современного развития морских антарктических льдов. Она состоит из трех параграфов, в которых рассматриваются соответственно дрейфу-

ющие льды, припай и айсберги.

Большое значение для понимания характера ледовых процессов в Южном океане имеет оценка значений годовых максимума и минимума в развитии ледяного покрова и сроков их наступления.

В количественных оценках этих явлений существуют заметные расхождения. Средняя площадь дрейфующих льдов на период сезонного максимума по данным различных авторов составляла от 25.0 млн км² (Назаров, 1962) до 18.8 млн км² (Атлас Антарктики, 1966), сезонного минимума от 4.0 млн км² до 2.6 млн км², соответственно.

Не было ясных представлений и о сроках наступления экстремумов годового хода развития и разрушения ледяного покрова, особенно его минимума. Большинство исследователей относило наступление максимума на октябрь-сентябрь, минимума - на март, в том числе и на основе анализа современных спутниковых наблюдений за период с 1973 по 1982 г. (Antarctic climate research, 1983).

По данным автора максимальное развитие дрейфующих льдов за период 1964-1982 г. в годовом цикле приходится на сентябрь (средняя площадь равна 19.3 млн км²), минимальное - на февраль (3.2 млн км²), т.е. существует четкая асимметрия в годовом ходе увеличения площади дрейфующих льдов (7 месяцев) и ее уменьшения (5 месяцев). В СМО - наоборот, 5 и 7 месяцев, соответственно (Захаров, 1981).

Наличие асимметрии в годовом цикле развития и разрушения антарктических льдов подтверждается и расчетами их объема: максимум приходится на сентябрь - 27.9 тыс км³, минимум на февраль - 2.8 тыс км³. Эти оценки близки к полученным ранее только в области годового максимума 30.5 тыс км³ (Назаров, 1962) и 30,0 тыс км³ (Унтерштайнер, 1977). В облас-

ти годового минимума в марте по данным этих авторов они составляют 7.0 и 5.0 тыс км³, соответственно.

Еще более значительно проявляется асимметрия при обращении к приведенной толщине льда, которая характеризует объем льда на единицу площади, и поэтому более объективно отражает количество льда. Максимальное значение этого показателя в октябре равно 144 см, минимальное в январе - 64 см, т.е. продолжительность накопления льда составляет 9, его уменьшения - 3 месяца.

Наличие асимметрии в годовом ходе основных показателей состояния ледяного покрова Южного океана является следствием значительного вклада океанического тепла в ледовые процессы, которое тормозит развитие ледяного покрова в осенне-зимний период за счет повышенного теплосодержания деятельного слоя и способствует его таянию в весенне-летний из-за мощной аккумуляции солнечной энергии участками чистой воды среди дрейфующих льдов.

Интенсивность процессов таяния и разрушения ледяного покрова в южной полярной области не имеет аналогов с северной. Так, в течение практически одного месяца с декабря по январь площадь дрейфующих льдов сокращается на 5.0 млн км², что составляет 30% от ее сезонного сокращения. Разница между значениями приведенной толщины льда составляет за этот период 54 см, т.е. почти 80% от ее сезонного уменьшения.

В целом процесс термического разрушения ледяного покрова в Южном океане приобретает устойчивый характер в ноябре, когда площадь ледяного покрова сокращается на 25% по сравнению с годовым максимумом в сентябре, и заканчивается в марте, когда начинается устойчивое ледообразование. На ноябрь и март приходится и смена знаков теплообмена между атмосферой и океаном

(Gordon, 1981).

Таким образом, характер термического разрушения ледяного покрова определяет естественные пределы навигационного периода с ноября по март, когда наблюдаются благоприятные условия для судоходства в целом для антарктической области Южного океана.

Устойчивость ледяного покрова Южного океана к сезонным изменениям притока солнечной радиации существенно меньше, чем СЛО. Отношение годового максимума площади ледяного покрова к ее минимуму для Южного океана равно 6.3, т.е. оно в 2.1 раза превышает аналогичный показатель для СЛО. Межгодовая изменчивость площади антарктических льдов, которая в области годового максимума составляет 29%, превышает наблюдаемую в СЛО в 2.5 раза.

Основной причиной различий в сезонном ходе площади льдов полярных областей являются различия в удельном весе океанического тепла в их тепловом бюджете. Подтверждением этому могут служить различия в значениях сплоченности. Так, средняя сплоченность льдов Южного океана равна 8.1, СЛО - 9.4 балла, ее сезонные изменения в Южном океане составляют 2.3, СЛО - 1.4 балла (Захаров, 1961). Межгодовая изменчивость сплоченности дрейфующих льдов в Южном океане весьма значительна и составляет 1.5 балла, что обуславливает и существенные колебания потоков тепла между океаном и атмосферой.

Несмотря на значительную сезонную изменчивость площади ледяного покрова Южного океана, относительное количество сплоченных льдов от зимы к лету меняется весьма незначительно, от 90% зимой до 70% летом. Для основных параметров ледяного покрова характерна зональность их распределения, т.е. увеличение значений от кромки к берегу и четкая взаимосвязь между ними. В результате вытеснения, в первую очередь, редких, разреженных

и менее тонких льдов, а также перераспределения сплоченности, изменение толщины сплоченных льдов от зимы к лету происходит незначительно, от 145 см в начале таяния до 110 см к началу осеннего ледообразования. Эта природная закономерность является основным фактором формирования условий судоходства.

Сведения о развитии припая в целом по Южному океану носят общий характер. Оценки его площади имеются только на период максимального развития, от 550 тыс км² (Атлас Антарктики, 1966) до 800 тыс км² (Буйницкий, 1973). Значения площади припая, полученные автором с сентября по март, показывают, что максимальная площадь припая приходится на октябрь (680 тыс км²), минимальная - на март (80 тыс км²). Межгодовая амплитуда в площади развития припая по полученным данным в сентябре - декабре составляет 75%, в январе - марте 100% от средних значений.

Приведены результаты статистического анализа основных параметров дрейфующих льдов (толщины, торосистости, горизонтальных размеров ледовых образований) и припая (толщины, высоты снежного покрова); сроков наступления основных фаз развития и разрушения ледяного покрова, характеристик его физико-механических свойств.

На основании обобщения и анализа многолетних наблюдений за айсбергами получены данные, уточняющие представления об их размерах.

Зависимости размеров айсбергов (ширины, длины, высоты) от их положения по долготе не обнаружено.

Выявлен достаточно четко зональный характер изменения их горизонтальных размеров. Так, средняя длина айсбергов, расположенных между берегом и 65° ю.ш., равна 1090 м, к северу она уменьшается почти в 2.5 раза и составляет 430 м. Изменение вы-

соты надводной части айсбергов весьма незначительно. В прибрежной зоне, к югу от 65° ю.ш., средняя ее величина составляет 52 м, в мористой - к северу от 65° ю.ш., равна 48 м.

Определяющая роль в разрушении айсбергов принадлежит термическим факторам, главным образом, теплу океанических вод. На основании приведенных данных о размерах айсбергов и их широтном изменении подсчитано, что айсберги при их движении от 65 до 45° ю.ш. должны полностью растаять только за счет тепла океана (Morgan, Budd, 1978).

Что касается объема айсбергов в Южном океане, то их оценки отличаются весьма заметно: 17.9 тыс км³ (Шильников, 1960), 12.5 тыс км³ (Лосев, 1982). Эти данные подлежат уточнению, поскольку они получены на основе подсчета количества айсбергов по шкале их сплоченности, балл которой определяется по расстоянию между айсбергами (Шильников, 1959). Однако, шкала сплоченности отражает лишь степень концентрации айсбергов, но не их количество (Дмитраш, 1969; Буйницкий, 1973; Ботников, Войнов, Кузнецов, Романов, 1980). Более обоснованным при определении объема айсбергов является оценка их количества на основе радиолокационных наблюдений за их распределением по сплоченности (Буйницкий, 1973). Исходя из этого, были определены соотношения между баллом сплоченности айсбергов и их количеством, которые легли в основу расчета их характеристик. При этом использовались современные представления об их размерах и распределении.

Так, их объем оценивается в 4.7 тыс км³, количество - 107 тыс, продолжительность существования около двух лет, при объеме айсбергового стока в океан 2.2 тыс км³/год (Зотиков, Иванов, Ларабаш, 1974). По объему айсбергов эти значения в 3.5, по количеству в 2, а по продолжительности жизни айсбер-

гов - в 6 раз меньше значений, полученных, например, В.И.Шильниковым (1960).

Полученные характеристики айсбергов, а также данные о площади развития дрейфующих льдов позволили получить оценки основных составляющих ледового баланса Южного океана, объема пресноводного стока и представления о его региональных особенностях.

Суммарный пресноводный сток в Южный океан за счет таяния дрейфующих льдов и айсбергов равен 3.3 см/год, что в 10.6 раза меньше пресноводного стока в СЛО (Атлас океанов. Термины, понятия, справочные таблицы, 1980). Пресноводный сток за счет айсбергов составляет 0.6 см/год, дрейфующих льдов - 2.8 см/год.

На Атлантический сектор Южного океана приходится около 50, Тихоокеанский - 30 и Индийский - 20% от общего объема пресноводного стока в Южный океан, что соответствует региональным различиям в структуре морских антарктических льдов.

Таким образом, пресноводный сток в Южный океан за счет сезонного таяния льдов и айсбергов весьма незначителен и является основной причиной неустойчивой стратификации ПАВ, что определяет ведущую роль океанического тепла в формировании особенностей ледового режима.

Вывод о значительно меньшей продолжительности существования айсбергов свидетельствует о более выносном характере движения айсбергов и льдов из высоких широт в низкие и допускает их полное обновление примерно через 2 года.

Определенное подтверждение недолговечности антарктических айсбергов, как и правомерности изложенных соображений, обнаруживается при обращении к результатам спутниковых наблюдений за движением айсбергов за период с 1972 по 1983 г. (Tchernia,

Jeannin, 1983). По этим данным максимальная продолжительность дрейфа айсбергов не превышала 2.3 года, что близко к результату, полученному автором на основе расчета составляющих ледового баланса.

Третья глава посвящена исследованию дрейфа льда, его влиянию на формирование ледовых условий. В первом параграфе изложены методические основы построения генеральной схемы дрейфа льда и результаты анализа пространственно-временной изменчивости его элементов. Схема дрейфа льда построена путем расчета элементов дрейфа на основе значений результирующего ветра, полученного за 10-летний период для участков океана размерами 10° по долготе и 5° по широте, и коэффициентов дрейфа льда и углов отклонения направления дрейфа от направления ветра.

Полученные результаты соответствуют основным положениям о характере движения антарктических льдов, сформулированным А.Ф.Трешниковым на основе построенной им схемы поверхностных течений (Трешников, 1963).

Выделено несколько циклонических систем дрейфа антарктических льдов, положение которых совпадает с районами развития климатических циклонов (Атлас Антарктики, 1966), и соответствующих им циркуляций поверхностных вод (Трешников, 1963; Корт, Нейман, 1966; Григорьев, 1969; Саруханиян, 1980).

Положение зон наиболее значительной конвергенции скорости дрейфа соответствует районам развития известных ледяных массивов: Атлантического, Тихоокеанского и Балленского. Небольшие по размерам зоны конвергенции дрейфа существуют в западной части моря Космонавтов (район 4) и море Моусона (7), которые определяют формирование локальных скоплений льда в этих районах.

Наиболее значительные зоны дивергенции расположены в цент-

ральной (2) и восточной (3) частях Атлантического сектора, в морях Содружества (5) и Росса (9). Небольшая по размерам зона дивергенции льда обнаружена в центральной части Тихоокеанского сектора между 120 и 150° в.д. (район ст. Русская), что имеет важное значение для формирования условий плавания.

Выявлен четкий зональный характер дрейфа льда. Средняя скорость западного результирующего дрейфа в прибрежной зоне равна 0.07 м/с, восточного океанического 0.08 м/с, в переходной зоне северного и северо-восточного дрейфа 0.05 м/с. Коэффициенты устойчивости дрейфа, под которыми понимается отношение скорости результирующего дрейфа к средней, соответственно равны 0.7, 0.5 и 0.3.

Максимальные скорости дрейфа антарктических льдов, их сезонная и межгодовая изменчивость наблюдаются в Атлантическом секторе; в Индийском и Тихоокеанском секторах эти явления выражены слабее. Скорость дрейфа льда в Атлантическом секторе в 1.5 раза превышает наблюдаемую в Индийском и Тихоокеанском. В осенне-зимний период скорости дрейфа льда в Южном океане выше, чем в летний примерно в 2.0 раза.

Межгодовые различия в скоростях дрейфа льда в зимний период сопоставимы с сезонными изменениями, в летний период они не выражены.

Во втором параграфе рассмотрен характер крупномасштабной адвекции льда. Ее количественные оценки в целом для океана и его отдельных районов были получены путем суммирования векторов дрейфа по основным траекториям на основе схемы дрейфа льда.

В Южном океане в течение годового цикла развития и разрушения ледяного покрова крупномасштабная адвекция льда осуществляется в генеральном направлении с востока на запад вдоль береговой линии и оказывает определяющее влияние на формирова-

ние ледовых условий, главным образом, в Тихоокеанском и Индийском секторах. В Атлантическом секторе, наряду с прибрежной западной и северной выносной развита адвекция льда на восток в зоне действия АЦТ, которая оказывает влияние на формирование ледовых условий восточной части Атлантического и западной Индийского сектора.

Важная особенность крупномасштабной адвекции льда заключается в следующем.

В Тихоокеанском секторе развит прибрежный западный поток в морях Беллинсгаузена и Амундсена (район II), переходящий далее в северный выносной в районе ст. Русская (IO). Суммарная продолжительность движения льдов от моря Беллинсгаузена до района ст. Русская и далее на север до кромки составляет около 2 лет. Примерно такая же продолжительность адвекции льда от южного побережья к кромке наблюдается в западной части Атлантического сектора, в море Уэдделла (I). В результате этого в Тихоокеанском секторе происходит увеличение площади ледяного покрова, главным образом, в его центральной части, в западной части Атлантического сектора - его сокращение. Создаются условия для формирования оппозиции в площадях ледяного покрова Тихоокеанского и Атлантического секторов Южного океана.

Вынос дрейфующих льдов от берегов континента осуществляется, в основном, в районах западных частей развитых циклонических циркуляций и превышает их поступление в восточных.

Характер адвекции льда в значительной мере определяет образование антарктических ледяных массивов, их развитие и динамику в сезонном и межгодовом аспектах, особенности которых рассматриваются в третьем параграфе.

Влияние замкнутых циркуляций движения антарктических льдов на формирование ледовых условий определяется размерами этих

циркуляций и их соотношением с сезонными изменениями кромки льдов. В соответствии с этим, только замкнутая циклоническая циркуляция в море Сомова оказывает решающее влияние на образование Балленского ледяного массива. Тихоокеанский и Атлантический ледяные массивы формируются, главным образом, под влиянием прибрежной западной и выносной северо-восточной адвекции льда, соответственно, продолжительностью около 2 лет.

В связи с этим, остаточные льды в антарктических ледяных массивах представлены, в основном, двухлетними льдами, количество которых на период максимального развития ледяного покрова в годовом цикле не превышает 10%. Условий для образования многолетних льдов в Южном океане практически нет.

Выделение ледяных массивов в самостоятельные ледовые образования, т.е. отделение массивов от сплоченных льдов прилегающих акваторий, происходит в различные периоды. В годы максимального развития ледяного покрова этот процесс заканчивался в январе, при среднем - декабре, при минимальном - ноябре.

Сезонные и межгодовые колебания площади антарктических ледяных массивов сопоставимы между собой и составляют от 60 до 75% от их средних значений, межгодовые - несколько меньше и находятся в пределах 50-65%.

Стабильный характер прибрежной западной адвекции льда в течение всего годового цикла его развития и разрушения и конфигурация береговой черты Антарктиды являются основными факторами образования стационарных прибрежных полынней, которые рассматриваются в четвертом параграфе.

Выделено 23 стационарных прибрежных полынней, приуроченных, главным образом, к восточным частям наиболее значительных излучин береговой черты.

В целом для Южного океана суммарная площадь стационарных

полыней имеет четко выраженный сезонный ход. В сентябре она составляет порядка 60 тыс км² (около 1% от средней площади ледяного покрова в этом месяце), в октябре - 630 тыс км² (4%), ноябре - 580 тыс км² (5%), декабре - 800 тыс км² (7%), январе - 550 тыс км² (10%), феврале и марте - порядка 130 тыс км² (4%) и в апреле - 10 тыс км² (1%). Сезонное развитие полыней имеет два максимума, в октябре и декабре. Первый максимум имеет динамическую природу и обусловлен усилением меридиональных процессов в атмосфере, которое является следствием максимального развития ледяного покрова в годовом цикле, что ведет к усилению адвекции льда в южных и западных частях циклонических циркуляций. Второй максимум, в декабре, обязан своему проявлению термическим факторам, главным образом, аккумуляции солнечной радиации верхним слоем океана и развитием процессов таяния ледяного покрова.

Суммарная площадь полыней по средним значениям в Атлантическом секторе океана на период их максимального развития в декабре составляет 270 тыс км² (с учетом полыней Уэдделла может достигать 570 тыс км²), Индийского - 200 тыс км² и Тихоокеанского - 340 тыс км², амплитуды их межгодовой изменчивости соответственно равны 120, 55 и 110% от средних значений. В целом для Южного океана величина амплитуды составляет 125% от среднего значения.

Наиболее развиты стационарные полынни в диаметрально противоположных районах Южного океана, в центральной части Атлантического сектора (район 2) и в море Росса (9), а также в море Содружества (7). Здесь площади полыней на период максимального их развития в декабре составляют в среднем 20, 33 и 13% соответственно от суммарной площади стационарных полыней в Южном океане. В этих районах наблюдаются максимальные

амплитуды межгодовых колебаний площади стационарных полней, достигающие 140% от средних значений.

Четвертая глава состоит из двух параграфов, в которых рассматривается соответственно в сезонном и межгодовом плане пространственно-временная изменчивость площади дрейфующих льдов в абсолютных значениях, суммарной площади ледяного покрова, приведенной к сплоченности 10 баллов (приведенная ледовитость), положения кромки льдов, а также сроков наступления основных фаз развития и разрушения льда.

Основными причинами формирования и разрушения ледяного покрова и, как следствие, пространственно-временной изменчивости ледовитости, являются процессы дрейфа льда, его нарастания и таяния (Гудкович, Кириллов, Ковалев, Сметанникова, Спичкин, 1972).

Дрейф льда и дивергенция скорости приводят не только к перераспределению льда, но и изменению условий нарастания и таяния вследствие изменения характера теплообмена между океаном и атмосферой. Это происходит, главным образом, за счет изменения относительного количества чистой воды среди дрейфующих льдов, основными показателями которого являются сплоченность и размеры полней. Характер проявления этих процессов зависит от физико-географических условий различных районов и, в конечном итоге, определяет пространственно-временную изменчивость ледяного покрова.

Пониженная сплоченность ледяного покрова Южного океана и развитие полней являются основными причинами формирования явления асимметрии в сезонном ходе развития и разрушения ледяного покрова, причем, ведущая роль в этом процессе принадлежит полням, которые ускоряют процесс весенне-летнего разрушения льда за счет повышения аккумулярующей способности верх-

них слоев океана.

Так, суммарная площадь чистой воды осенью в Южном океане по средним значениям оценивается в 2.5 млн км² (25% от площади распространения ледяного покрова), зимой 2.0 млн км² (15%), весной 2.8 млн км² (30%) и летом 1.3 млн км² (32%). Существуют заметные различия между сезонными значениями суммарной площади чистой воды среди льдов по отношению к их общей площади. Весной площадь чистой воды на 5, а летом на 7% превышает наблюдаемую осенью за счет развития полней.

Начало активного развития полней в ноябре соответствует устойчивому разрушению антарктических льдов, а их максимальное развитие в декабре наиболее значительному их сокращению, причем, наиболее интенсивное уменьшение площади льда наблюдается в центральной части Атлантического сектора (район 2), морях Росса (9) и Содружества (7), которое в итоге составляет около 50% от общего количества льда, тающего в Южном океане в этот период. Если в целом для Южного океана отношение годового максимума ледовитости к его минимуму равно 6.3, то для центральной части Атлантического сектора (район 2) оно равно 20.0, моря Содружества (7) - 13.0, моря Росса (9) - 17.0. В указанных районах отмечаются также наиболее развитые зоны дивергенции льда, пониженная сплоченность ледяного покрова, которая составляет 7.6-7.9 балла по среднегодовым значениям. Для морей Уэдделла (1), Сомова (8), района ст. Русская (10), где расположены ледяные массивы, отношение годового максимума ледовитости к ее минимуму равно соответственно 2.7, 6.0 и 3.5. Среднегодовые значения сплоченности равны здесь 8.4-8.5 балла.

В районах слабого развития полней и повышенной сплоченности ледяного покрова явление асимметрии в сезонном ходе развития и сокращения ледяного покрова отсутствует, главным обра-

зом, за счет раннего наступления максимума, в августе, по сравнению с другими районами Южного океана, где он наблюдается в сентябре. Это моря Уэдделла, Сомова и район ст. Русская (Ю). Этому также способствует и характер крупномасштабной адвекции льда. Именно в море Уэдделла и в районе ст. Русская наиболее ярко выражена адвекция льда с северной составляющей.

Таким образом, в формировании ледовитости центральной и восточной частей Атлантического, Индийского и восточной части Тихоокеанского сектора определяющий вклад вносят термические факторы, которые определяют интенсивность процессов нарастания и таяния льда. Именно в этих районах возможно полное очищение акватории Южного океана от льда. Формируются благоприятные условия плавания.

Ведущая роль динамических факторов, основным механизмом которых является адвекция льда, проявляется в формировании ледовитости западной части Атлантического сектора (море Уэдделла), центральной (район ст. Русская) и западной (море Амундсена) Тихоокеанского сектора. Здесь формируются неблагоприятные условия плавания.

Для всех районов Южного океана характерно преобладание сезонных колебаний ледовитости, на долю которых приходится около 85% суммарной дисперсии.

Межгодовая изменчивость ледовитости так же, как и сезонная, наиболее значительно выражена в районах, ледовые условия которых формируются под преобладающим влиянием термических факторов.

Амплитуда межгодовых колебаний ледовитости Южного океана по среднегодовым значениям может достигать 25%. Максимальные амплитуды ледовитости в весенне-летний период характерны для

Атлантического сектора (20-30%), близкие к средним - для Тихоокеанского (15-25%) и минимальные для Индийского сектора (5%). В Атлантическом секторе максимальное отклонение амплитуды межгодовых колебаний (30%) отмечается в его центральной части (2 район), в Тихоокеанском - в море Росса (25%), т.е. в районах максимальной изменчивости сплоченности и площади льда. К западу и востоку от указанных районов размах колебаний уменьшается.

Наибольший вклад в межгодовую изменчивость ледовитости Южного океана в целом вносит Атлантический сектор - около 30% суммарной дисперсии. На долю Тихоокеанского сектора приходится около 25%, Индийского - 20%.

Характер межгодовых колебаний площади ледяного покрова в абсолютных и приведенных значениях, по среднегодовым их характеристикам, а также результаты анализа среднемесячных значений площади с помощью метода главных компонент показали, что их аномалии проявляются в Тихоокеанском секторе через 2-3 года после их формирования в Атлантическом. Подтверждается наличие оппозиции в развитии ледяного покрова в этих секторах с квазидвухлетней цикличностью, основной причиной которой является характер крупномасштабной адвекции льда, рассмотренный в третьей главе.

Синхронный характер усиления или ослабления адвекции льда в Атлантическом и Тихоокеанском секторах является следствием усиления или ослабления интенсивности климатических циклонов, расположенных к востоку и западу от Антарктического полуострова в связи с усилением или ослаблением меридиональных процессов в атмосфере. Это подтверждается и характером сезонной и межгодовой изменчивости скорости движения морских льдов и айсбергов в Южном океане, которая наиболее значительно

выражена в холодную половину года и наиболее ярко проявляется в Атлантическом и Тихоокеанском секторах.

Поскольку разрастание ледяного покрова в Южном океане и его уменьшение связаны соответственно с усилением и ослаблением меридиональных процессов в атмосфере, возможно существование механизма автоколебаний в системе океан - ледяной покров - атмосфера с квазидвухлетней цикличностью.

Межгодовая изменчивость сроков наступления осенних ледовых явлений (ледообразование, становление припая) существенно меньше показателей, характеризующих весенне-летние процессы (взлом припая, его окончательное разрушение). Так, амплитуда сроков устойчивого ледообразования на рейде Мирного в 4.0, а образования припая в 1.5 раза меньше амплитуд начала и окончательного разрушения припая.

Статистически значимых трендов ледовитости для Южного океана в целом и его отдельных районов на имеющихся рядах наблюдений не обнаружено.

По имеющимся к настоящему времени данным о ледяных покровах южной и северной полярных областей Мирового океана сделать обоснованное заключение о взаимосвязи их межгодовой изменчивости нельзя. Но имеющиеся данные свидетельствуют все же в пользу подтверждения синхронного характера ледовых процессов в полярных областях, на что указывал еще В.Ю.Визе (Визе, 1944). Так, фазы межгодовых колебаний площади льда в Атлантическом и Тихоокеанском секторах Южного океана запаздывают по отношению к колебаниям площади льда приатлантической и притихоокеанской частей северной полярной области на один год.

В указанных районах Мирового океана наблюдаются максимальные амплитуды сезонной и межгодовой изменчивости в развитии ледяных покровов. Поэтому исследование закономерностей

природных процессов в этих районах представляется наиболее перспективным в плане изучения их климатической изменчивости и решении других актуальных научных проблем.

В пятой главе исследовано влияние антарктических льдов на ледопроездимость, т.е. способность судна продвигаться в конкретных ледовых условиях. В первом параграфе рассматриваются виды ледовых скоростей, исходные данные, методы их обработки и анализа. В последующих трех параграфах изложены особенности плавания в айсберговых водах, дрейфующих льдах и припая.

Объективным показателем ледопроездимости является скорость движения судна во льдах, которая обусловлена его ледовыми качествами (прочностью корпуса, мощностью энергетической установки, маневренностью и т.д.) и состоянием ледяного покрова.

Как показала практика, в реальных ледовых условиях плавание осуществляется не на предельной по техническим возможностям скорости. Это наиболее полно проявляется при плавании в антарктических льдах, где автономность плавания, необычный характер природных условий, высокий уровень ответственности за безопасность мореплавания и успешность выполнения задания объективно приводят к необходимости снижения скорости судна во льдах из-за опасения получить ледовые повреждения, экономии топлива и энергетических ресурсов судна.

Применительно к антарктическим условиям изучалась ледопроездимость судов ледовых категорий УЛА и УЛ. В соответствии с методическими принципами определения ледовых скоростей, они представляют собой статистическое обобщение многолетнего опыта разных по квалификации судоводителей. Поэтому они по существу являются эксплуатационными ледовыми скоростями, отражают влияние на движение судна не только ледовых, но и гидрометеорологических условий и могут рассматриваться как рекомендуемые ско-

рости. Наличие айсбергов в антарктических водах и льдах предъявляет повышенные требования к обеспечению безопасности мореплавания, особенно в условиях ограниченной видимости. Увеличение сплоченности айсбергов на 2 балла требует уменьшения скорости судна на 15-20% по сравнению со скоростью его движения по чистой воде. При видимости 10 км и менее необходимо снижение скорости на 25% при наличии современных технических средств обнаружения айсбергов.

Исследование зависимости скорости движения судна от основных параметров ледяного покрова (сплоченности, толщины, заснеженности, торосистости, разрушенности, сжатия, количества айсбергов и т.д.) позволило установить закономерности влияния этих характеристик на скорость движения судна во льдах, на основании которых были определены состояния ледяного покрова, при которых теряется непрерывность движения и плавание становится неэффективным.

Непрерывное движение во льдах судов класса УЛА со скоростью не менее 4.0 узла возможно при следующих состояниях антарктического ледяного покрова.

В весенне-летний период во льду сплоченностью 9-10 баллов, разрушенностью 0-1 балл и во льду сплоченностью 10 баллов, разрушенностью не менее 2-3 баллов. В сплошном ледяном покрове меньшей разрушенности скорость уменьшается до 2-3 узлов и движение теряет непрерывный характер. При сжатии льдов до 1-2 баллов скорость резко снижается и лед становится также непроходимым.

В осенне-зимний период непрерывное движение судов класса УЛА возможно в молодых ровных слабо заснеженных льдах толщиной до 35-40 см. Непрерывность движения теряется при толщине молодого льда 25-30 см, если он всторошен, или высоте снежного пок-

рова на нем свыше 20 см. Поскольку эти явления характерны для осенне-зимнего периода, то достижение молодым льдом толщины 25-30 см свидетельствует об окончании активного плавания судов ледовой категории УЛА в антарктических льдах. Этот же критерий является справедливым и при наличии остаточных льдов сплоченностью 1-3 балла. При сплоченности остаточных льдов 4-6 и 7-10 баллов непрерывность движения теряется, когда толщина молодого льда достигает значений 10-15 и 15-20 см, соответственно.

Плавание судов ледовой категории УЛА в арктических условиях считается эффективным с начала устойчивого разрежения льдов до 7-8 баллов весной и до достижения молодым льдом толщины 25-30 см осенью. При наличии остаточных льдов сплоченностью 7-8 и 4-6 баллов сроки окончания автономного плавания судов данной категории соответствуют дате начала устойчивого ледообразования и достижения молодым льдом толщины 5-10 см (Бузуев, 1981).

Изложенное позволяет сделать заключение, что ледопроницаемость антарктических льдов выше, чем арктических. В весенне-летний период, главным образом, за счет интенсивного характера разрушения антарктических льдов, в осенне-зимний вследствие его повышенной динамичности, что приводит к развитию систем каналов и разводий. Существенно меньшая механическая прочность антарктических льдов в весенне-летний период, их слоистость и повышенная заснеженность снижают вероятность механических деформаций корпуса судна при сжатиях антарктических льдов по сравнению с арктическими.

Плавание в антарктических льдах более эффективно по сравнению с арктическими и за счет преобладания однолетних битых льдов, пониженных значений сплоченности, толщины, торосистости. Эти факторы, наряду с наличием развитых систем каналов и разводий среди дрейфующих льдов позволяют осуществлять плавание в

антарктических льдах до начала их устойчивого термического разрушения весной и после начала устойчивого ледообразования осенью. Ва счет этого естественный навигационный период расширяется.

Повышенная заснеженность антарктических льдов снижает их ледопроездимость, ее влияние на скорость движения судна в сплоченных льдах и припае при высоте снежного покрова более 40 см, что характерно для антарктических условий, соизмеримо с влиянием толщины ледяного покрова.

Оптимальные сроки начала форсирования антарктического припая судном класса УЛА, при сохранении возможности использования его грузоподъемности, определяются сроками достижения припая разрушенности 2 балла, что соответствует уменьшению толщины льда на 30 см.

Выполнен анализ зависимости скорости движения судов ледовой категории УЛ в антарктических льдах как при автономном плавании, так и при проводке их судами ледовой категории УЛА. Критерии для определения сроков начала и окончания автономного плавания судов категории УЛ для антарктических и арктических условий одинаковы. Начало навигации весной соответствует устойчивому разрежению льдов до 4-6 баллов, окончание навигации осенью - началу устойчивого ледообразования. Наличие айсбергов в антарктических водах и льдах, отдаленность районов плавания от основных морских коммуникаций предъявляют повышенные требования к обеспечению безопасности автономного плавания судов пониженного ледового класса.

В шестой главе рассмотрены условия судоходства в антарктических водах и льдах. Первый параграф посвящен вопросам методического характера, последующие четыре - характеристике ледовых условий и навигационных периодов в различных районах Кж-

ного океана.

Условия плавания определяются всем комплексом элементов ледового режима, их пространственно-временной изменчивостью, от которой, в конечном итоге, зависит разнообразие ледовых условий, сроки начала и окончания навигации, продолжительность ее различных этапов применительно к различным видам плавания.

В настоящее время основными видами плавания в антарктической области Южного океана являются промысловое и экспедиционное. Промысловое судоходство осуществляется, главным образом, в районах, свободных от льда, или в зоне редких и разреженных льдов. Поэтому естественная граница этого вида плавания определяется положением кромки дрейфующих льдов или границы сплоченных. Основной задачей экспедиционного плавания является достижение берегов Антарктиды, что неизбежно связано с перефечением ледяного покрова в меридиональном направлении.

Общие закономерности ледовых процессов определяют естественные сроки навигационного периода, начало которого в целом для Южного океана приходится на ноябрь, окончание - на март.

Пространственно-временное распределение основных показателей ледовых условий плавания и их сочетаний в течение навигационного периода носит весьма сложный характер из-за значительных различий в колебаниях площади ледяного покрова, сравнительно стабильного характера изменения относительного количества сплоченных льдов. Наиболее объективным и четким показателем условий плавания является вероятность наличия сплоченных льдов у берегов континента. Приняв этот показатель в качестве основного, все разнообразие условий плавания с ноября по март сведено к трем типам. Первый - это неблагоприятные условия плавания, при которых вероятность сплоченных льдов равна 100%; второй - благоприятные, когда вероятность сплоченных льдов

равна 75%, и к третьему типу - наиболее благоприятных условий плавания - отнесены ледовые условия, при которых вероятность наличия сплошных льдов у антарктического побережья равна 50% и менее.

Таким образом, по существу, в основу типизации условий плавания в Южном океане положена вероятность достижения берегов Антарктиды в навигационный период без риска ледового пленения судна ледовой категории УЛ.

В навигационный период благоприятные и наиболее благоприятные условия плавания наблюдаются на большей части акватории Южного океана с декабря по февраль, за исключением районов устойчивого положения ледяных массивов, западной части моря Уэдделла (район I), западной части моря Сомова (8), района ст. Русская (10) и западной части II района, в море Амундсена. Наиболее благоприятные условия плавания раньше всего формируются в районах наиболее развитых полыней, пониженной сплошенности ледяного покрова, максимальной сезонной изменчивости площади ледяного покрова, т.е. в центральной части Атлантического сектора (2), Индийском секторе, в море Содружества (5) и западной части Тихоокеанского, в море Росса (9). Неблагоприятные условия плавания наблюдаются в районах с симметричным характером сезонного разрастания и разрушения ледяного покрова; благоприятные и наиболее благоприятные в районах, где асимметрия в сезонном ходе ледовых процессов выражена четко.

Изложенная классификация отражает условия плавания не только применительно к промышленному судоходству, но и является основой для определения положения рекомендуемых маршрутов для экспедиционного, а в перспективе и коммерческого судоходства в антарктической области Южного океана.

Трассы плавания судов к антарктическому побережью проло-

жены в зонах, где ледовые условия в навигационный период характеризуются как благоприятные и наиболее благоприятные. Основными факторами, определяющими географическое положение этих трасс, являются: развитие полыней, пониженная сплошенность ледяного покрова и интенсивность очищения акватории от льда.

Важным при оценке условий плавания является определение оптимальных сроков начала и окончания плавания на каждой трассе. Эти сроки определяются ледовыми условиями, при которых плавание будет неэффективным, и возникает вероятность ледового пленения судна. В качестве единого показателя условий плавания на ледовых трассах используется отношение эксплуатационной чистой ледовой скорости судна в одиночном плавании к эксплуатационной скорости его движения по чистой воде. Это отношение называется коэффициентом трудности плавания (K_T) и применяется как объективный показатель условий судоходства в замерзающих районах Мирового океана (Гордиенко, Бузуев, Сергеев, 1967; Смирнов, 1970; Романов, 1976; Бузуев, 1981).

В качестве критерия продолжительности навигации на антарктических трассах для судов ледовой категории УЛА принято значение $K_T = 3.2$. При этом значении скорость судна составляет 4.0 узла и сохраняется непрерывный характер движения во льдах.

Основные закономерности сезонных изменений условий плавания на антарктических трассах, оцениваемых с помощью значений K_T , заключаются в следующем.

Выделяются три стадии: уменьшения K_T весной (улучшение условий плавания), минимальных и практически стабильных значений K_T летом (наиболее благоприятные условия плавания) и

увеличения K_T осенью (ухудшение условий плавания). Значения этих периодов для трасс, расположенных в различных районах, отличаются друг от друга в соответствии с региональными особенностями ледовых процессов. На всех трассах отмечается медленное улучшение условий плавания в весенне-летний период по сравнению с резким ухудшением осенью вследствие интенсивного нарастания молодого льда и наличия остаточного.

Учитывая сезонную и межгодовую изменчивость ледовых условий, навигационные характеристики определялись для трех градаций обеспеченности предельных значений коэффициента трудности плавания, 25, 50 и 100%. В соответствии с этим определялась и продолжительность навигационных периодов для каждой трассы.

Для всех ледовых трасс плавания судов класса УЛА к основным пунктам на антарктическом побережье существуют гарантированные (с природной обеспеченностью 100%) навигационные периоды.

Продолжительность гарантированных навигационных периодов судоходства в январе-феврале составляет в районах расположения ледяных массивов: Атлантического при плавании к юго-западному побережью моря Уэдделла и Балленского в район ст. Ленинградская - 50 суток; центральной части Тихоокеанского массива, в район ст. Русская, - 30 суток. Наиболее благоприятные условия плавания на этих трассах характеризуются значениями K_T , равными соответственно 1.6; 1.8; 2.0.

Плавание судов ледовой категории УЛ под проводкой судна ледовой категории УЛА на этой стадии гарантированного навигационного периода возможно только к юго-западному побережью моря Уэдделла. Обеспеченность автономного плавания судов категории УЛ не превышает 50%. Самостоятельный подход судов ле-

довой категории УЛ в районы станций Ленинградская и Русская невозможен.

Продолжительность гарантированного навигационного периода при плавании в море Лазарева, район ст. Новолазаревская в декабре-марте составляет 120 суток ($K_T=1.5$), в море Космонавтов, в район ст. Молодежная в ноябре-марте - 140 суток ($K_T=1.5$) и в море Дейвиса, в район ст. Мирный, в октябре-апреле равна 190 суткам ($K_T=1.2$).

Приведенные значения K_T характеризуют условия плавания на наиболее благоприятной стадии гарантированных навигационных периодов. На этих стадиях автономное плавание судов ледовой категории УЛ в район ст. Новолазаревская возможно с обеспеченностью менее 50%, в район ст. Молодежная - 50-60% и в район ст. Мирный - 80%.

Использование гарантированных навигационных периодов при планировании и осуществлении плавания судов ледовой категории УЛА к Антарктическому континенту по рекомендуемым трассам практически обеспечивает успешное выполнение морских антарктических операций, что подтверждается 10-летней практикой плавания экспедиционных судов Советской антарктической экспедиции.

Шестая глава заканчивается рассмотрением наиболее важных обстоятельств, связанных с вынужденным дрейфом ЛЭС "Михаил Сомов" во льдах Тихоокеанского ледяного массива зимой 1985 г. и операциями по его освобождению, предпринятыми с помощью л/к "Владивосток".

Подтверждено, что одной из основных физико-географических особенностей антарктического ледяного покрова является его ярко выраженная динамичность в зимний период, которая приводит к образованию хорошо развитых систем разводий и ка-

налов. Это допускает принципиальную возможность активного плавания ледоколов подобного класса в зимний период во льдах антарктических ледяных массивов при условии современной постановки научно-оперативного обеспечения таких плаваний.

Показана возможность выбора стратегии плавания во льдах на основе информации ИСЗ, и решения тактических вопросов на основе результатов вертолетной авиаразведки в условиях полярной ночи. Это обеспечило высокий уровень научно-оперативного обеспечения уникальной операции и ее успешность.

В заключении подводятся общие итоги работы, рассматриваются перспективы дальнейшего изучения морских антарктических льдов в плане решения актуальных научных проблем и прикладных задач, направленных на дальнейшее совершенствование и повышение эффективности научно-оперативного обеспечения мореплавания в Южном океане.

Основные результаты диссертации изложены в следующих работах:

1. О средних толщинах дрейфующих льдов в восточной части антарктических вод // Информ. бкл. Сов. антаркт. экспед. - 1969. - № 73. - С. 22-26.

2. Особенности распределения толщины припая в районе обсерватории Мирный // Информ. бкл. Сов. антаркт. экспед. - 1969. - № 75. - С. 43-47.

3. Ледопроницаемость д/э "Обь" в морских антарктических льдах // Информ. бкл. Сов. антаркт. экспед. - 1969. - № 75. - С. 48-52.

4. Эффективность прокладки канала в припаяе Мирного и оптимальные сроки его форсирования // Информ. бкл. Сов. антаркт. экспед. - 1970. - № 76. - С. 30-36.

5. Особенности дрейфа льда в прибрежной зоне Восточной

Антарктики // Информ. бкл. Сов. антаркт. экспед. - 1970. - № 77. - С. 85-89.

6. Изучение ледовых условий плавания советских экспедиционных судов в Антарктике // Информ. бкл. Сов. антаркт. экспед. - 1970. - № 80. - С. 54-59.

7. Учет влияния ледовых условий на плавание экспедиционных судов в водах Восточной Антарктики. - Л.: Препринт Аркт. и антаркт. н.-и. ин-та. - 1972. - 88 с.

8. Оптимальные ледовые трассы и продолжительность навигации в водах Восточной Антарктики // Тр. Сов. антаркт. экспед. - 1973. - Т. 59. - С. 77-85.

9. Результаты наблюдений за ледопроницаемостью судов // Тр. Сов. антаркт. экспед. - 1973. - Т. 59. - С. 86-94.

10. Об основных особенностях распределения льдов в морях, омывающих Восточную Антарктиду // Информ. бкл. Сов. антаркт. экспед. - 1973. - № 89. - С. 62-66.

11. О размерах айсбергов в Восточной Антарктике // Информ. бкл. Сов. антаркт. экспед. - 1974. - № 89. - С. 62-66.

12. Ледовые условия плавания в водах Антарктики (научное обоснование и рекомендации). - Л.: Гидрометеосдат. - 1976. - 159 с.

13. Некоторые закономерности формирования Балленского ледяного массива и дрейф д/э "Обь" // Тр. Сов. антаркт. экспед. - 1978. - Т. 68. - С. 87-95.

14. Особенности ледового режима Южного океана и их связь с атмосферной циркуляцией // Тр. ААНИИ. - 1979. - Т. 363. - С. 40-46.

15. О сезонной и межгодовой изменчивости основных элементов ледового режима Южного океана // Тр. ААНИИ. - 1979. - Т. 363. - С. 100-108.

16. Основные закономерности развития ледовых процессов в Южном океане // Тез. докл. II Всесоюз. съезда океанологов. - Севастополь, 1982. - Вып. 3. - С. 72-73.

17. Научно-оперативное обеспечение Советских антарктических экспедиций // Тр. Международного симпозиума по логистике. ХУП конференция СКАР, Л. - 1982. - С. 89-93.

18. Льды Южного океана и условия судоходства. - Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 88 с.

19. Ледовый режим и условия плавания // Гидрометеорологическое обеспечение судоходства в Южном океане. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - С. 40-67.

20. Морские льды и айсберги Южного океана // Материалы гляциологических исследований. - М., 1985. - Вып. 52. - С. 62-66.

21. Основные закономерности развития ледовых процессов в Южном океане // Пробл. Арктики и Антарктики. - 1986. - Вып. 62. - С. 28-35.

22. О пространственной изменчивости толщины припая и высоты снежного покрова // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. - 1970. - № 76. - С. 37-42. (Совместно с В.И.Улитиным).

23. Ледовые условия плавания в море Росса и заливе Мак-Мердо // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. - 1977. - № 94. - С. 31-36. (Совместно с Д.Р.Соболевой).

24. К вопросу об оценке некоторых характеристик антарктических льдов // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. - 1980. - № 101. - С. 88-92. (Совместно с В.Н.Ботниковым, Г.Н.Войновым, И.М.Кузнецовым).

25. Особенности сжатия льда в Антарктике // Тр. ААНИИ. - 1981. - Т. 372. - С. 129-134. (Совместно с В.А.Воеводиным).

26. Ледовый режим. География мирового океана. Северный

Ледовитый и Южный океаны. Л.: Наука, 1985. - С. 325-331. (Совместно с Э.И.Саруханяном).

27. Автоматизированная ледово-информационная система для целей научно-оперативного обеспечения судоходства в Южном океане // Тр. ААНИИ. - 1986. - Т. 403. - С. 186-199. (Совместно с В.А.Студитским).

28. Особенности строения и физико-механические свойства морского антарктического льда // Межведомственная экспедиция по программе ПОЛЭКС-Юг-81. - Л.: Гидрометеиздат, 1986. - С. 133-149. (Совместно с Ю.Л.Назинцевым).

И.А.Иванов