З. К. АБУЗЯРОВ, Ю. И. ШАМРАЕВ

МОРСКИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИИ И ПРОГНОЗЫ

292035

Под редакцией
канд. физ.-мат. наук М. Г. ГЛАГОЛЕВОЙ

Допущено
Главным управлением гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР в качестве учебника для гидрометеорологических техникумов

Ленинградский
Гидрометеорологический ин-т
БИБЛИОТЕКА
Л-д 195196 Малоохтинский пр., 98

ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ · ЛЕНИНГРАД · 1974

УДК 551.466.33+467.3.03

В книге дается представление об организации сбора информационных сведений о текущем состоянии моря, их обработке в органах службы морских гидрометеорологических прогнозов, о порядке и формах оперативного гидрологического обслуживания народного хозяйства, о фондах научно-оперативных материалов и современных методах морских гидрологических прогнозов.

Книга предназначена в качестве учебника для учащихся гидрометеорологических техникумов, но может служить также пособием для повышения квалификации работников морских гидрометеорологических станций.

The problems of sea state data collection managing, its processing in the marine forecasting services, order and forms of operational hydrological service to the national economy, funds of scientific and operational materials and current methods for marine hydrological forecasts are dealt with.

The book is intended for students of technical schools and can also serve as an aid for the specialists of marine hydrometeorological stations to improve their skills.

А $\frac{20806\text{-}103}{069(02)\text{-}74}$ 8-74

© Гидрометеоиздат, 1974 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящем учебнике, предназначенном для учащихся гидрометеорологических техникумов, излагаются основные сведения о порядке сбора материалов гидрометеорологических наблюдений на океанах и морях, их обработке и использовании для оперативного гидрологического обеспечения морских отраслей народного хозяйства нашей страны, о фонде научно-оперативных материалов и методах морских гидрологических прогнозов.

В работе над книгой авторы пользовались материалами методических разработок ордена Ленина Гидрометеорологического научно-исследовательского центра СССР и научно-исследовательских институтов Гидрометеорологической службы СССР, а также использовали опыт оперативной работы бюро погоды Черного и Азовского морей УГМС Украинской ССР, Архангельского бюро погоды Северного УГМС и ряда других местных оперативных органов Гидрометслужбы.

Были также использованы учебные пособия и учебники Н. А. Белинского, К. И. Кудрявой, А. А. Зверева и др.

Введение и первый раздел «Морские гидрологические информации» написаны Ю. И. Шамраевым, второй раздел «Понятия о морских гидрологических прогнозах» — З. К. Абузяровым.

ВВЕДЕНИЕ

§ 1. ЗАДАЧИ И ЗНАЧЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Гидрологическое обслуживание (обеспечение) морских отраслей народного хозяйства является основной задачей службы морских прогнозов, история которой неразрывно связана с практической деятельностью человека. С развитием судоходства и строительства различных гидротехнических сооружений на морях росли и изменялись требования, предъявляемые к гидрологическому обеспечению, заключающемуся в предоставлении народнохозяйственным организациям гидрологических обзоров, информаций и прогнозов. Обзорами обычно называют сведения о состоянии моря в прошлом, информациями — о состоянии моря в текущий момент, прогнозами — научно обоснованные сведения о состоянии моря в будущем. Все виды гидрологического обслуживания имеют большое значение для мореплавания, рыбного промысла, строительства гидротехнических сооружений и для обороны страны.

Наша страна имеет значительный транспортный и промысловый флот и многочисленные морские порты. Государственный пятилетний план развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 гг. предусматривает дальнейшее увеличение численности судов, объема и дальности морских перевозок, освоение новых районов промысла, сооружение новых морских портов.

В соответствии с ростом требований к гидрологическому обеспечению из года в год расширяются исследования гидрологического режима океанов и морей. Например, с июня по сентябрь 1972 г. в Атлантическом океане проводилась междуведомственная экспедиция по программе Тропического эксперимента (ТРОПЭКС-72), в которой участвовало шесть крупнейших научно-исследовательских судов Гидрометслужбы СССР, Академии наук СССР и других ведомств.

Если для проектирования гидротехнических сооружений необходимы сведения о многолетнем режиме моря (средние и экстремальные значения гидрологических элементов, их повторяемость и обеспеченность), то для судоходства помимо информации о текущей погоде и состоянии моря большое значение имеют прогнозы эле-

ментов волн, течений и т. д. Велика роль долгосрочных ледовых прогнозов, особенно для планирования навигации в Арктике, где ежегодно экономическая эффективность их использования составляет более миллиона рублей.

В настоящее время помимо обеспечения безопасности плавания важное значение имеет его максимальная эффективность. Морские суда в зависимости от типа и тоннажа при сильной волне теряют 10—15% своей скорости. В связи с этим в 1964 г. Советское правительство обязало Гидрометслужбу обеспечить транспортные и промысловые суда рекомендациями о наиболее выгодных курсах плавания, что явилось качественно новой формой гидрологического обеспечения судоходства. Сейчас эта форма обеспечения получила широкое распространение среди судоводителей.

Большую нужду в прогнозах волнения, течений и температуры воды в морях и океанах испытывает рыбная промышленность. Особенно чувствительны к условиям погоды небольшие рыболовецкие суда, которые круглый год работают в море. Для таких судов наиболее опасны осенне-зимние штормы, приводящие к обледенению.

Рыбная и нефтяная промышленность проявляет большой интерес к будущему состоянию наших южных морей. Так, недавно по запросу проектных организаций был составлен сверхдолгосрочный прогноз уровня Каспийского моря (на 2000-й год) с учетом забора воды из Волги и других рек на хозяйственные нужды и сброса вод северных рек в Каспийское море. Буровые вышки и эстакады, сооружаемые в пределах шельфа для добычи нефти, газа и других полезных ископаемых, также нуждаются во всестороннем гидрологическом обслуживании. При строительстве гидротехнических сооружений и промысле в прибрежной зоне крайне важны прогнозы волнения, течений, колебания уровня и ледовых явлений.

Большое значение имеет гидрологическое обеспечение Военно-Морского Флота. Разработка методов прогноза колебаний уровня, течений, сроков наступления различных ледовых явлений была одним из наиболее важных видов деятельности морских прогнозистов в годы Великой Отечественной войны (1941—1945). Так, прогнозы дрейфа мин спасли множество человеческих жизней и предотвратили гибель большого количества судов. Огромную роль сыграли морские гидрологические прогнозы при проведении десантных операций. В последние годы в связи с развитием атомного подводного флота к гидрологическому обеспечению предъявляются новые требования. Важную роль стали играть прогнозы вертикального распределения температуры воды, слоя скачка температуры и т. п.

Исключительно большое значение имеют своевременные предупреждения народнохозяйственных организаций, партийных и советских органов об опасных и особо опасных гидрологических явлениях (катастрофические сгоны и нагоны, цунами, тягун, обледенение судов и др.). Например, в августе 1970 г. Приморское

управление гидрометслужбы составило три особо эффективных предупреждения об ураганном ветре и опасном волнении в промысловых районах с заблаговременностью 7—26 часов, что дало экономический эффект около 7 млн. руб.

Удачно обслуживаются перегоны плавучих кранов и доков из портов Черного моря в порты дальневосточных морей через Панамский канал и вокруг Африки. Только в 1971 г. было успешно обслужено 22 экспедиции по буксировке различных несамоходных плавсредств.

Таким образом, Гидрометслужба СССР выполняет всестороннее гидрологическое обеспечение народнохозяйственных организаций. Эффективность этого обслуживания возрастает из года в год по мере совершенствования методов морских прогнозов и улучшения взаимодействия между органами службы морских прогнозов и обслуживаемыми организациями.

§ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЙ «МОРСКИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИИ» И «МОРСКИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ»

Морской гидрологической информацией называют, во-первых, материалы гидрологических наблюдений в океанах и морях, во-вторых, — комплекс оперативной работы органов службы морских прогнозов по обеспечению народного хозяйства сведениями о состоянии моря в текущие сутки или за истекший период небольшой продолжительности (до 10 суток), что позволяет оценить гидрологическую обстановку на море (волнение, течение, температура воды и распределение льдов и т. д.). Без учета состояния моря в данный момент невозможно составить прогноз гидрологической обстановки на будущее.

Слово «прогноз» (от греческого πρόγνωσις — прогнозис: πρό — вперед и γνωσις — узнавание) в буквальном смысле означает заблаговременное знание, предвидение или предсказание развития явлений. Великий русский ученый М. В. Ломоносов употреблял слово «предзнание» в том же значении, в каком мы пользуемся термином «прогноз».

Морские гидрологические прогнозы — научно обоснованное предсказание изменений гидрологических характеристик — представляют собой предвычисление во времени определенного явления или элемента гидрологического режима моря, основанное на знании законов физики гидросферы и атмосферы и учитывающее местные физико-географические условия. В прогнозах дается количественная или качественная характеристика предсказываемого явления и время его наступления в конкретном районе или пункте.

Составление и выпуск прогнозов являются наиболее ответственным и важным этапом работы органов службы морских прогнозов. Запросы народнохозяйственных организаций в области морских прогнозов чрезвычайно велики и возрастают с каждым днем.

§ 3. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСТОРИИ МОРСКИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИЙ И ПРОГНОЗОВ В СССР И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

Попытки предсказать наступление того или иного явления на море предпринимались давно, но они долго не выходили за рамки догадок, что было обусловлено низким уровнем развития физики гидросферы и атмосферы, являющейся теоретической базой для разработки научно обоснованных морских гидрологических прогнозов.

Первое предупреждение о шторме на Балтийском море было дано в 1874 г. Главной физической обсерваторией (с 1924 г. — Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова). Для Черного и Азовского морей такие предупреждения стали составляться с 1886 г. Служба погоды в портах России была организована в 1909—1913 гг. В 1913 г. попытку разработать специальный метод прогноза положения кромки льдов Баренцева моря предпринял Э. Ф. Лесгафт, а в 1915 г. ледовый прогноз был составлен Б. П. Мультановским.

С первых же лет установления Советской власти широко развернулись исследования по разработке методов морских гидрологических прогнозов. Уже с 1923 г. В. Ю. Визе начал давать прогнозы состояния льда для Баренцева, а затем и для Карского моря.

В связи с организацией в 1932 г. Главного управления Северного морского пути перед Арктическим научно-исследовательским институтом была поставлена задача обеспечить бесперебойную и безопасную навигацию на арктических морях долгосрочными и краткосрочными прогнозами.

В 1937 г. в Центральном институте погоды (с 1943 г. — Центральный институт прогнозов) была создана специальная оперативная группа с целью обеспечить заинтересованные организации морскими информациями и прогнозами. С 1938 г. Центральный институт погоды начал издавать информационные бюллетени с обзорами и прогнозами погоды на морях.

Гидрологическое обеспечение местных организаций было возложено на специально созданные при местных бюро погоды группы морских прогнозов. После Первого всесоюзного совещания по морским прогнозам (1938 г.) в Государственном гидрологическом институте началась разработка методов прогнозов колебаний уровня моря, течений и температуры воды.

Много труда в развитие морских гидрологических прогнозов вложили советские ученые В. Ю. Визе, Н. Н. Зубов, В. В. Шулейкин, Н. А. Белинский и др. В. Ю. Визе установил связь между гидрометеорологическими процессами в отдельных районах нашей планеты, Н. Н. Зубов предложил ряд методов прогноза толщины льда и дрейфа льда, В. В. Шулейкин показал роль океана в формировании климата. Его работа по тепловому балансу Карского моря стала основополагающей для разработок методов прогноза температуры воды и ледовых явлений.

В годы Великой Отечественной войны Гидрометслужба СССР целиком перестроилась на обслуживание фронта. Наши морские прогнозисты внесли существенный вклад в обеспечение боевых действий Военно-Морского Флота.

Начиная с 50-х годов наряду с разработкой новых и усовершенствованием старых методов долгосрочных прогнозов начали разрабатываться методы краткосрочных прогнозов и расчетов гидрологических элементов.

В области долгосрочных ледовых прогнозов большую работу выполнили Н. А. Белинский, Ю. П. Доронин, Я. А. Тютнев, А. И. Каракаш, Ю. В. Истошин и др. В их работах учитывались предшествующие и сопутствующие ледовым явлениям гидрологические условия.

Методы долгосрочных прогнозов температуры воды разработаны Н. А. Белинским, А. И. Каракашем, Г. Н. Милейко, В. Ф. Шапкиной и др. Они базируются на учете теплозапаса воды в море и интенсивности атмосферной циркуляции, косвенно учитывающей адвекцию тепла в гидросфере. В. А. Цикуновым, П. С. Линейкиным, Б. А. Каганом был предложен ряд методик расчета температуры воды, базирующихся на физико-математических законах.

К. И. Смирнова и О. И. Шереметевская уточнили метод долгосрочного прогноза уровня Каспийского моря, предложенный ранее Н. А. Белинским и Г. П. Калининым.

В основу разработанной методики расчета элементов волн был положен энергетический метод, предложенный А. И. Маккавеевым. В прогностической практике широко используются расчеты и прогнозы волнения на базе исследований В. В. Шулейкина, Л. Ф. Титова, И. С. Бровикова, Ю. М. Крылова, К. М. Сиротова и др.

Велика роль Второго всесоюзного совещания по морским прогнозам, состоявшегося в ноябре 1963 г. в Центральном институте прогнозов, на котором Н. А. Белинским были сформулированы основные задачи морских информаций и прогнозов в связи с необходимостью обеспечения морского флота рекомендациями о наиболее выгодных и безопасных путях плавания судов в океане.

В начале 60-х годов разработке численных (гидродинамических) методов прогноза способствовало внедрение в практику электронных вычислительных машин (ЭВМ). Было начато обеспечение круглогодичной навигации в крупнейших замерзающих портах страны, вошли в практику факсимильные передачи карт состояния льдов.

Развитие морского транспорта и межконтинентальных полетов потребовало дальнейшего развития международного сотрудничества в области службы погоды. Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО), членом которой является СССР, осуществила ряд мероприятий по созданию Всемирной службы погоды (ВСП), которая опирается на три мировых центра: Вашингтон, Москва, Мельбурн. В 1965 г. Центральный институт прогнозов и Мировой

метеорологический центр были объединены в единую организацию — Гидрометеорологический научно-исследовательский центр СССР (Гидрометцентр СССР), на которую были возложены и функции Общесоюзного регионального и Мирового метеорологического центров.

В отделе морских прогнозов Гидрометцентра СССР выполнены работы, в которых рассматривается одновременное воздействие основных гидрометеорологических факторов на ряд взаимосвязанных процессов в гидросфере. В основу этих работ легли результаты наблюдений за изменениями гидрометеорологических элементов во времени на многосуточных и буйковых станциях. Это дало возможность разработать ряд оперативных способов краткосрочных прогнозов высот волн, непериодических колебаний уровня, морских течений, температуры воды и ледовых условий для отдельных океанов и морей. Были получены зависимости, применяемые для расчета и прогноза ряда элементов гидрологического режима по атмосферному давлению и начальным данным. Этот прием имеет большое преимущество по сравнению с ранее применявшимся, когда для каждого элемента брались свои независимые переменные. Прогностические уравнения были найдены методом множественной корреляции с помощью ЭВМ.

Сейчас методы морских гидрологических прогнозов развиваются в двух направлениях:

1) определение будущего состояния гидросферы на основе решения уравнений гидро- и термодинамики;

2) исследование режима океана и атмосферы в целях установления эмпирико-статистических зависимостей между явлениями.

Значительное число существующих методов разрабатывалось по второму направлению, что можно объяснить недостаточным развитием теории и отсутствием необходимых наблюдений. Первое направление является наиболее перспективным, так как оно дает возможность выявить физическую сущность океанических и атмосферных процессов.

Для широкого внедрения в прогностическую практику гидродинамических методов необходимы интенсивные исследования в области взаимодействия океана и атмосферы. Для этого нужны длительные циклы наблюдений по достаточно густой сети станций на обширных просторах Мирового океана. Эти мероприятия возможно осуществить в рамках международного сотрудничества. Так, в результате выполнения работ в Атлантике по программе Тропического эксперимента в 1974 г. будет собрана уникальная метеорологическая и океанологическая информация, которая не может быть получена ни одним государством самостоятельно, по крайней мере в ближайшие 10 лет. В результате морские прогнозисты получат возможность существенно улучшить работу по обеспечению народнохозяйственных организаций гидрологической информацией и прогнозами. Многие проблемы прогнозирования поможет решить дальнейшее совершенствование системы сбора, обработки и распространения информации.

§ 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МОРСКИХ ОТРАСЛЕЙ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА В СССР

Гидрометеорологическое обеспечение морских отраслей народного хозяйства и Военно-Морского флота страны всеми видами гидрометеорологических материалов возложено на Гидрометслужбу СССР.

Гидрометеорологическое обеспечение осуществляют научно-оперативные отделы научно-исследовательских институтов (НИИ) и оперативные органы УГМС (районные радиометеорологические центры, бюро погоды, гидрометеорологические обсерватории, бюро и станции, авиационные метеорологические станции, научно-исследовательские суда погоды и синоптические группы на судах Министерства морского флота и Министерства рыбного хозяйства) в соответствии с Руководством по гидрометеорологическому обеспечению морских отраслей народного хозяйства (Л., Гидрометеоиздат, 1972) и действующей схемой деления акватории океанов и морей на зоны ответственности за гидрометеорологическое обеспечение.

Основными НИИ ГУГМС, ответственными за общее состояние и развитие гидрометеорологического обслуживания морских отраслей народного хозяйства и обеспечивающими научно-методическое руководство морскими отделами УГМС, являются Гидрометцентр СССР, Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ), Государственный океанографический институт (ГОИН) и Дальневосточный научно-исследовательский гидрометеорологический институт (ДВНИГМИ).

Служба прогнозов в СССР организована по административно-территориальному принципу. В нашей стране действует более 30 территориальных (республиканских и межобластных) бюро погоды. В каждом УГМС имеются бюро погоды, в состав которых входят отделы гидрологических прогнозов, составляющие прогнозы и предупреждения об опасных и особо опасных явлениях и осуществляющие обслуживание местных организаций.

Для гидрометеорологического обеспечения вновь создаваемых крупных производственных и хозяйственных органов (морские пароходства, управления рыбной промышленности, нефтепромыслы и т. п.) ГУГМС на основании предложений соответствующих министерств и ведомств организует новые оперативные и сетевые подразделения или проводит реорганизацию существующих органов.

Гидрометеорологическое обеспечение всех морских организаций осуществляется, как правило, бесплатно, за исключением тех случаев, когда для обслуживаемых организаций необходимо проведение дополнительных работ, связанных с большими затратами.

Гидрометслужба СССР, являясь членом ВМО, всемерно содействует морским организациям страны и их интересам при решении вопросов международного гидрометеорологического обеспечения морского флота и рыбного промысла.

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

МОРСКИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИИ

ГЛАВА I

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕКУЩЕМ СОСТОЯНИИ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

§ 1. ИНФОРМАЦИОННАЯ СЕТЬ

Источником получения систематических сведений о текущем состоянии моря являются наблюдения береговых и судовых гидрометеорологических станций, кораблей погоды, автономных буйковых станций, авиационные океанографические наблюдения и наблюдения с искусственных спутников Земли (ИСЗ).

Информационная сеть организуется таким образом, чтобы нормальная оперативная работа по обслуживанию различных отраслей народного хозяйства могла осуществляться при возможно меньшем числе информационных пунктов. При этом руководствуются:

1) запросами народнохозяйственных организаций;

2) репрезентативностью (показательностью наблюдений) информационных пунктов;

3) особенностями гидрологического режима и размерами моря, залива, пролива;

4) наличием средств связи (телеграф, телефон, радио).

Репрезентативность информационных пунктов устанавливается на основе анализа материалов многолетних наблюдений. Пункт считается репрезентативным, если он правильно характеризует режим того района моря, который имеет определенное значение для деятельности обслуживаемых организаций.

Информационная сеть подразделяется на местную и центральную. В местную входят станции и посты, подающие сведения в органы службы морских гидрологических прогнозов местных управлений Гидрометслужбы, в ведении которых они находятся. К центральной информационной сети относятся станции, подающие сведения в Гидрометцентр СССР. Эта сеть является частью информационной сети местных управлений.

Состав информационной сети определяется ежегодно теми подразделениями (бюро погоды, гидрометбюро), которые получают

информационные сведения. При этом учитывается потребность обслуживаемых организаций.

Береговые гидрометеорологические станции и посты дают информацию, характеризующую гидрометеорологический режим прибрежных районов морей и океанов. Этот вид информации долгое время оставался основным в оперативной работе органов службы морских прогнозов.

Судовые гидрометеорологические станции организуются на судах Министерства морского флота, Министерства рыбной промышленности и других ведомств. Массовая судовая сеть в СССР начала создаваться в 1947 г., а уже в 1966 г. число судовых станций превысило 800. Однако пункты наблюдений судовой сети расположены в океанах и морях весьма неравномерно.

Начиная с 1921 г. предпринимались попытки организовать сеть океанских кораблей погоды в целях всестороннего изучения атмосферных процессов над океаном для улучшения прогнозов погоды. В настоящее время постоянные наблюдения в Северной Атлантике ведут около десяти кораблей погоды. Данные этих наблюдений используются многими метеорологическими и океанографическими центрами в оперативной прогностической работе. В 1969 г. Советский Союз также приступил к наблюдениям за состоянием атмосферы и моря с кораблей погоды. В программу этих наблюдений входит:

а) проведение стандартных и специальных метеорологических, аэрологических, океанографических и других геофизических наблюдений в определенных районах Мирового океана для получения оперативных данных;

б) сбор от зарубежных центров и искусственных спутников Земли недостающей гидрометеорологической информации для использования ее в оперативной работе непосредственно на судне и передачи в береговые органы Гидрометслужбы;

в) оперативное обслуживание мореплавания, рыболовства, авиации в зоне действия кораблей погоды информацией о текущем состоянии атмосферы и океана, прогнозами, штормовыми предупреждениями, рекомендациями и т. п.

Работа сети кораблей погоды в Северной Атлантике показала, что стационарные наблюдения в этом районе имеют большую научную и практическую ценность, и поэтому еще в 1967 г. ВМО предложила распространить полученный опыт на экваториальные районы и южное полушарие.

С 50-х годов широкое распространение при изучении гидрометеорологического режима Северного Ледовитого океана получили дрейфующие автоматические радиометеорологические станции (ДАРМС) и дрейфующие радиомаяки (радиовехи). С их помощью в ААНИИ получают информацию о дрейфе льдов и состоянии погоды в Арктическом бассейне.

К информационным сведениям, используемым в работе органов службы морских прогнозов, относятся также данные глубоководных гидрологических наблюдений, получаемые научно-исследова-

тельскими судами Гидрометслужбы СССР и других ведомств. В настоящее время только в системе Гидрометслужбы насчитывается более 150 хорошо оборудованных судов. Много судов имеется в Министерстве рыбной промышленности, Академии наук СССР и других ведомствах. Эти суда ведут большой комплекс исследований в Мировом океане.

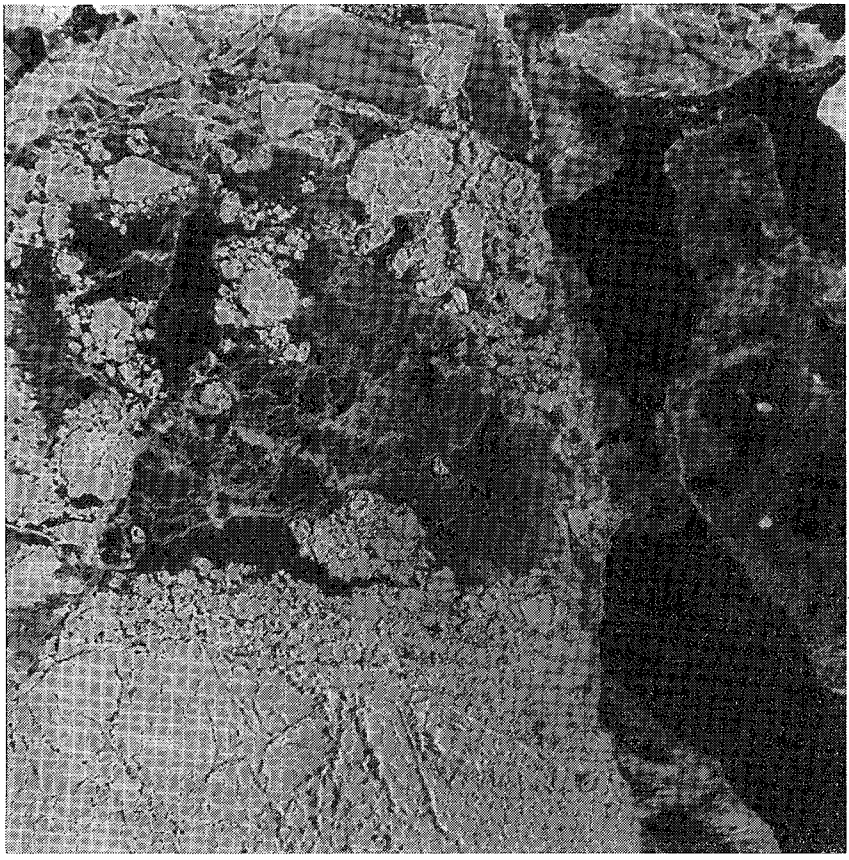


Рис. 1. Различные стадии развития льда — от темного ниласа до белого торосистого.

Для дальнейшего усовершенствования методов морских гидрологических прогнозов необходимы длительные циклы наблюдений в океане по достаточно густой сети. Из-за невозможности по техническим причинам осуществить такие работы на больших пространствах Мирового океана приходится выполнять исследования на отдельных полигонах, сочетая работу нескольких экспедиционных судов с постановкой возможно большего числа буйковых станций с автономно работающими самописцами гидрологических элементов. Для получения регулярной информации о фактических

гидрометеорологических условиях в океане необходима организация сети автоматических буйковых станций (АБС), которые будут передавать по радио результаты наблюдений на берег, в центры их сбора. В качестве ретрансляторов этой информации могут быть использованы искусственные спутники Земли.

Международной океанографической комиссией при ЮНЕСКО и ВМО создана новая программа международного научного со-

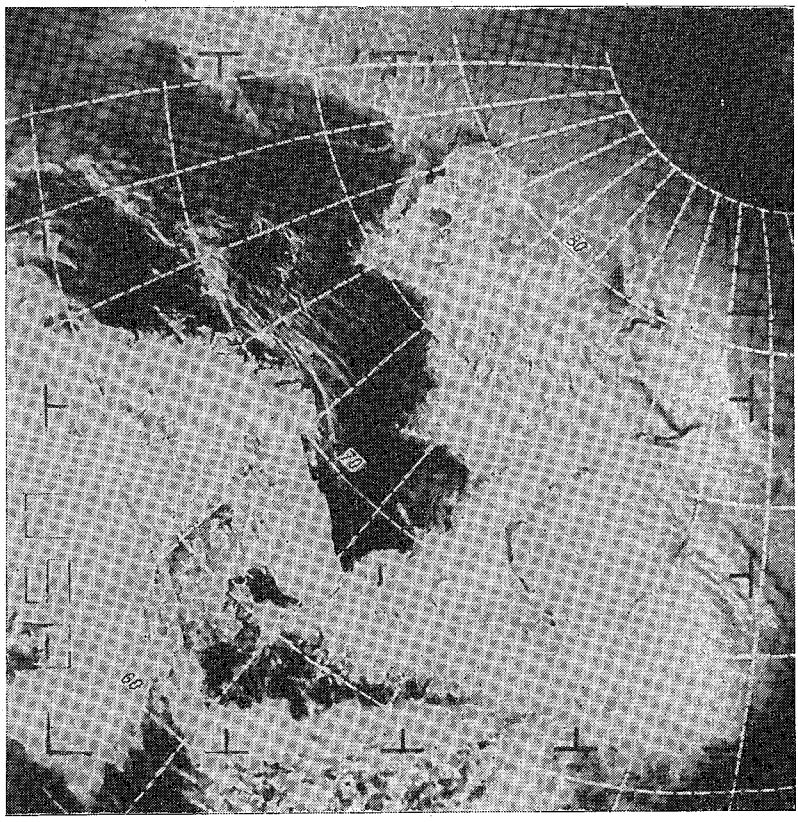


Рис. 2. Кромка льда в Баренцевом и Белом морях 13 апреля 1969 г. (снимок с американского спутника ЭССА-6).

трудничества — Объединенная глобальная система океанических станций (ОГСОС), в которой участвует 26 стран. С 1972 г. между странами начато осуществление обмена информацией о состоянии океана (данные о вертикальном распределении температуры воды, получаемые научно-исследовательскими судами, плавучими маяками и кораблями погоды в Северной Атлантике). Переданные с судов на берег данные поступают на обрабатывающую станцию. С помощью Глобальной системы телесвязи, организованной ВМО, каждая страна получает информацию о состоянии океана. Пред-

полагается, что в дальнейшем ОГСОС должна стать в области океанографии эквивалентом Всемирной службы погоды.

В последние годы расширилось применение авиации для проведения гидрологических наблюдений. Использование самолетов для ледовых наблюдений дает возможность заснять почти мгновенную картину состояния и распределения льдов в море. Большую ценность представляют фотоснимки ледяного покрова, сделанные с самолетов (рис. 1). В 1965 г. в СССР начаты авиасъемки температуры поверхности морей с помощью радиационных термометров. Если авиаразведка льда имеет большое значение для судоходства, то авиасъемка температуры воды играет важную роль в оперативном обслуживании рыбопромысловых организаций. На базе накопленных материалов авиасъемок можно осуществить построение и проверку зависимостей для расчета температуры воды. Авиация может также применяться для производства съемок поверхностных течений и волнения моря.

С каждым годом возрастает роль информации, получаемой с искусственных спутников Земли и автоматических межпланетных станций. У прогнозиста появилась возможность получать регулярную информацию о зонах штормового волнения и ледовых условиях на обширной акватории океанов. Так, например, по снимкам с ИСЗ можно определить местоположение кромки льда (рис. 2), зоны сплоченных и разреженных льдов, местоположение тропических циклонов и т. д. Расширение комплекса гидрометеорологических наблюдений из космоса повышает эффективность гидрометеорологического обслуживания народного хозяйства.

§ 2. СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК СБОРА ИНФОРМАЦИОННЫХ СВЕДЕНИЙ О ТЕКУЩЕМ СОСТОЯНИИ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

Для обеспечения сравнимости и однородности всех морских гидрологических наблюдений их проводят в строгом соответствии с Наставлениями. Выполнив установленный объем наблюдений и обработав полученные результаты, наблюдатели передают их в зашифрованном виде по различным каналам связи (телеграф, радио и т. п.) в органы службы морских гидрологических прогнозов.

Содержание информационных сведений о текущем состоянии морей и океанов, поступающих в оперативные органы службы морских прогнозов, определяется в основном действующими кодами.

Информационные телеграммы, поступающие с сети береговых гидрометеорологических станций и постов, содержат следующие сведения:

1) индекс станции, дату и срок наблюдения;
2) направление и скорость ветра;
3) видимость в сторону моря;
4) температуру воды и воздуха;
5) состояние уровня моря;
6) волнение моря и морской прибой;
7) состояние ледяного покрова.

Эти сведения за все сроки наблюдений (3, 9, 15 и 21 час московского времени) передаются в органы службы морских прогнозов по телеграфу или радио. Сведения о льдах сообщаются один раз в сутки за первый срок наблюдений в светлое время суток.

Информационные телеграммы, поступающие с судовых гидрометеорологических станций, содержат следующие сведения:

1) координаты судна, дату и срок наблюдений;
2) направление и скорость ветра;
3) горизонтальную видимость;
4) погоду в срок наблюдений и между сроками;
5) атмосферное давление и температуру воздуха;
6) облачность;
7) перемещение судна;
8) температуру поверхности моря;
9) ветровое волнение и зыбь;
10) состояние ледяного покрова.

Эта информация передается в органы службы морских прогнозов по радио с рейсовых судов за четыре срока, а с кораблей погоды — за восемь сроков (по гринвичскому времени).

Информационные телеграммы, поступающие с научно-исследовательских судов, выполняющих глубоководные гидрологические наблюдения, содержат следующие сведения:

1) координаты и время наблюдений;
2) глубину моря и горизонты наблюдений;
3) температуру, соленость и течения на различных горизонтах.

Авиационные наблюдения за ледяным покровом и температурой поверхностного слоя воды передаются после посадки самолета по телефону или телеграфу. При наличии на самолете передающей фототелеграфной аппаратуры карта распределения льда и температуры воды может быть передана непосредственно с борта самолета. Полный отчет об авиаразведке высылается почтой.

Для составления морских гидрологических прогнозов в настоящее время широко используются телевизионные изображения облачного покрова и поверхности океана, получаемые с борта метеорологических искусственных спутников Земли. По данным снимков составляются ледовые карты, которые передаются с помощью фототелеграфной аппаратуры.

Все информационные сведения подразделяются на регулярные и эпизодические. К регулярным сведениям относятся ежедневные сведения о состоянии погоды и моря, поступающие систематически в течение всего года или определенного сезона с береговых и судовых гидрометеорологических станций, а также с ИСЗ.

К эпизодическим относятся внеочередные сведения об особо опасных гидрометеорологических явлениях на морях и океанах, а также специально запрашиваемые сведения, необходимые для обслуживаемых организаций или для уточнения характера развития явления в непредусмотренные планом обслуживания сроки.

Информационные сведения должны быть полными и достоверными. Допустимая ошибка наблюдений должна составлять определенный процент от изменения величины данного элемента между сроками наблюдений. Так, при анализе временной и пространственной изменчивости элементов установлено, что для 90%-ной обеспеченности прогноза или расчета относительная ошибка не должна превышать 10% величины изменения элемента между сроками наблюдений.

В настоящее время морская гидрометеорологическая информация с береговых станций и постов поступает в морские территориальные центры (МТЦ). Туда же поступает информация с судовых станций, кораблей погоды и автономных буйковых станций, находящихся на акваториях морей и океанов. Территориальные центры передают информацию в Гидрометцентр СССР, который, кроме того, получает морскую гидрометеорологическую информацию от мировых и региональных центров.

В систему наблюдений, сбора и передачи информации в органы службы морских прогнозов внедряются все новые и новые методы, основанные на использовании современных научных и технических достижений. Использование электронных вычислительных машин позволит в дальнейшем автоматизировать весь процесс прохождения, обработки и расшифровки морской гидрометеорологической информации.

299035

§ 3. ДЕЙСТВУЮЩИЕ КОДЫ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ТЕЛЕГРАММ С РЕЗУЛЬТАТАМИ МОРСКИХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Все гидрометеорологические сведения о состоянии океанов и морей передаются в закодированном виде, за исключением данных об опасных явлениях и авиационных разведках льда, передаваемых открытым текстом.

Шифры, которыми пользуются при передаче данных гидрометеорологических наблюдений, а также при телеграфном обмене прогнозами, называют кодами. Основное назначение кодов — экономия средств и времени при передаче сведений по телеграфу и радио. Каждый код должен удовлетворять следующим требованиям:

1) обеспечивать передачу всех необходимых данных при минимальном объеме текста телеграммы;

2) иметь надежный признак, указывающий на содержание передаваемых сведений;

3) обеспечивать передачу данных при различном объеме наблюдений;

4) содержать указания на место и время проведения наблюдений;

5) исключать возможность неправильной расшифровки телеграммы при отсутствии тех или иных сведений, т. е. иметь надежные признаки опознавания каждого вида наблюдений;

Ленинградский Гидрометеорологический ин-т

6) обеспечивать контроль правильности получаемых сведений, что необходимо для обнаружения возможных ошибок и искажений при передаче телеграмм.

При цифровом кодировании все помещенные в телеграмме числа обычно разбиваются на пятизначные группы.

В настоящее время в СССР для передачи морской гидрометеорологической информации в органы службы морских прогнозов применяются следующие коды:

1) код береговых гидрологических наблюдений на морских станциях и постах КН-02 издания 1967 г.;

2) код для передачи данных океанографических наблюдений КН-05 издания 1971 г.;

3) код для передачи данных батитермографных наблюдений КН-06 издания 1971 г.;

4) код для составления ежедневных метеорологических телеграмм на судах КН-09 издания 1967 г.;

5) код для составления ежедневных гидрометеорологических телеграмм на судах (сокращенная схема) КН-09-С издания 1967 г.

Код КН-02 состоит из 12 групп и постоянного отличительного слова «море», которое ставится в начале каждой телеграммы:

$$\text{МОРЕ YYGG IIIII ddffV } T_wT_wT_wTT \ (90T_wT_wT_w) \ (91TTT)$$
$$3\frac{a_hh_sh_sh_s}{G_tG_th'_sh'_s} \ 4H_wH_wP_wD_w \ 5M_eL_eii \ 6M_1C_1C_2P_1 \ 7A_1A_1A_2A_2$$
$$(8BbH_nH_n)$$

В группе YYGG буквы YY — число месяца, а GG — время срочных наблюдений, группа IIIII — индекс станции. Часто эта группа не используется, так как станция, подавшая телеграмму, определяется по названию пункта отправления.

Группы ddffV и $T_wT_wT_wTT$ не имеют отличительных цифр. Первая из них включается в телеграммы в течение всего года. В ней кодируется направление, скорость ветра и видимость в сторону моря. Вторая группа включается в телеграммы в период отсутствия льда и в навигационный период при наличии льда. В ней передаются сведения о температуре поверхностного слоя моря и температуре воздуха.

Группы $(90T_wT_wT_w)$ и (91TTT) с данными о средней суточной температуре воды и воздуха за предшествующие сутки передаются один раз в сутки в телеграмме за утренний срок. 90 и 91 — постоянные отличительные цифры.

Группа $3a_hh_sh_sh_s/G_tG_th'_sh'_s$ содержит сведения об уровне моря и включается в телеграммы в течение всего года.

Группа $4H_wH_wP_wD_w$ при отсутствии волнения и в период, когда навигация прекращена из-за ледовых условий, а также в сроки, падающие на темное время суток, опускается. В группе сообщаются сведения о высоте и периоде преобладающих волн и направлении волнения.

Группы с отличительными цифрами 5, 6 и 7 включаются в телеграммы только при наличии льда. В период отсутствия неподвижного льда первая из них опускается. Группа $6M_iC_iC_2P_i$ включается в телеграммы только при наличии дрейфующего льда. Если наблюдается неподвижный лед или неподвижный лед и чистая вода, эта группа также опускается. С целью детализации дрейфующего льда по возрасту группа может повторяться. В последней из этих групп даются характеристики состояния и распределения льда. Эти характеристики разбиваются на десять десятков. При кодировании сначала подбирают два подходящих десятка, а затем из них находят такие характеристики, которые наилучшим образом дополняют основные сведения о льдах. Если наблюдается много уточняющих характеристик, то могут быть даны две или несколько групп вида $7A_iA_iA_2A_2$.

Последняя группа кода ($8BbH_nH_n$) содержит сведения о морском прибое и включается в телеграммы только по специальному указанию УГМС.

Более полное содержание отдельных групп кода КН-02 дано в приложении 1.

Код КН-05 состоит из четырех разделов:

Раздел 1. КК XX YYMMI GGgg $Q_cL_aL_aL_aL_a$ $L_0L_0L_0L_0L_0$ ($i_w$ddff) ($2s_n$TTT) [3DDDD]

Раздел 2. 8888K_2 $2Z_0Z_0Z_0Z_0$ $3T_{w_0}T_{w_0}T_{w_0}T_{w_0}$ $4S_0S_0S_0S_0$ ..... $2Z_nZ_nZ_nZ_n$ $3T_{w_n}T_{w_n}T_{w_n}T_{w_n}$ $4S_nS_nS_nS_n$

Раздел 3. (7777K_2 $2Z_0Z_0Z_0Z_0$ $3T_{w_0}T_{w_0}T_{w_0}T_{w_0}$ $4S_0S_0S_0S_0$ ..... $2Z_nZ_nZ_nZ_n$ $3T_{w_n}T_{w_n}T_{w_n}T_{w_n}$ $4S_nS_nS_nS_n$)

Раздел 4. (666K_4K_3 $2Z_0Z_0Z_0Z_0$ $d_0d_0C_0C_0C_0$ ..... $2Z_nZ_nZ_nZ_n$ $d_nd_nC_nC_nC_n$) CCCC

В первом разделе группа КК XX является опознавательной. В группе YYMMI первые две буквы указывают день месяца по гринвичскому времени, вторая пара букв — месяц года, а последняя буква — последнюю цифру года в данном десятилетии.

Группа GGgg — время наблюдения в часах и минутах по гринвичскому времени.

В группе $Q_cL_aL_aL_aL_a$ буква Q_c обозначает квадрант земного шара, в котором проводятся наблюдения, $L_aL_aL_aL_a$ — географическая широта в градусах и минутах. Группа $L_0L_0L_0L_0L_0$ — географическая долгота от Гринвича.

Группы ($i_w$ddff) и ($2s_n$TTT) — данные о ветре и температуре воздуха соответственно. Как правило, на судах СССР эти группы в телеграммы не включаются.

Группа 3DDDD содержит данные о глубине (в метрах) в месте наблюдений, цифра 3 — отличительная.

Во втором разделе сообщаются сведения о температуре воды и солености на характерных горизонтах. В группы 8888K_2 первые

четыре цифры — отличительные, а K_2 указывает метод определения солености.

Последующие группы имеют в начале постоянные отличительные цифры 2, 3 и 4. Буквы $Z_0Z_0Z_0Z_0 \ldots Z_nZ_nZ_nZ_n$ — глубины характерных горизонтов от поверхностного $Z_0Z_0Z_0Z_0$ до последнего $Z_nZ_nZ_nZ_n$. Характерные горизонты определяются из графиков вертикального распределения температуры и солености воды таким образом, чтобы можно было воссоздать их вертикальный профиль. В телеграмме всегда должны сообщаться поверхностный горизонт, глубина залегания однородного слоя, горизонты резких изменений элементов и последний горизонт наблюдений.

Буквы $T_{w_0}T_{w_0}T_{w_0}T_{w_0} \ldots T_{w_n}T_{w_n}T_{w_n}T_{w_n}$ — температура воды с точностью до сотых долей градуса Цельсия на характерных горизонтах (при отрицательных значениях температуры к целым градусам прибавляется 50), а $S_0S_0S_0S_0 \ldots S_nS_nS_nS_n$ — соленость воды с точностью до сотых долей промилле на характерных горизонтах.

В третьем разделе сообщаются данные о температуре и солености на стандартных горизонтах.

В четвертом разделе сообщаются данные наблюдений за течениями. В группе $666K_4K_3$ первые три цифры — отличительные, K_3 — продолжительность осреднения и время инструментальных измерений вектора течения, а K_4 — период определения течения навигационным методом.

Группы $2Z_0Z_0Z_0Z_0 \ldots\ldots 2Z_nZ_nZ_nZ_n$ — глубины горизонтов наблюдений.

В группах $d_0d_0C_0C_0C_0 \ldots\ldots d_nd_nC_nC_nC_n$ буквы $d_0d_0 \ldots d_nd_n$ — направление течения в десятках градусов, $C_0C_0C_0 \ldots C_nC_nC_n$ — скорость течения в см/с.

Четыре буквы СССС в конце телеграммы — радиопозывные судна.

Код КН-06 состоит из трех разделов:

Раздел 1. jjXX YYMMI GGgg $Q_cL_aL_aL_aL_a$ $L_0L_0L_0L_0L_0$ ($i_w$ddff) ($2s_n$TTT) [3DDDD]

Раздел 2. 88888 $Z_0Z_0T_{w_0}T_{w_0}T_{w_0} \ldots\ldots Z_nZ_nT_{w_n}T_{w_n}T_{w_n}$ 999zz $Z'Z'T'_wT'_wT'_w \ldots\ldots$

Раздел 3. (777i_zi_z $Z_0Z_0T_{w_0}T_{w_0}T_{w_0} \ldots\ldots Z_nZ_nT_{w_n}T_{w_n}T_{w_n}$) СССС

В первом разделе jjXX — опознавательная группа. Остальные группы подаются так же, как в коде КН-05, и содержат такие же сведения.

Второй раздел содержит сведения о температуре воды на характерных горизонтах. Группа 88888 — отличительная. В группах $Z_0Z_0T_{w_0}T_{w_0}T_{w_0} \ldots\ldots Z_nZ_nT_{w_n}T_{w_n}T_{w_n}$ буквы $Z_0Z_0 \ldots Z_nZ_n$ — глубина расположения характерных горизонтов, а $T_{w_0}T_{w_0}T_{w_0} \ldots T_{w_n}T_{w_n}T_{w_n}$ — температура воды с десятыми долями градуса. В группе 999zz первые три цифры — отличительные, а zz — число сотен метров.

В третьем разделе сообщаются сведения о температуре воды на стандартных горизонтах. Группа СССС — радиопозывные судна.

Закодированные с помощью кодов КН-05 и КН-06 океанографические данные можно использовать как в оперативной работе, так и для хранения в архиве в центрах сбора, при этом предусматривается возможность ручной и машинной расшифровки и обработки информации. Оба кода одобрены в 1970 г. пятой сессией Комиссии синоптической метеорологии ВМО и рекомендованы к использованию при осуществлении первого этапа ОГСОС.

Код КН-09 предназначен для составления ежедневных метеорологических телеграмм на судах, где имеются штатные наблюдатели:

$99L_aL_aL_a$ $Q_cL_0L_0L_0L_0$ $YYGGi_w$ Nddff VVwwW PPPTT $N_hC_LhC_MC_H$ $D_sv_s$app (7RRjj) ($8N_sC_sh_sh_s$) ($9S_pS_pS_pS_p$) $0T_sT_sT_dT_d$ $1T_wT_wT_wt_T$ ($2I_sE_sE_sR_s$) ($3P_wP_wH_wH_w$) ($d_wd_wP_wH_wH_w$) (ICE и далее сообщение о ледовой обстановке группой c_2KD_ire или словесным текстом).

В скобках заключены группы, которые помещаются в телеграммы лишь в определенных случаях.

В группе $99L_aL_aL_a$ первые две цифры — отличительные, $L_aL_aL_a$ — географическая широта в градусах с десятыми долями, в $Q_cL_0L_0L_0L_0$ буква Q_c — квадрант земного шара, в котором находится судно, а $L_0L_0L_0L_0$ — географическая долгота.

В группе $YYGGi_w$ буквы YY обозначают число месяца, GG — срок наблюдений в часах по гринвичскому времени, i_w — способ определения и единицы скорости ветра.

В группе Nddff буква N — общее количество облаков, dd — направление истинного ветра в десятках градусов, ff — скорость ветра в м/с.

В группе VVwwW буквы VV — горизонтальная видимость, ww — характеристика погоды в срок наблюдения в месте нахождения судна, W — прошедшая погода (погода в течение последних 6 часов для сроков 00, 06, 12, 18 часов по гринвичскому времени или в течение последних 3 часов для сроков 03, 09, 15 и 21 час).

В группе PPPTT содержатся сведения об атмосферном давлении на уровне моря в миллибарах до 0,1 мб (PPP) и температуре воздуха в целых градусах Цельсия без округления (TT).

Группа $N_hC_LhC_MC_H$ содержит сведения об облачности.

В группе $D_sv_s$app буква D_s — генеральное направление перемещения судна за последние 3 часа, v_s — средняя скорость перемещения судна за последние 3 часа, a — характеристика барической тенденции за последние 3 часа, pp — величина тенденции в десятых долях миллибара.

В группе $0T_sT_sT_dT_d$ цифра 0 — отличительная, T_sT_s — разность между температурой воздуха и температурой воды поверхности моря в половинах градуса Цельсия, T_dT_d — температура точки росы в целых градусах.

В группе $1T_wT_wT_wt_T$ цифра 1 — отличительная, $T_wT_wT_w$ — температура воды поверхности моря с точностью до десятых долей градуса, t_T — десятые доли температуры воздуха.

В группе ($2I_sE_sE_sR_s$), содержащей сведения об обледенении судна, цифра 2 — отличительная, I_s — причина обледенения судна, E_sE_s — толщина отложения льда, R_s — степень обледенения.

Для передачи результатов наблюдений за ветровым волнением используется группа ($3P_wP_wH_wH_w$), где 3 — отличительная цифра, P_wP_w — период волн в секундах, а H_wH_w — высота волн в полуметрах. Если наблюдается зыбь, то применяется группа $d_wd_wP_wH_wH_w$, где d_wd_w — направление, откуда перемещаются волны, в десятках градусов, P_w — период волн, H_wH_w — высота волн зыби в полуметрах.

В группе c_2KD_ir буква c_2 — описание вида льда, K — условия плавания, D_i — пеленг кромки льда, r — расстояние от судна до кромки льда, e — ориентация кромки льда.

Код КН-09-С является сокращенным вариантом кода КН-09; он применяется на судах, где наблюдения проводятся штурманским составом.

Для передачи в органы службы морских прогнозов данных о температуре поверхностного слоя моря, измеренной с самолета при помощи радиационного термометра, применяется специальный код:

АВИАТЕМПЕРАТУРА ... YYMM $n_1n_1T_{w_1}T_{w_1}T_{w_1}$ .....
$n_nn_nT_{w_n}T_{w_n}T_{w_n}$ ..... 999zz $n'_1n'_1T'_{w_1}T'_{w_1}T'_{w_1}$ .....
$n'_2n'_2T'_{w_2}T'_{w_2}T'_{w_2}$

Авиатемпература — постоянное отличительное слово, за которым следует название моря, YYMM — день месяца (YY) и время в часах (MM). Далее, буквы $n_1n_1 \ldots n_nn_n$ — номера точек (станций) в возрастающей последовательности (от 1 до 99). Точкам, по которым должны передаваться телеграфные донесения, заранее присваивается порядковый номер, а схема расположения стандартных галсов и нумерация точек приводятся на картах, имеющихся у адресатов. Буквы $T_{w_1}T_{w_1}T_{w_1} \ldots T_{w_n}T_{w_n}T_{w_n}$ — температура воды в десятых долях градуса Цельсия; если первая буква заменяется цифрой 5 ($5T_{w_1}T_{w_1}$), значит кодируется отрицательная температура (целые и десятые доли градуса).

Разделительная группа 999zz включается в телеграммы, когда номера точек составляют 100 и более. Отличительные цифры 999 указывают на то, что далее сообщается о следующей сотне точек. Буквы zz — число сотен точек. После разделительной группы буквами $n'_1n'_1 \ldots n'_nn'_n$ сообщаются десятки и единицы соответствующей сотни, а температура воды ($T'_{w_1}T'_{w_1}T'_{w_1} \ldots T'_{w_n}T'_{w_n}T'_{w_n}$) кодируется указанным выше способом.

В конце цифрового текста телеграммы ставится фамилия борт-наблюдателя.

По нестандартным маршрутам данные о температуре воды могут сообщаться отдельно по каждому галсу. При этом в начале телеграммы сообщается время начала и конца каждого галса, координаты или наименование географических пунктов (мысы, острова и т. п.).

В случае когда авиасъемка температуры воды производится одновременно с наблюдениями за льдом, данные этих наблюдений и авиасъемки сообщаются одной телеграммой.

Данные авиаразведки льда сообщаются открытым текстом.

Пример. АРХАНГЕЛЬСК ПОГОДА ЛЕДОВАЯ РАЗВЕДКА 35 13 АПРЕЛЯ БОРТ 04203 ВЫСОТА 100 200 ВИДИМОСТЬ 2—4 МИЛИ МАРШРУТ АРХАНГЕЛЬСК НИЖНЯЯ ПЕША МИКУЛКИН 6842 4836 6900 4810 ЛАЙДЕННЫЙ 6910 4500 КОЛГУЕВ СЕВЕРНЫЙ 7000 5131 7130 5000 7127 5152 7100 5300 7000 5300 7000 5440 ВХОДНОЙ САХАНИН 7000 5640 МЕНЬШИКОВА РОГАТЫЙ МАТВЕЕВ МЕДЫНСКИЙ ЗАВОРОТ 6900 6000...

Характеристика льда дается по отдельным участкам полета.

Пример. ЧЕРЕЗ КОЛГУЕВ СЕВЕРНЫЙ ШИРОТЫ 6938 БЕЛЫЙ 1 СЕРОБЕЛЫЙ 7 БИТЫЙ 6942 БЛИНЧАТЫЙ 4 ЧЕРЕЗ 7000 5130 ШИРОТЫ 7028 НАД КРОМКОЙ СПРАВА БЕЛЫЙ 3 СЕРОБЕЛЫЙ 6 БИТЫЙ СЛЕВА ЧИСТО ШИРОТЫ 7122 СПРАВА НИЛАС 6 КРОМКА СЛЕВА 1—2 МИЛЯХ 7127 БЕЛЫЙ 1 СЕРОБЕЛЫЙ 4 НИЛАС 1 БИТЫЙ ЧЕРЕЗ 7130 5000 ДОЛГОТЫ 5013 СЕРОБЕЛЫЙ 8 СЕРЫЙ 1 БИТЫЙ КРОМКА ЗАПАДЕ 10 МИЛЯХ...

§ 4. НАНЕСЕНИЕ ДАННЫХ НА МОРСКИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ. ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ КАРТ

В органах службы морских прогнозов составляются морские гидрометеорологические карты следующих видов: а) гидросиноптические, б) ледовые, в) волнения, г) температуры воды, д) вспомогательные.

Информационные сведения о гидрометеорологических наблюдениях на морях передаются в бюро погоды (гидрометбюро) по телетайпу или фототелеграфу. Поступившие данные расшифровываются и наносятся на специальные бланки карт. На карте следует прежде всего в отведенном месте поставить год, месяц, число и срок, для которого составляется карта.

Основным видом морских гидрометеорологических карт являются гидросиноптические карты, где наносятся все данные гидрометеорологических наблюдений, поступающие с береговых и судовых гидрометеорологических станций. Эти карты составляются для всех морей, а в последние годы и для океанов.

При нанесении гидрометеорологических данных на карты необходимо выполнять следующие требования:

1) значения элементов наносятся четко, аккуратно и компактно;

2) диаметр кружка станции должен быть равен 1,5 мм, а диаметр кружка нанесения ледовых характеристик (по коду КН-02) 8 мм;

3) площадь нанесения гидрометеорологических данных одной станции не должна превышать $2 \times 2{,}5$ см^2;

4) значение каждого элемента наносится на строго определенном месте по отношению к кружку станции так, чтобы обозначения элементов, относящихся к одной станции, не сливались с обозначениями на соседних станциях;

5) значения (символы) и цифры располагаются параллельно кругу широты данного места;

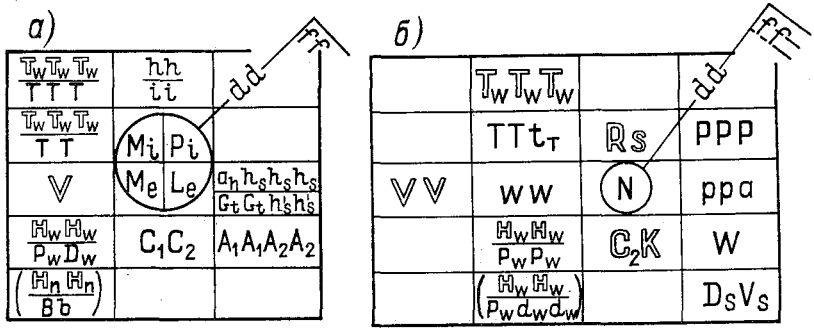


Рис. 3. Схема расположения гидрометеорологических элементов на гидросиноптической карте.

а — береговые наблюдения, *б* — судовые наблюдения.

6) в основном значения и цифры наносятся черной тушью за исключением температуры воды, степени обледенения судов, видимости менее 1 км и высоты волны 8 м и более, которые наносятся красной тушью.

При нанесении на гидросиноптические карты данных береговых наблюдений используется схема, представленная на рис. 3 *а*. На этой схеме:

dd — направление ветра,

ff — скорость ветра,

V — видимость в сторону моря,

$T_wT_wT_w$ — температура воды или среднесуточная температура воды,

TT — температура воздуха,

TTT — среднесуточная температура воздуха,

a_n — тенденция в изменении уровня на морях без приливов,

$h_sh_sh_s$ — высота уровня на морях без приливов,

G_tG_t — время наступления полной или малой воды,
$h'_s h'_s$ — высота уровня при полной или малой воде,
H_wH_w — высота волн,
P_w — период волн,
D_w — направление волнения,
B — ширина прибойной полосы,
b — ширина полосы наката,
H_hH_h — высота прибойной волны,
M_i — количество дрейфующего льда,
P_i — преобладающая сплоченность дрейфующих льдов,
C_1 — преобладающий вид (стадия развития) льда,
C_2 — преобладающая форма льда,
M_e — количество неподвижного льда,
L_e — ширина припая,
ii — толщина неподвижного льда,
hh — высота снежного покрова на льду,
$A_1A_2A_3A_4$ — характеристика состояния и распределения льдов.

Данные судовых гидрометеостанций и кораблей погоды наносятся по схеме, представленной на рис. *3 б*. На этой схеме:

N — общее количество облаков,
dd — направление истинного ветра,
ff — скорость истинного ветра,
VV — горизонтальная видимость,
ww — погода в срок наблюдения или в течение последнего часа,
W — прошедшая погода,
PPP — давление воздуха,
TTt_T — температура воздуха,
D_s — генеральное направление перемещения судна за последние 3 часа,
v_s — средняя скорость судна по этому направлению,
a — характеристика барической тенденции за последние 3 часа,
pp — величина барической тенденции за последние 3 часа,
$T_wT_wT_w$ — температура воды поверхности моря,
R_s — степень обледенения судна,
P_wP_w — период волн,
H_wH_w — высота волн или высота волн зыби,
d_wd_w — направление, откуда перемещаются волны зыби,
P_w — период волн зыби,
C_2 — описание вида льда,
K — условия плавания во льдах.

Условные обозначения, которые должны наноситься красной тушью, на рис. 3 даны двойными линиями.

Как уже указывалось, кроме гидросиноптических карт в органах службы прогнозов составляются карты, характеризующие состояние отдельных элементов режима моря.

На карты волнения по схемам рис. 3 наносятся следующие гидрометеорологические данные:

dd — направление ветра,
ff — скорость ветра,
PP — давление воздуха,
pp — величина барической тенденции,
a — характеристика барической тенденции,
VV — горизонтальная видимость,
D_s — генеральное направление перемещения судна за последние 3 часа,
v_s — средняя скорость перемещения судна за последние 3 часа,
H_wH_w — высота волн или высота волн зыби,
P_wP_w — период волн,
d_wd_w — направление, откуда перемещаются волны зыби,
P_w — период волн зыби,
H_nH_n — высота прибойной волны.

Карты температуры воды поверхности моря составляются на основании наблюдений прибрежных и судовых гидрометстанций и данных авиасъемок температуры воды. Нанесение данных на карту производится согласно схемам рис. 3. На карту температуры поверхности моря наносятся следующие данные:

N — общее количество облаков,
dd — направление ветра,
ff — скорость ветра,
TTt_T — температура воздуха,
$T_wT_wT_w$ — температура воды,
ww — погода в срок наблюдения,
W — прошедшая погода.

На основании синхронных наблюдений за температурой воды составляются карты распределения температуры на каком-либо стандартном горизонте, а также карты глубины залегания слоя скачка температуры и карты градиента температуры воды в слое скачка.

На основании наблюдений береговых и судовых гидрометстанций, наблюдений с самолетов и искусственных спутников Земли составляются ледовые карты, на которые наносятся следующие данные:

dd — направление ветра,
ff — скорость ветра,
TTt_T — температура воздуха,
$T_wT_wT_w$ — температура воды,
VV — горизонтальная видимость,
C_2 — описание вида льда (коды КН-09 и КН-09-С),
K — условия плавания,
D_l — пеленг кромки льда,
r — расстояние от судна до кромки льда,
e — ориентация кромки льда,
M_e — количество неподвижного льда,

L_e — ширина припая,
ii — толщина неподвижного льда,
hh — высота снега на льду,
M_1 — количество дрейфующего льда,
M'_1 — количество молодого дрейфующего льда,
M''_1 — количество старого дрейфующего льда,
M'''_1 — количество более старого дрейфующего льда,
C_1 — вид (стадия) развития льда,
C_2 — форма льда (код КН-02),
$A_1A_2A_3A_4$ — характеристика состояния и распределения льда.

Данные ледовых наблюдений наносятся на бланк карты следующим образом:

1) данные береговых гидрометстанций — согласно схеме рис. 3 *а*;

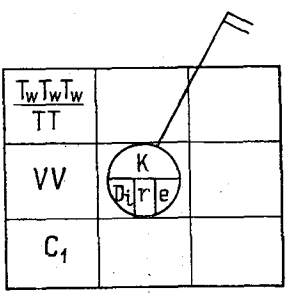


Рис. 4. Схема расположения данных судовых ледовых наблюдений на карте.

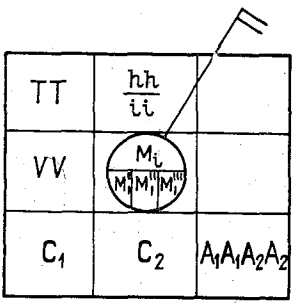


Рис. 5. Схема расположения данных авиационных наблюдений за ледяным покровом на карте.

2) данные с судов, переданные с помощью кодов КН-09 и КН-09-С — по схеме рис. 3 *б*, а переданные открытым текстом — по схеме рис. 4;

3) при нанесении данных авиационных наблюдений на бланке прокладывается линия маршрута со стрелками, указывающими направление полета (красным цветом), при нанесении данных с судов выделяются обсервованные точки, наносятся местоположения и названия судов. Элементы ледовой обстановки наносятся по схеме рис. 5;

4) при расшифровке снимков ледовой обстановки, полученных с ИСЗ, на бланк ледовой карты наносят положение кромки льда, границу припая, зоны различной сплоченности льда, каналы и большие разводья во льду, айсберги.

Дополнительные сведения о ледовых условиях помещают в виде текстового пояснения, напечатанного на отдельном листе и прикрепленного к бланку ледовой карты.

К вспомогательным картам относятся морские гидрометеорологические карты, предназначаемые для ежедневных гидрометеоро-

логических бюллетеней, а также для факсимильных передач. Основным требованием к нанесению данных на такие карты являются четкость надписей и достаточные интервалы между линиями. Карта не должна быть перегружена географическими объектами (реками, озерами, городами). Значения всех гидрометеорологических элементов необходимо наносить на карту черной тушью. Все данные, наносимые вокруг кружка станции, должны занимать площадь не более 20×20 мм². Изолинии, надписи и обозначения следует делать черным карандашом средней твердости.

Рассмотрим, как наносятся на морские гидрометеорологические карты отдельные гидрометеорологические элементы.

N — общее количество облаков, наносится в кружке станции согласно таблице основных символов (рис. 6).

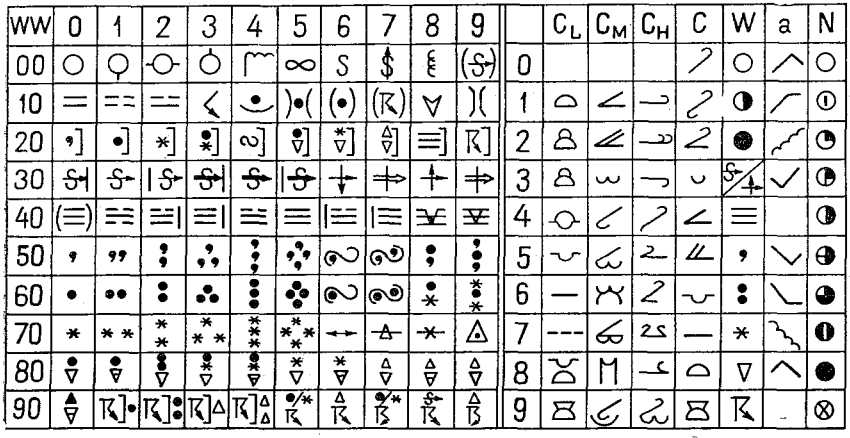


Рис. 6. Условные обозначения гидрометеорологических элементов на гидросиноптических картах.

dd — направление ветра, наносится на карту стрелкой, идущей к центру кружка станции по направлению ветра. Стрелка должна быть ориентирована по отношению к меридиану и параллели данного пункта и должна иметь длину 9—11 мм. При штиле на карту ничего не наносится.

ff — скорость ветра, изображается оперением, которое наносится у конца стрелки, указывающей направление ветра. Перья должны быть перпендикулярны стрелке и обращены влево от нее (если смотреть по направлению ветра) в северном полушарии и вправо в южном. Большое перо соответствует скорости 5 м/с, малое — 2,5 м/с. При скорости ветра 1 м/с и менее стрелка остается без оперения. При скорости ветра 25 м/с оперение заменяется зачерненным треугольником, основание которого находится на стрелке. Если скорость ветра превышает 25 м/с, к треугольнику добавляются перья, соответствующие превышению.

VV (или V) — горизонтальная видимость, дается в километрах.

ww — погода во время наблюдения или в течение последнего часа перед наблюдением, а также W — погода между сроками наблюдений, наносится согласно таблице основных символов (рис. 6).

PPP — давление воздуха, наносится тремя цифрами так, как оно дано в телеграмме.

TTt_T — температура воздуха, переданная кодами КН-09 и КН-09-С, наносится на карту в градусах Цельсия с точностью до десятых, TT — температура воздуха, переданная кодом КН-02, с точностью до целых градусов. При отрицательной температуре обязательно ставится знак минус (—).

D_s — генеральное направление перемещения судна, наносится стрелкой, направленной в сторону перемещения судна, а v_s — средняя скорость его перемещения, проставляется в узлах у конца стрелки.

pp — величина барической тенденции, наносится на карту двумя цифрами так, как дана в телеграмме. Если a — характеристика барической тенденции — передается цифрами кода 0, 1, 2, 3, то перед

Таблица 1

Условные знаки для нанесения на карты стадий развития льда

Цифра кода	Изображение	Стадия развития льда
1 2		Ледяные иглы, ледяное сало, шуга, снежура
3		Темный нилас
4		Светлый нилас, в том числе блинчатый лед
5		Серый лед, в том числе блинчатый
6		Серо-белый лед
7		Тонкий однолетний (белый) лед
8		Однолетний лед средней толщины (70—120 см)
9		Двухлетний и многолетний лед

pp ставится знак плюс (+), а если цифрами 5, 6, 7, 8 — знак минус (—).

$T_wT_wT_w$ — температура воды, наносится с точностью до десятых, которые отделяются от целых градусов точкой. При отрицательной температуре обязательно ставится знак минус (—).

R_s — степень обледенения, наносится на карту в цифрах кода.

H_wH_w — высота ветровых волн (или волн зыби), наносится в метрах. При нанесении на карту цифры кода делятся пополам.

d_wd_w — направление перемещения волн зыби и D_w — направление перемещения ветровых волн, наносятся стрелкой, идущей в направлении перемещения.

P_wP_w (или P_w) — период ветровых волн (или волн зыби), наносится в секундах.

K — условия плавания во льдах и C_2 — описание вида льда (код КН-09), наносятся цифрами кода; C_1 — преобладающая стадия развития льда и C_2 — преобладающая форма льда (код КН-02), наносятся на карту условными знаками в соответствии с табл. 1 и 2.

Таблица 2

Условные знаки для нанесения на карты форм льда

Цифра кода	Изображение	Форма льда
1		Лед начальных форм (иглы, сало, шуга, снежура, блинчатый лед, склянка)
2 3		Ледяная каша и куски льда
4		Мелкобитый лед
5		Крупнобитый лед
6		Мелкобитый и крупнобитый лед
7		Обломки ледяных полей и малые ледяные поля
8		Большие ледяные поля
9		Обширные ледяные поля

M_e — количество неподвижного и M_i — количество дрейфующего льда, а также P_i — сплоченность дрейфующего льда, наносят

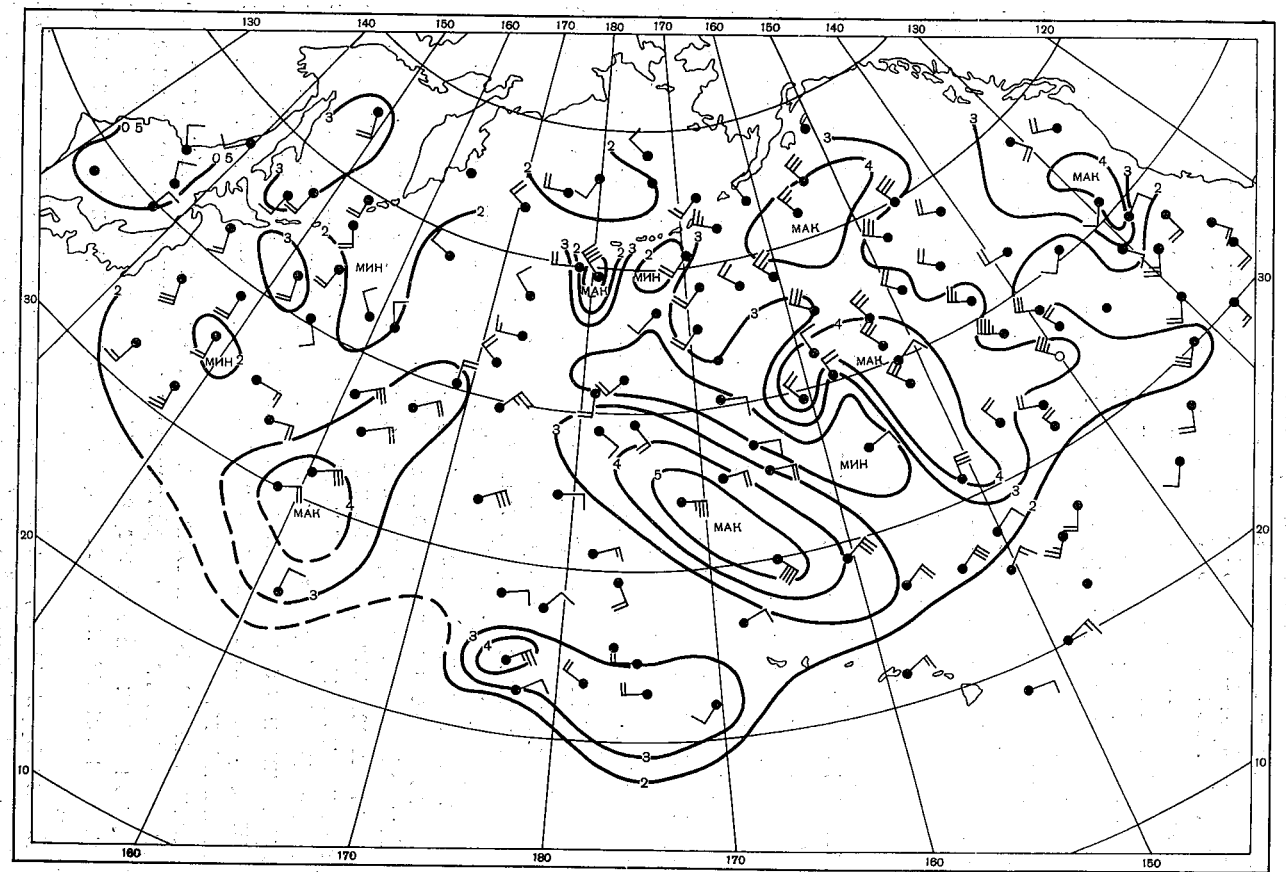


Рис. 7. Карта волнения.

на карту в баллах; L_e — ширина припая в километрах, ii — толщина льда и hh — высота снега на льду в сантиметрах.

$A_1A_2A_3A_4$ — характеристики состояния и распределения льдов, наносятся цифрами кода, за исключением торосистости и разрушенности льда. Торосистость льда дается значком △, а разрушенность — значком □, внутри которых указываются баллы торосистости и разрушенности соответственно.

a_h — тенденция в изменении уровня на морях без приливов, отмечается знаком плюс (+) или минус (—) в зависимости от подъема или падения уровня.

G_tG_t — время наступления полной или малой воды, наносят с точностью до получаса, причем время наступления полной воды, которое кодируется цифрами 00—47, находится путем деления этих цифр пополам, а время наступления малой воды, которое кодируется цифрами 50—97, — путем деления пополам остатка, полученного после вычитания из них 50.

$h_sh_sh_s$ — высота уровня в морях без приливов, наносится в сантиметрах; $h'_s h'_s$ — высота уровня на морях с приливами, наносится в дециметрах.

После нанесения данных на морские гидрометеорологические карты проводится их обработка и анализ.

Обработка морских гидрометеорологических карт включает следующие операции:

1) перенесение с синоптической карты на бланк морской гидрометеорологической карты барического поля и положения фронтальных разделов;

2) проведение изолиний высот волн и обозначение областей максимальных и минимальных высот волн;

3) проведение изотерм температуры воды;

4) выделение областей с туманами и плохой видимостью;

5) нанесение данных о ледовых условиях;

6) обозначение районов обледенения.

При обработке и оформлении морских карт необходимо: а) критически относиться к нанесенным данным, исправлять ошибки, допущенные при нанесении, или обводить карандашом сомнительные данные; б) обработку производить четко и аккуратно, придерживаясь принятых обозначений; в) надписи значений изолиний, значки (символы) явлений погоды располагать параллельно кругу широты данного места.

Основная задача анализа карт состоит в том, чтобы выяснить распределение гидрометеорологических элементов по всей акватории моря в данный момент, а также их изменение с течением времени и на основании этого определить характер их будущих изменений.

Анализируя карту, необходимо стремиться найти физические связи между явлениями для установления причин, обусловливающих наблюдаемое состояние моря и его последующее изменение. Основными принципами анализа карты являются:

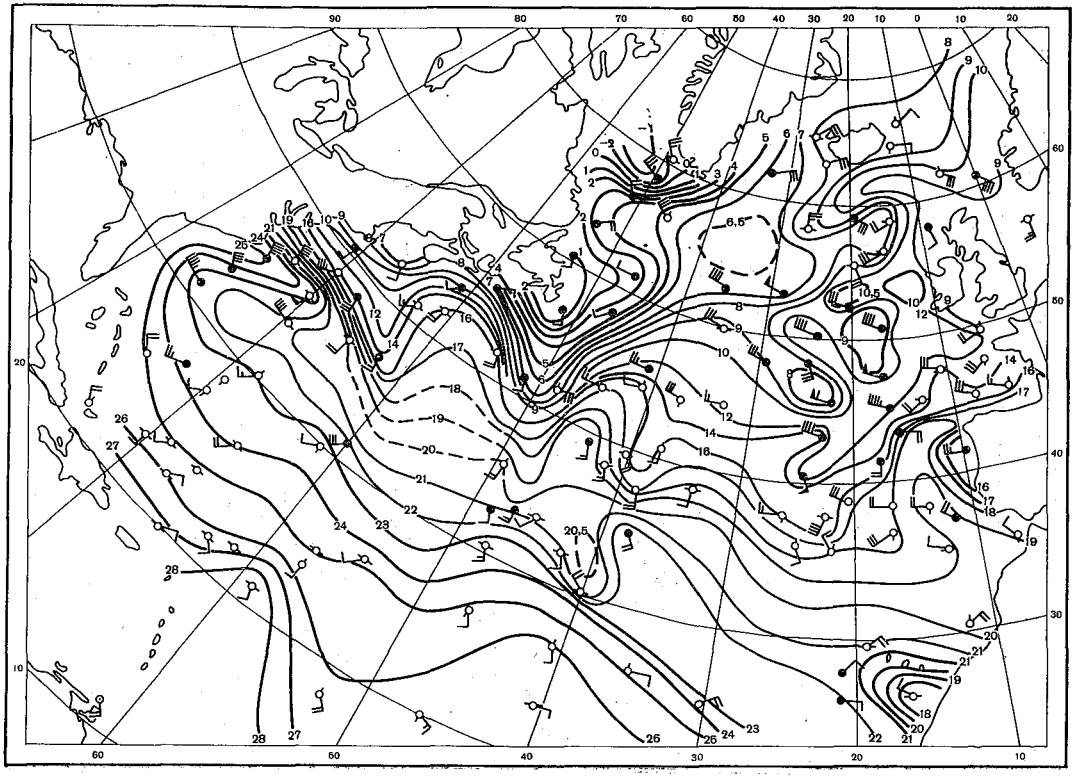


Рис. 8. Карта температуры воды.

1) принцип сопоставления значений гидрометеорологических элементов — *одного* и того же элемента на ряде станций, разных элементов на одной и той же станции, разных элементов на разных станциях;

2) принцип исторической последовательности, при котором учитывается предшествующее развитие элементов (для этого тщательно изучаются карты за несколько предшествующих сроков, с тем чтобы выяснить по ним тенденцию развития процессов);

3) принцип физической логики, учитывающий наличие определенных закономерностей между физическими явлениями в море.

Правила обработки и анализа являются общими для всех видов гидрометеорологических карт. Следует указать на некоторые поло-

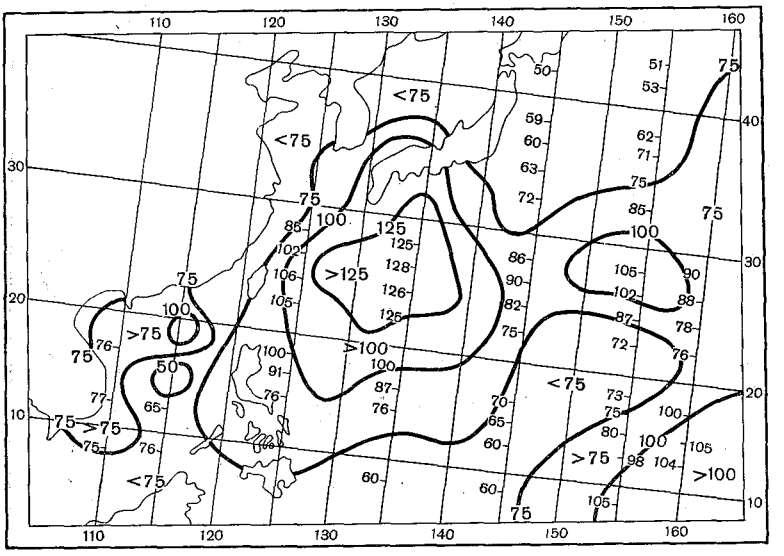


Рис. 9. Глубина залегания слоя скачка (м).

жения, относящиеся к обработке и анализу отдельных видов карт.

Так, на гидросиноптических картах районы с плохой видимостью (менее 1 км) заштриховываются желтым, а районы обледенения судов — красным цветом.

Для повышения качества анализа поля волнения с приземной карты погоды на карту волнения переносятся черным карандашом тонкими пунктирными линиями изобары, а также принятыми условными обозначениями фронтальные разделы и центры циклонов и антициклонов.

Изолинии высот волн проводятся сплошными плавными линиями через 1 м, а на картах внутренних морей — через 0,5 м. При проведении этих изолиний необходимо учитывать направление и скорость ветра.

Анализ полей волнения требует особой внимательности и критического подхода к данным каждого судна. Высота и период волн

связаны со скоростью ветра определенной статистической зависимостью, которой можно пользоваться для приближенного контроля

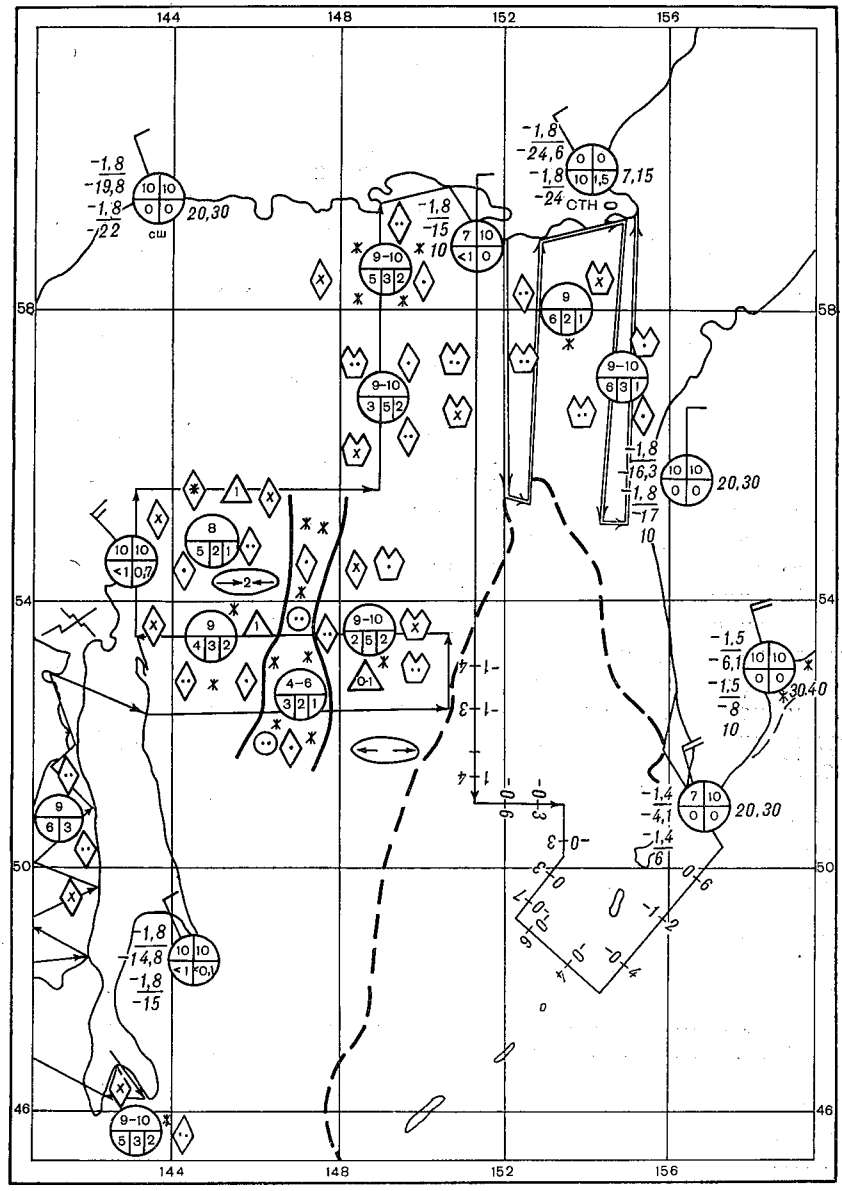


Рис. 10. Ледовая карта (по данным авиаразведки над Охотским морем).

наблюдений. В районах, где мало наблюдений, элементы волн могут рассчитываться по градиентам давления или по фактическому ветру.

У каждой изолинии высот волн ставится соответствующее ей значение в метрах, незамкнутые изолинии подписываются с двух сторон. В прибрежных районах и у кромок льда изолинии обрываются. В центре областей максимальных и минимальных высот волн черным карандашом ставятся буквы «мак» и «мин» (сокращенно от максимума и минимума) (рис. 7).

Изотермы на карте температуры поверхности моря проводятся черным карандашом тонкими сплошными плавными линиями через 1°. В зоне фронтальных разделов, где наблюдается сгущение изотерм, они проводятся через 2°, а при еще большем сгущении изотерм можно провести одну волнистую «фронтальную изотерму», сверху и снизу которой пишутся крайние значения температуры воды. В оперативной работе в связи с недостатком наблюдений для проведения анализа наносят на карту все значения температуры воды за промежуток времени 5 дней. Образец карты распределения температуры воды на поверхности моря приводится на рис. 8.

На картах глубины залегания слоя скачка температуры проводятся изолинии равных глубин (рис. 9).

При анализе ледовой карты сплошной линией черным карандашом показывают наблюденное положение кромки льда, а прерывистой линией — предполагаемое ее положение. Тонкими сплошными линиями проводятся границы разной сплоченности льда: редкого (1—3 балла), разреженного (4—6 баллов), сплоченного (7—8 баллов) и очень сплоченного (9—10 баллов). После этого условными знаками наносятся зоны сжатия и разрежения льда, балл торосистости и разрушенности, трещины и каналы во льду, разводья и полыньи, направление дрейфа льда и другие дополнительные характеристики ледовых условий. Образец ледовой карты приведен на рис. 10.

В оперативной практике составляются также обзорные ледовые карты, отличающиеся от обычных карт тем, что на них наносятся данные ледовых наблюдений за несколько дней. Такие карты составляются по большим акваториям, для которых невозможно получить данные самолетных наблюдений в течение суток. Каждый маршрут полета необходимо наносить на бланк различным цветом, указывая при этом, какой цвет какому времени соответствует.

§ 5. ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОПАСНЫХ И ОСОБО ОПАСНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЯХ НА МОРЯХ И ОКЕАНАХ

Производственная деятельность ряда отраслей народного хозяйства в значительной мере зависит от условий погоды и состояния моря.

Опасные гидрологические явления могут вызвать нарушение деятельности отдельных отраслей народного хозяйства и нанести серьезный ущерб.

К особо опасным относятся такие явления, которые по своей интенсивности, времени возникновения, продолжительности и пло-

щади распространения могут нанести или нанесли значительный ущерб народному хозяйству, а также явления, которые могут вызвать или вызвали стихийные бедствия.

На морях и океанах к опасным и особо опасным гидрологическим явлениям относятся:

1) уровни моря (выше или ниже опасных отметок), при которых затопляются населенные пункты и береговые сооружения, повреждаются суда и различные хозяйственные объекты, а также прекращается судоходство;

2) цунами, вызывающие повышение уровня моря на 2 м и более;

3) волнение в океанах при высоте волн 8 м и более и на морях при высоте волн, опасных для мореплавания, ведения промысла и береговых сооружений;

4) тропические циклоны (тайфуны, ураганы) при скорости ветра 35 м/с и более;

5) появление ледяного покрова или припая в ранние сроки, повторяющиеся не чаще чем один раз в 10 лет;

6) напоры и интенсивный дрейф льдов, угрожающие морским сооружениям;

7) обледенение судов при скорости нарастания льда 0,7 см/ч и более;

8) сильный тягун в портах.

Информации об опасных явлениях передают все гидрометеорологические станции и посты, проводящие наблюдения и обеспеченные средствами связи. На таких станциях и постах имеются утвержденные на год списки, в которых указаны адреса и порядок подачи телеграмм, а также уточненные критерии опасных гидрологических явлений.

В телеграммах сообщают: а) о начале опасного явления, б) о его усилении и в) о его окончании.

Телеграммы о начале и усилении опасного явления подаются дежурным техником (наблюдателем) с индексом «шторм» немедленно при наступлении условий, изложенных в Перечне опасных гидрометеорологических явлений для подачи штормовых телеграмм станциями (постами). Телеграммы об окончании опасных явлений подаются с индексом «авиа» не позднее чем через 20 минут после их окончания.

Телеграмма об опасном явлении должна содержать:

а) индекс телеграммы (шторм или авиа);

б) адрес подачи;

в) время начала, усиления или окончания явления;

г) название явления и его интенсивность;

д) состояние некоторых элементов, сопутствующих опасному явлению.

При составлении телеграмм об опасных явлениях необходимо учитывать следующее:

1) передаются телеграммы открытым текстом, четко и ясно, без сокращений;

2) указывается московское декретное время четырьмя цифрами (первые две цифры означают часы, последние две — минуты);

3) не указываются единицы измерений — секунды, минуты, часы, сантиметры, метры, градусы и т. п.;

4) высота волн дается в метрах, уровень — в сантиметрах.

В телеграммах о явлениях, вызывающих ухудшение видимости поверхности моря, указывается наименование явления и значение видимости, например:

ШТОРМ ОДЕССА ПОГОДА 0830 ПАРЕНИЕ МОРЯ 1500

В телеграммах об опасном волнении указывается высота волн, например:

ШТОРМ ПЕТРОПАВЛОВСК ПОГОДА 1120 ВОЛНА 6

Если в пункте наблюдений уровень достиг опасных значений, то подается следующая телеграмма:

ШТОРМ БАКУ ПОГОДА 0750 УРОВЕНЬ 350

К наблюдениям за возникновением, развитием и распространением особо опасных явлений (ООЯ) привлекаются все сетевые органы Гидрометслужбы и морские суда, на которых действуют гидрометеорологические станции и синоптические группы, а также суда, находящиеся на специализированном гидрометеорологическом обслуживании (например, следующие рекомендованными курсами), ведомственные гидрометстанции и посты.

Сетевые органы устанавливают непрерывное и тщательное наблюдение за развитием особо опасных явлений, обеспечивают бесперебойную работу всех приборов и при необходимости организуют дополнительные временные пункты наблюдений, фотографируют или зарисовывают явления, определяют и записывают их количественные значения, продолжительность, границы распространения и т. п.

Предупреждения об ООЯ должны передаваться обслуживаемым организациям и органам службы прогнозов немедленно с использованием наиболее надежных средств связи с индексом «шторм» открытым текстом. В них указывается:

а) вид явления, время и место его возникновения и распространения;

б) интенсивность (величина) и продолжительность явления;

в) размеры ущерба и характер последствий, вызванных явлением.

Данные, указанные в пунктах «б» и «в», сообщаются после окончания ООЯ.

Пример. ШТОРМ ОДЕССА ПОГОДА 4 МАРТА РАЙОНЕ ПОРТА ОСОБО ОПАСНОЕ ВОЛНЕНИЕ ЗАПАДА 6—7 МЕТРОВ НАЧАЛОСЬ 0900 ОКОНЧИЛОСЬ 1600 ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ 7 ЧАСОВ ПОВРЕЖДЕНЫ ЗАПАДНЫЙ ВОЛНОЛОМ НЕФТЕПИРС УЩЕРБ ОРИЕНТИРОВОЧНО 35 ТЫСЯЧ РУБЛЕЙ

Предупреждения об опасных и особо опасных явлениях, передаваемые в оперативные прогностические органы и местным организациям, записываются в специальный журнал с указанием времени передачи (число, часы, минуты) и фамилий передавшего и принявшего донесение.

В зависимости от развития и продолжительности ООЯ необходимо периодически через определенные промежутки времени повторять подачу телеграмм (до 3 раз и более).

Работа по обследованию территории, на которой наблюдалось ООЯ, проводится специалистами гидрометстанций, а в случае распространения ООЯ на значительную территорию — специалистами бюро погоды, гидрометбюро или гидрометобсерватории. В задачу обследования входит выяснение или уточнение района распространения данного явления, его интенсивности, а также вызванных им последствий. Обследование следует проводить сразу же после окончания ООЯ, а в некоторых случаях даже во время его действия (исключительное волнение, опасное повышение уровня и т. п.).

В этой работе принимают участие представители партийных и советских органов, Госстраха, а также население. При отсутствии инструментальных наблюдений интенсивность явления может быть приблизительно определена по косвенным признакам (по степени разрушения и повреждения, по отметкам уровня воды и т. п.).

На основании результатов проведенного обследования и результатов наблюдений на гидрометстанциях составляется описание ООЯ, которое высылается в гидрометобсерваторию не позднее чем через 3—5 дней после окончания явления. В описании указываются следующие сведения:

1) вид ООЯ и наименование местности;

2) дата (период) образования ООЯ, время начала (или максимального развития) и окончания, продолжительность;

3) интенсивность ООЯ;

4) дата, способ и территория обследования, фамилия проводившего обследование;

5) район распространения ООЯ;

6) последствия, вызванные ООЯ, в том числе нанесенный народному хозяйству ущерб;

7) повторяемость ООЯ в данной местности;

8) текст прогноза (или предупреждения), переданного обслуживаемым организациям до наступления ООЯ, время его получения, кому передан прогноз и когда, с какой заблаговременностью;

9) мероприятия, проведенные организациями после получения прогноза (предупреждения).

К описанию ООЯ прилагаются схематические карты распространения явления, зарисовки и фотографии, а также копии лент самописцев (если они могут объяснить интенсивность и причину ООЯ).

Бюро погоды совместно с гидрометобсерваториями составляют технический отчет об условиях возникновения, интенсивности,

районе распространения и последствиях ООЯ, а также дают оценку оправдываемости и заблаговременности прогнозов и предупреждений об этом явлении. Технический отчет представляется руководству УГМС не позднее чем через 20 дней после окончания ООЯ. Оперативно-синоптические группы, работающие в составе промысловых экспедиций и караванов по перегону плавсредств с ограниченной мореходностью, а также синоптические группы на кораблях погоды и научно-исследовательских судах представляют технические отчеты об ООЯ в УГМС после окончания рейса.

Технический отчет состоит из двух частей — общей и специализированной. Если в первой части обобщаются сведения, содержащиеся в описаниях ООЯ, то вторая часть отчета содержит анализ причин, вызвавших данное ООЯ, а также его основные прогностические признаки. К отчету прилагаются наиболее необходимые схематические приземные и высотные карты погоды, аэрологические диаграммы, карты района распространения ООЯ, описания гидрометстанций, фотоснимки, зарисовки и другие материалы.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие сведения содержат информационные телеграммы, поступающие с береговых гидрометеорологических станций и постов?
2. Какие сведения содержат информационные телеграммы, поступающие с судовых гидрометеорологических станций?
3. Какие сведения содержат информационные телеграммы, поступающие с научно-исследовательских судов, выполняющих глубоководные гидрологические наблюдения?
4. Каковы основные требования к морской гидрологической информации?
5. Каким требованиям должен удовлетворять код для передачи данных гидрометеорологических наблюдений?
6. Какова схема кода КН-02?
7. Расшифруйте следующие телеграммы:
   Море 0509 36107 04906 90039 91055 32553 40438
   Море 1515 26229 13087 51455 39481 56827 62649 76682.
8. Какова схема кода КН-09?
9. Расшифруйте следующую телеграмму:
   99742 10214 03121 81602 94442 11902 85451 31605 15020
   22011 30803 15204 ICE 31323
10. Каковы схемы кодов КН-05 и КН-06?
11. Какие карты составляются в органах службы морских прогнозов?
12. Какие условия необходимо выполнять при нанесении данных гидрометеорологических наблюдений на карты?
13. Нарисуйте схему нанесения на карту данных наблюдений береговых и судовых гидрометеорологических станций.
14. Каковы принципы анализа гидрометеорологических карт?
15. Как составляются карты волнения, температуры воды и распределения льда?
16. Какие явления *называют опасными и особо опасными*?
17. В каких случаях подаются телеграммы об опасных явлениях?
18. Какие сведения включаются в телеграмму об опасном волнении и уровне моря?
19. Что указывается в донесении об ООЯ?
20. В чем состоит работа по обследованию района распространения ООЯ?
21. Какие сведения указываются в описании ООЯ?

ГЛАВА II

ОПЕРАТИВНОЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРСКИХ ОТРАСЛЕЙ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

§ 1. СОСТАВ И ПОРЯДОК ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Под гидрологическим обеспечением понимается совокупность работ органов службы морских прогнозов по своевременному и наиболее полному удовлетворению народнохозяйственных организаций гидрологическими материалами, которые по своему назначению разделяются на оперативные и режимные.

Оперативные материалы освещают текущее и ожидаемое состояние гидрологических условий, режимные — характеристики элементов за определенный период времени, их изменчивость, повторяемость и обеспеченность.

К оперативным гидрологическим материалам относятся:

1) сведения о текущих гидрологических условиях;

2) прогнозы гидрологических элементов и явлений различной заблаговременности;

3) предупреждения о возникновении и развитии особо опасных и опасных гидрологических явлений;

4) рекомендации по наиболее правильному учету и использованию оперативных материалов в производственной деятельности обслуживаемых организаций.

К режимным гидрологическим материалам относятся;

1) научно-технические справочники и нормативы;

2) гидрометеорологические ежегодники и ежемесячники;

3) атласы и карты распределения по акватории основных гидрологических элементов;

4) гидрометеорологические бюллетени и таблицы.

Гидрометцентр СССР обслуживает гидрологической информацией центральные партийные и правительственные органы, министерства и ведомства СССР и РСФСР. Гидрологическое обслуживание местных партийных, советских органов и хозяйственных организаций выполняется теми органами службы морских прогнозов, которые расположены на одной с ними территории. Распределение организаций между органами службы морских прогнозов производится начальником УГМС. Каждая организация должна обслуживаться только одним бюро погоды или гидрометбюро, которое концентрирует у себя различные оперативные гидрологические материалы, необходимые для удовлетворения потребностей обслуживаемых организаций.

Гидрологическое обслуживание осуществляется путем:

а) докладов специалистов Гидрометслужбы руководству обслуживаемых организаций о сложившихся и ожидаемых гидрологических условиях;

б) обеспечения гидрологическими материалами (прогнозы, штормовые предупреждения и т. п.);

в) участия специалистов Гидрометслужбы в совещаниях;

г) совместного рассмотрения порядка обеспечения специальных перегонов и переходов, буксировок судов и несамоходных плавсредств.

Гидрологические материалы передаются по следующим видам связи:

1) по радио и прямым каналам связи, согласно действующим расписаниям передач (факсимильные карты гидрологических элементов, фотоснимки ледовой обстановки, штормовые предупреждения и прогнозы, обзоры текущей гидрологической обстановки и ожидаемых ее изменений, рекомендуемые маршруты плавания и т. п.);

2) по телефону (штормовые предупреждения, сведения о текущем состоянии моря, консультации, рекомендации и т. п.);

3) по телевидению (прогнозы и штормовые предупреждения, обзоры текущих гидрологических условий и ожидаемых их изменений);

4) по телеграфу (прогнозы и штормовые предупреждения);

5) почтой или нарочным (ежедневные морские гидрометеорологические бюллетени, долгосрочные прогнозы, справки).

В целях улучшения оперативного обслуживания экспедиций по буксировке различных несамоходных плавсредств (доков, плавкранов) и промысловых флотилий в удаленных районах океанов создаются специальные оперативные гидросиноптические группы, в состав которых входят и океанологи. Так, например, Мурманское УГМС с 1968 г. для обеспечения промыслового флота ледовой информацией направляет в район Лабрадора в составе оперативной группы инженера-океанолога, который кроме сбора и анализа информации производит ледовые авиаразведки с вертолета, составляет ледовые карты, обзоры и рекомендации для судоводителей. По заключению Главного управления рыбной промышленности Северного бассейна (Управление «Севрыба») новая форма обслуживания позволила повысить производительность траулеров на 60—70%, а экономический эффект в 1969 г. превысил миллион рублей.

§ 2. ИНФОРМАЦИЯ О ТЕКУЩЕМ СОСТОЯНИИ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

Одним из важных видов гидрометеорологического обслуживания является гидрометеорологическая информация, т. е. оповещение народнохозяйственных организаций о наблюдавшихся и текущих гидрологических условиях на акваториях морей и океанов. Учет сложившейся гидрологической обстановки позволяет обслуживаемым организациям более правильно планировать и осуществлять текущие работы.

Вид, содержание, объем, форма, сроки и способы передачи сведений о текущих гидрологических условиях определяются совместно

с обслуживаемыми организациями. Четкость, ясность и своевременность информации способствуют наиболее эффективному использованию ее народнохозяйственными организациями. Поэтому содержание и формы информации должны быть простыми и доступными потребителю.

Наиболее простой и удобной формой регулярной информации о текущем состоянии моря является устная форма передачи по телефону. Этот способ дает возможность организациям использовать получаемую информацию наиболее оперативно.

Суда в море получают информацию по радио в установленные сроки открытым текстом. При наличии на судне приемной фототелеграфной аппаратуры и при соответствующей подготовке штурманского состава информацию можно принимать по факсимильной связи в виде карт. Наилучшей формой связи между судном и группой обслуживания является радиотелефонная связь, но она пока не получила должного распространения.

Для регулярной информации руководителей партийных, советских органов и народнохозяйственных организаций выпускаются ежедневные морские гидрометеорологические бюллетени.

Ежедневный морской гидрометеорологический бюллетень содержит следующие данные:

1) гидросиноптическую карту за 3 часа (или другой срок, более близкий ко времени составления бюллетеня);

2) обзор погоды и состояния моря за прошедшие сутки;

3) предупреждения об опасных и особо опасных явлениях;

4) гидрометеорологические прогнозы на сутки и на последующие два дня по району обслуживания;

5) гидрометеорологические данные за 9 часов текущего дня по наблюдениям гидрометстанций и постов;

6) гидрометеорологические данные по порту за утренний срок текущего дня (уровень, температура воды, ледовые явления).

В приложении к бюллетеню могут даваться различные карты (ледовой обстановки, волнения, течения, температуры воды) и графики, учитывающие особенности гидрологического режима. Так, в ледовый период выпускаются специальные приложения, которые содержат карту состояния льдов, обзор ледовой обстановки за утренний срок текущего дня, а также прогноз ледовых явлений на следующий день. Все условные обозначения, используемые при нанесении на карту гидрометеорологических элементов, обязательно должны содержаться в бюллетене.

При составлении обзора гидрометеорологических условий необходимо в краткой и ясной форме обобщить наиболее важные сведения, помещенные на картах и в таблицах в морском бюллетене и представляющие наибольший интерес для организаций.

Прогнозы, обзоры и предупреждения, помещенные в бюллетене, подписываются составившими их специалистами. В конце бюллетеня указываются время выпуска, тираж, фамилии редактора и начальника прогностического органа. Подлинный экземпляр бюллетеня, подписанный исполнителями, хранится в архиве.

Кроме ежедневных морских бюллетеней, органами Гидрометслужбы совместно с научными учреждениями Министерства рыбного хозяйства составляются месячные гидрометеорологические и рыбопромысловые бюллетени, в которых дается информация о продуктивности промысловых районов за истекший месяц и дальнейших ее изменениях в зависимости от сложившихся и ожидаемых гидрометеорологических условий.

Месячные гидрометеорологические и рыбопромысловые бюллетени содержат:

1) обзор синоптических процессов по основным районам промысла;

2) прогноз погоды на месяц;

3) обзор гидрологических явлений по рыбопромысловым районам за истекший месяц и прогноз их на следующий месяц;

4) анализ промысловой обстановки за истекший месяц и ожидаемое распределение основных промысловых рыб и морепродуктов в следующем месяце.

По запросам организаций оперативные органы Гидрометслужбы выдают справки о наблюдавшихся и текущих гидрометеорологических условиях по различным районам океанов и морей. В справках, которые выдаются организациям для списания материальных ценностей, уничтоженных или поврежденных в результате неблагоприятных гидрометеорологических условий, в обязательном порядке указывается, предусматривались ли эти условия в прогнозах или штормовых предупреждениях, какова их заблаговременность, а также передавались ли они данной организации. Справки подписываются начальником оперативного органа и заверяются печатью.

§ 3. ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОЖИДАЕМОМ СОСТОЯНИИ МОРЯ

Морские гидрологические прогнозы и консультации об изменении гидрологических характеристик режима моря — важнейший вид оперативного гидрометеорологического обслуживания. Морские гидрологические прогнозы позволяют народнохозяйственным организациям с более или менее высокой достоверностью судить о будущем состоянии моря. Долгосрочные прогнозы учитываются в перспективном планировании производственной деятельности, краткосрочные — в повседневной практике.

Прогнозы составляются оперативными органами Гидрометслужбы, обеспеченными необходимым комплексом режимно-оперативных материалов, по закрепленной за ними акватории моря.

В зависимости от потребностей отраслей народного хозяйства гидрологические прогнозы составляются:

а) регулярно, согласно планам обслуживания (они предназначены для всех организаций и судов, находящихся в зоне обслуживания);

б) периодически, по заявкам обслуживаемых организаций, на определенный период времени по конкретному маршруту, району или акватории.

Прогнозы должны быть краткими и четкими, не допускающими двойственного толкования.

Большое значение имеет форма выпуска прогноза, так как от нее зависит правильность использования его организациями. Форма выпуска прогноза, в которой дается ожидаемая величина гидрологического элемента (или дата наступления гидрологического явления) и вероятная погрешность прогноза, является основной. Форма выпуска долгосрочного прогноза дат взлома припая и очищения ото льда дана в приложении 2.

Вопрос о форме выпуска долгосрочных прогнозов различных элементов режима моря решается органами службы морских прогнозов совместно с обслуживаемыми организациями.

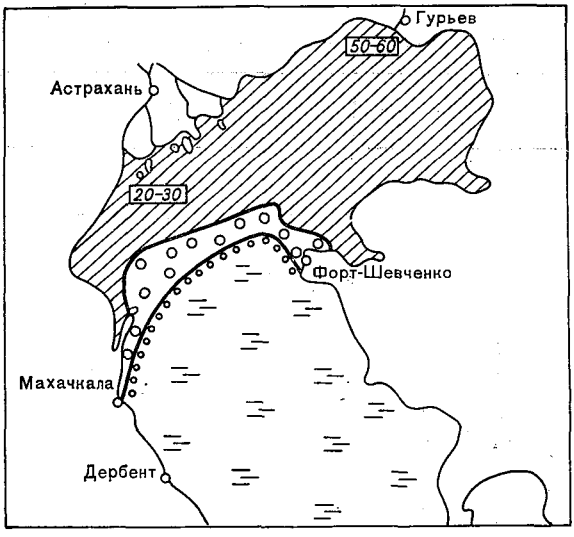


Рис. 11. Ожидаемое положение кромки льда в третьей декаде февраля 1973 г. на Каспийском море.

Долгосрочные прогнозы каждого элемента, составленные в соответствии с годовым планом выпуска прогнозов, считаются основными. В случае необходимости прогнозы уточняются. Под уточнением понимается всякое внеплановое изменение ранее выпущенного прогноза, вызванное непредвиденным изменением условий формирования предсказываемого явления. Уточнение прогноза выпускается по форме основного прогноза и немедленно передается теми же средствами связи, что и основной прогноз, всем обслуживаемым организациям. Выпуск уточнения прогноза одновременно означает отмену основного прогноза.

Гидрометцентр СССР ежемесячно выпускает бюллетени, содержащие долгосрочные прогнозы погоды по морям и океанам, а также бюллетени, содержащие долгосрочные морские гидрологические прогнозы.

1. Прогнозы появления льда и замерзания неарктических морей СССР в виде таблиц, в которых указываются название пункта, ожидаемые сроки, средняя многолетняя дата появления льда и замерзания моря.

2. Прогнозы ледовых условий на неарктических морях СССР в виде текста.

Пример. Белое море. Кромка плавучего льда в третьей декаде февраля будет проходить из района Лумбовского залива до точки с координатами 67° 45′ с. ш., 41° 20′ в. д., затем на северо-восток через точку с координатами 68° 15′ с. ш., 42° 30′ в. д. и далее на север. Ширина припая в заливах и бухтах ожидается в пределах нормы. Толщина льда в портах Архангельск и Онега достигнет 55—65 см.

Таблица 3

Условные обозначения для ледовых карт

Обозначение на карте	Характеристика льда
	Начальные виды льдов
	Дрейфующий лед
	Припай
	Сплоченная кромка льда
	Разреженная кромка льда
	Сплоченность льда (баллы)
	Показатель толщины льда (см)
	Чистая вода

В бюллетене по каждому морю на ледовых картах дается ожидаемое положение кромки льда (рис. 11) и приводятся условные обозначения (табл. 3). Кроме того, помещаются уточнения прогнозов ледовых условий.

Пример. На Каспийском море в третьей декаде февраля толщина льда в районе островов Пешных будет больше, чем предполагалось по прогнозу, помещенному в Бюллетене № 88-1969 г., и составит 55—65 см.

3. Прогнозы вскрытия и очищения ото льда неарктических морей СССР в виде таблиц, содержащих наименование моря и пунктов, сроки вскрытия и очищения моря ото льда (как ожидаемые, так и средние многолетние).

4. Прогнозы уровня Каспийского моря и их уточнения в виде таблиц.

Пример. Прогноз уровня (в см) Каспийского моря на апрель и май 1972 г.

Пункт	Апрель					Май				
	Наиболее вероятный уровень	Уровень, вероятность превышения которого равна				Наиболее вероятный уровень	Уровень, вероятность превышения которого равна			
		10%	25%	75%	90%		10%	25%	75%	90%
Баку	—41	—33	—37	—45	—49	—32	—27	—27	—37	—37
Махачкала	—50	—44	—47	—53	—56	—42	—36	—39	—45	—48
Форт-Шевченко	—51	—47	—49	—53	—55	—44	—39	—41	—47	—49
Красноводск	—58	—54	—56	—60	—62	—50	—45	—47	—53	—55
о. Жилой	—58	—53	—56	—60	—63	—52	—47	—49	—55	—58
Куули-Маяк	—55	—50	—53	—57	—60	—49	—44	—46	—52	—54
Кара-Богаз-Гол	—62	—58	—60	—64	—66	—55	—50	—52	—58	—60
Средний уровень	—54	—48	—51	—56	—59	—46	—41	—43	—50	—52

Примечание. Уровни даны в отсчетах от единого нуля моря, равного —28,00 м относительно нуля Кронштадтского футштока.

5. Прогнозы ожидаемого распределения температуры поверхности воды в северных частях Атлантического и Тихого океанов в виде текста.

Пример. В январе в северо-западных районах Атлантического океана температура воды ожидается ниже нормы на 0,2—0,7°, в юго-западных — на 0,8—1,5°.

В бюллетене приводятся карты ожидаемого распределения температуры воды на поверхности океанов (рис. 12).

Бюллетень печатается тиражом в несколько сотен экземпляров и рассылается потребителям по почте.

Для выпуска краткосрочных прогнозов элементов режима моря используются формы, в которых указывается наименование моря, ожидаемая величина элемента и вероятная погрешность, ожидаемое время наступления прогнозируемой величины элемента. В прогнозах толщины льда и высоты волн вероятная погрешность не указывается. Прогнозы ветровых волн всегда даются вместе с прогнозом ветра.

Примеры. 1. По Кавказскому району 6 октября ожидается ветер западный, ночью 11—12, днем 7—8 баллов, волнение моря 5—6 баллов, высота волн 30—50 дм.

2. Толщина льда в порту Жданов достигнет 60—70 см.

3. 5—6 августа в районе Флемишкап ожидается ветер западный, северо-западный 9—12 м/с, высота волн 2—3 м.

Краткосрочные прогнозы выпускаются в день их составления, а долгосрочные — не позднее чем через два дня после их составления. Способ передачи прогнозов потребителям указывается в плане обслуживания.

Если прогнозы не составляются, то по запросам потребителей оперативные органы могут давать консультации об ожидаемых изменениях характеристик гидрологического режима моря. Консуль-

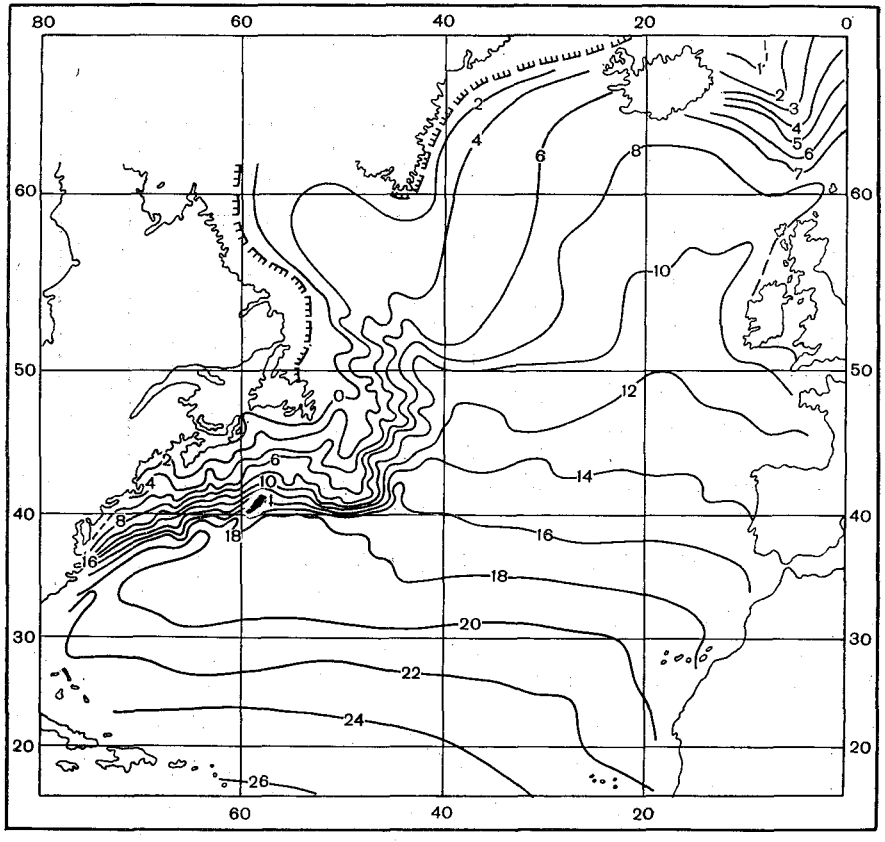


Рис. 12. Прогноз температуры поверхностного слоя воды для Северной Атлантики на 11—15 февраля 1971 г.

тации даются текстом, в котором кратко излагается текущая гидрометеорологическая обстановка, а затем указываются ожидаемые качественные изменения гидрометеорологических характеристик. Содержание консультации зависит от того, насколько полно представлены исходные гидрологические данные и насколько надежно позволяют они оценить условия формирования гидрологического явления.

Экономический эффект консультаций для отраслей народного хозяйства может быть значительным. Например, специалисты

Мурманского УГМС дали консультацию Управлению «Севрыба» о том, что 16—19 ноября 1968 г. в районе о. Колгуев ожидаются благоприятные для промысла гидрологические условия. Учитывая этот прогноз, Управление увеличило группу промысловых судов и продлило срок лова. В итоге экономический эффект составил примерно 227 тыс. руб.

Кроме того, по запросам составляются справки о наблюдавшихся гидрологических характеристиках, по которым можно оценить возможные изменения состояния моря. Справки составляются в табличной форме или в виде текста и содержат многолетние характеристики гидрологических элементов.

§ 4. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБ ОПАСНЫХ И ОСОБО ОПАСНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЯХ

Своевременное предупреждение народнохозяйственных организаций и отдельных объектов об угрожаемой им опасности, вызванной неблагоприятными гидрологическими явлениями, — это важнейшая задача органов Гидрометслужбы.

Исходными материалами для предупреждения служат:

1) прогноз величины или характера ожидаемого гидрологического явления и времени его наступления;

2) показатели (критерии) опасности гидрологического явления.

Показатели (критерии) опасности позволяют определить конкретный характер возможных вредных воздействий неблагоприятных гидрологических явлений. Показатели опасности определяются организациями для каждого хозяйственного объекта при активном участии органов службы морских прогнозов. Они представляют количественную или качественную характеристику гидрометеорологических явлений (элементов), при которых может произойти повреждение или разрушение объектов (например, высоты волн, при которых может быть повреждено или потоплено судно).

В предупреждениях об опасных или особо опасных явлениях сообщается о возникновении или усилении гидрометеорологических явлений, представляющих опасность для практической деятельности обслуживаемых организаций; их также называют штормовыми предупреждениями.

Предупреждение дается обычно с небольшой заблаговременностью, когда уже имеется возможность оценить сложившуюся гидрологическую обстановку, в которой ожидается развитие опасного явления. Однако заблаговременность предупреждения должна быть достаточной для принятия организациями необходимых мер предосторожности.

Предупреждение должно быть конкретным. Помимо характеристики ожидаемого опасного явления и времени его наступления необходимо также конкретно указывать его возможные вредные воздействия.

Пример. Сегодня в 10—12 часов в районе порта ожидается усиление юго-западного ветра до 9—10 баллов, волнение моря 5—6 баллов, высота волн 25—

35 дм, умеренный тягун. Возможно повреждение судов, стоящих у причалов порта.

Конкретная опасность ожидаемых явлений для отдельных объектов не указывается в следующих случаях:

1) когда ожидаемое явление может произвести огромные разрушения на большой территории (например, цунами);

2) когда явление опасно в силу своей необычности (например, очень раннее замерзание моря);

3) когда ожидаемое явление опасно для подвижных объектов, местоположение которых в момент предупреждения неизвестно (например, суда в море).

Консультации об опасном развитии гидрологических явлений даются на основании анализа сведений о текущем состоянии погоды и моря, знания особенностей развития явления в условиях данного района и прогнозов погоды на ближайшее время в тех случаях, когда прогнозы соответствующих гидрологических элементов (явлений) не выпускаются.

Штормовые предупреждения и консультации об опасном характере развития гидрологических явлений составляются по инициативе органов службы морских прогнозов, не ожидая запроса, и доводятся до сведения народнохозяйственных организаций немедленно после составления. Ответственность за своевременную передачу штормовых предупреждений обслуживаемым организациям несет дежурный океанолог оперативного прогностического органа, составивший предупреждение, а на гидрометеорологических станциях — дежурный специалист, получивший предупреждение из оперативного органа.

Все штормовые предупреждения учитываются в журнале ГП-33, в котором записываются номер предупреждения, наименование опасного явления (элемента), дата составления и выпуска предупреждения, район моря, содержание (текст) предупреждения, наименование обслуживаемых организаций, а также фамилии передавшего и принявшего предупреждение.

Значение предупреждений и консультаций об опасном развитии гидрологических явлений для народного хозяйства необычайно велико. Например, в январе 1970 г. специалисты Камчатского УГМС дали консультацию о сохранении в течение двух суток штормового волнения у юго-восточного побережья Камчатки, в связи с чем руководство рыбопромысловой экспедиции приняло решение о переводе нескольких десятков судов в другие районы, где было выловлено значительное количество рыбы. Экономическая эффективность этой консультации составила 90 тыс. руб.

§ 5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОПЕРАТИВНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В рекомендациях гидрометеорологи предлагают организациям пути наиболее целесообразного использования ожидаемых гидрометеорологических условий при планировании и осуществлении

производственных операций или возможные меры предосторожности, которые целесообразно применять для уменьшения вредного воздействия гидрометеорологических явлений на деятельность отраслей народного хозяйства.

Для составления рекомендаций необходимо:

1) иметь достаточно надежный гидрологический прогноз;

2) знать особенности производственной деятельности обслуживаемой организации, а также характер влияния на ее объекты гидрологических явлений;

3) знать сезонные особенности гидрологического режима обслуживаемой акватории и его возможные аномальные отклонения.

Рекомендации даются устно или письменно в произвольной форме и должны быть краткими, четкими и конкретными. Они записываются в специальном журнале, в котором приводятся также сведения о выполнении их организациями и полученном при этом производственном экономическом эффекте.

Рекомендации составляются как по запросам организаций, так и по инициативе оперативных органов Гидрометслужбы. Они позволяют правильно использовать гидрологические условия в деятельности организаций, например при выборе наивыгоднейших маршрутов плавания судов в океане. Такие рекомендации в СССР впервые начал давать в 1964 г. Гидрометцентр, позднее к этой работе были привлечены Мурманское УГМС (обслуживает суда Северного морского пароходства и Управления «Севрыба»), бюро погоды Черного и Азовского морей (обслуживает суда Черноморского морского пароходства и Управления «Азчеррыба») и Владивостокское бюро погоды (обслуживает суда Дальневосточного морского пароходства и Управления «Дальрыба»).

Основное назначение рекомендаций — помощь судоводителям в выборе экономически выгодного и безопасного пути плавания при сложившейся и ожидаемой гидрометеорологической обстановке в океане. Наивыгоднейшие курсы плавания судов рассчитываются органами службы морских прогнозов на основе фактических и прогнозируемых карт погоды и состояния океана с учетом мореходных качеств судна. Суда, капитаны которых пользуются рекомендациями, совершают рейсы быстрее и в более благоприятных условиях.

С каждым годом увеличивается число рекомендаций и эффективность их использования. Так, за 1965—1967 гг. было проведено рекомендуемыми курсами около 1900 судов, что дало экономию 4 млн. руб.

В мае 1969 г. Северным УГМС был рекомендован маршрут плавания, позволивший провести караван из 12 судов-лесовозов в порт Архангельск на 10 дней раньше запланированного срока. Это позволило сэкономить 216 тыс. руб.

В 1971 г. благодаря рекомендациям удачно был осуществлен перегон плавкранов из портов Черного моря в порты дальневосточных морей через Панамский канал и перегон дока из Херсона в Находку вокруг Африки. В целом за 1971 г. экономия при

использовании наиболее выгодных путей плавания составила 9,5 млн. руб.

Таким образом, использование рекомендуемых курсов плавания дает существенную экономию (в среднем за год 2,8% ходового времени), которая может быть еще более значительной при условии повышения качества обслуживания и улучшения взаимодействия между оперативными органами Гидрометслужбы и капитанами судов.

§ 6. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОПЕРАТИВНЫХ ОРГАНОВ ГИДРОМЕТСЛУЖБЫ И НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Четко организованное взаимодействие оперативных органов Гидрометслужбы и народнохозяйственных организаций является необходимым условием качественного гидрометеорологического обеспечения.

Взаимодействие должно способствовать :

1) более полному и всестороннему изучению специалистами Гидрометслужбы производственной деятельности организаций и правильному определению требований в гидрометеорологическом обеспечении;

2) взаимопониманию при организации информации о наблюдавшихся и текущих гидрометеорологических условиях и их ожидаемых изменениях;

3) эффективному использованию организациями различных гидрометеорологических материалов, получаемых от Гидрометслужбы;

4) своевременному принятию мер в связи с неблагоприятными гидрометеорологическими условиями;

5) выявлению недостатков в гидрометеорологическом обеспечении.

Основными методами взаимодействия с морскими организациями являются:

1) непосредственные контакты между специалистами Гидрометслужбы и морских организаций;

2) посещение специалистами Гидрометслужбы обслуживаемых организаций (портов, баз, флотилий, рыболовецких колхозов, рыбозаводов и т. п.) и районов промысла в целях ознакомления с производственной деятельностью и выявления полноты использования гидрологических материалов в их практической деятельности;

3) доклады специалистов Гидрометслужбы о текущих и ожидаемых гидрометеорологических условиях в обслуживаемых организациях;

4) совместные разборы случаев неоправдавшихся штормовых предупреждений или не доведенных до адресатов прогнозов и предупреждений об опасных явлениях, вызвавших нарушения в деятельности организаций;

5) совместные совещания специалистов Гидрометслужбы с представителями морских организаций по итогам гидрологического

обеспечения, по совершенствованию и отысканию новых, лучших форм обслуживания и методов их внедрения;

6) проведение лекций, докладов и бесед с целью пропаганды гидрометеорологических знаний.

В целях улучшения взаимодействия между органами Гидрометслужбы и обслуживаемыми организациями заранее согласовывается порядок гидрологического обеспечения, а также взаимные обязанности сторон. Так, например, для успешной проводки судов в океане необходимо четкое взаимодействие между группой обслуживания и капитанами судов. Капитаны обязаны своевременно направлять запросы в органы Гидрометслужбы, указав в них тактико-технические данные судна (скорость хода на спокойной воде, фактическую скорость, водоизмещение, загрузку, наличие палубного груза, ограничения на высоту волн), а также поддерживать регулярную связь с группой обслуживания, информируя ее о своем местоположении и погоде в районе плавания. В свою очередь группа обслуживания должна передавать на судно координаты рекомендуемого пути и сведения об ожидаемой погоде на нем. В первой радиограмме сообщается также краткая характеристика гидрометеорологических условий в океане. В последующих ежедневных сообщениях на судно кроме уточнения курса дается прогноз высоты и направления волн по пути следования на ближайшие двое суток, а при необходимости — сведения о ветре, о возможности встречи айсбергов, границах льдов, туманах, тропических циклонах и других опасных явлениях.

Капитан должен давать подтверждение о том, что рекомендации приняты к исполнению, или сообщать об отказе от них. Однако передавать координаты судна и сведения о текущих погодных условиях в группу обслуживания он обязан во всех случаях.

В соответствии с меняющейся обстановкой группа обслуживания уточняет ранее рекомендованный курс, если в этом есть необходимость. Уточненный курс вместе с очередным прогнозом волнения передается на судно.

Обслуживание ведется на всем переходе судна. В целях улучшения обслуживания судов рекомендуемыми курсами совершенствуются формы и методы взаимодействия оперативных органов Гидрометслужбы с судоводителями. Для этого специалисты-гидрометеорологи проводят инструктаж судоводителей непосредственно на борту судна перед выходом в море.

Основными документами, определяющими взаимные обязательства и порядок взаимодействия по гидрометеорологическому обеспечению, являются генеральные соглашения, заключенные между Гидрометслужбой и обслуживаемыми министерствами. Местные УГМС и соответствующие морские организации на основании этих соглашений заключают локальные соглашения, в которых предусматриваются конкретные обязательства сторон по организации и улучшению гидрометеорологического обеспечения. Для обеспечения выполнения своих обязательств органы Гидрометслужбы составляют годовые планы гидрометеорологического обеспечения и

согласовывают их с морскими организациями (приложение 3). Планы должны определять весь объем и порядок обслуживания. В них указываются:

а) акватория (район) обслуживания;

б) виды и объем передач гидрометеорологических материалов;

в) орган Гидрометслужбы, ответственный за составление гидрометеорологических материалов;

г) способы и сроки доведения материалов до организаций.

Планы обеспечения министерств и центральных ведомств составляются Гидрометцентром СССР по согласованию с ними и утверждаются ГУГМС. Планы обеспечения местных организаций составляются УГМС, в районе обслуживания которого находятся эти организации.

На последующий год планы гидрометеорологического обеспечения составляются в четвертом квартале текущего года. Если объем и порядок обеспечения на последующий год остаются прежними, срок действия плана по договоренности с организациями может быть продлен.

При составлении плана оперативные органы Гидрометслужбы тщательно изучают и учитывают потребности обслуживаемой организации, а также реальные возможности их удовлетворения. Все возникающие при этом затруднения разрешаются с представителем организации. При наличии нескольких планов составляется один сводный план, которым пользуются в повседневной деятельности работники оперативного органа.

Разовое гидрологическое обеспечение осуществляется по специальным запросам организаций, которые должны быть посланы в органы Гидрометслужбы не позднее чем за одни сутки, если обеспечение производится береговыми органами, и не менее чем за два месяца, если для обслуживания необходимо создание специальной группы.

Если в работе морской организации произойдет происшествие, связанное с неблагоприятными гидрометеорологическими условиями, и вызовет большой ущерб, то данное происшествие подлежит рассмотрению специальной комиссией, которая должна состоять из представителей Гидрометслужбы и морской организации. Комиссия детально рассматривает обстановку, в которой произошло происшествие, определяет вызвавшие его основные причины, устанавливает степень виновности должностных лиц и намечает меры предотвращения таких происшествий в будущем. Результат работы комиссии по рассмотрению крупных происшествий оформляется специальным протоколом, составляемым в трех экземплярах (один экземпляр хранится в делах организации, второй высылается в ГУГМС, третий остается в УГМС). При работе комиссия использует материалы наблюдений гидрометстанций и постов, а при их отсутствии — показания свидетелей. По результатам рассмотрения происшествия начальником УГМС и начальником организации издается приказ, направленный на устранение выявленных недостатков в гидрометеорологическом обеспечении. Одно-

стороннее рассмотрение происшествий и выводы по ним являются неправомерными.

Правильно организованное взаимодействие между органами Гидрометслужбы и народнохозяйственными учреждениями способствует повышению эффективности гидрологического обеспечения, под которой понимается степень пользы для организаций гидрометеорологических прогнозов, штормовых предупреждений, рекомендаций, справок, консультаций и режимных материалов.

Изучение эффективности гидрологического обеспечения проводится органами Гидрометслужбы совместно с обслуживаемыми организациями на основании анализа полноты использования гидрологических материалов этими организациями и причин аварий и происшествий.

В целях отыскания лучших форм обслуживания производится оценка эффективности гидрологического обеспечения путем обобщения сведений о влиянии гидрологических условий на различные производственные процессы. В основу оценки эффективности обеспечения берутся данные об убытках. Полный ущерб, вызванный гидрологическими явлениями, обобщается за каждый месяц и группируется по четырем категориям:

1) ущерб, вызванный гибелью или повреждением судов, промыслового вооружения и перевозимых грузов, — убытки в результате аварий;

2) убытки, вызываемые разрушениями береговых и портовых сооружений;

3) ущерб, обусловленный непроизводительными простоями и потерей времени в портах и на переходах, — убытки в результате простоев флота;

4) убытки, вызванные прекращением работ в портах из-за невозможности эксплуатации портовой техники.

По каждой категории определяются общие убытки независимо от того, были ли предусмотрены неблагоприятные условия в прогнозах и штормовых предупреждениях.

Общие убытки делятся на неизбежные, потенциально предотвратимые и фактически предотвращенные. Они служат основным показателем степени зависимости производственной деятельности от гидрометеорологических условий.

К неизбежным относятся убытки, которые нельзя предотвратить даже в случае своевременного предупреждения (например, цунами), убытки, связанные с невозможностью работ по гидрометеорологическим условиям, и убытки, которые нельзя предотвратить из-за отсутствия соответствующих методов прогноза и фактических гидрометеорологических данных.

Потенциально предотвратимые убытки представляют собой часть общих убытков, которые имели место, но в принципе могли быть устранены при существующем уровне прогнозирования и правильном использовании информации. К этой группе относятся убытки, вызванные несвоевременной отменой неоправдавшихся

предупреждений, и убытки в результате аварий судов из-за неблагоприятных условий.

К предотвращенным относятся убытки, которые не были допущены благодаря своевременному и правильному использованию полученных гидрометеорологических материалов. В эту группу входят выигрыши во времени при проводке судов рекомендуемыми курсами и в результате использования прогнозов, рекомендаций, консультаций и т. д.

Общим принципом оценки эффективности гидрологического обеспечения оперативными материалами служит сравнение ущерба, который получают при планировании производственных операций с учетом прогноза, с ущербом, который получают при планировании с учетом средних гидрометеорологических условий.

Общим принципом оценки эффективности использования режимных материалов является сравнение ущерба, который мог бы иметь место без учета режимных материалов, с ущербом (или выигрышем), который получается при использовании этих материалов.

Эффективность гидрометеорологического обеспечения в денежном выражении или в других экономических показателях носит название экономической эффективности. Эффективность, выраженная в процентах плана, в сравнительных цифрах по отношению к уровню обслуживания предшествующего периода, называется относительной эффективностью. Экономическая эффективность является наиболее конкретной формой оценки гидрометеорологического обеспечения.

§ 7. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРСКИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОБСЛУЖИВАЕМЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

С целью повышения эффективности оперативного гидрологического обеспечения морских отраслей народного хозяйства органы Гидрометслужбы проводят изучение влияния морских гидрологических условий на их деятельность. К основным морским отраслям народного хозяйства относятся: судоходство, морской промысел (рыбный, китобойный, зверобойный), энергетика (приливные электростанции), морские курорты, морские изыскания и гидротехническое строительство, добыча полезных ископаемых.

Волнение, лед, сгонно-нагонные явления, тягун и другие гидрологические явления снижают эффективность и создают угрозу безопасности проведения работ в океанах и морях.

Волнение оказывает неблагоприятное действие на движение судов, снижает их скорость и остойчивость. Сильное волнение вызывает повреждение или разрушение береговых сооружений (причалов, волноломов и т. п.) и корпусов судов, приводит к повреждению палубных надстроек, устройств и механизмов, потере орудий лова, разрушению берегов, задерживает суда при входе и выходе из порта.

Появление льда в порту осложняет его работу, а на пути движения судов затрудняет или делает невозможным их продвижение. Сжатия, подвижки, дрейф и торошение льдов приводят к повреждениям судов, портовых сооружений и нефтепромыслов, затрудняют морской промысел.

Сгонно-нагонные явления, сопровождающиеся опасными подъемами и понижениями уровня моря, создают угрозу катастрофических наводнений, повреждения судов, разрушения береговых сооружений, затрудняют выход и вход судов в порты.

Тягун способствует срыву судов с якорей, наваливанию их на причалы, что приводит к повреждению судов и причалов, вызывает столкновение судов и делает невозможным их стоянку в порту.

Течения влияют на ход судна и его курс. При плаваниях в проливах и каналах их неучет приводит к авариям.

Гидрологическое обеспечение морских организаций должно проводиться со знанием их технического оснащения и назначения объектов обслуживания.

Изучение влияния морских гидрологических условий на деятельность обслуживаемых организаций способствует выявлению реальных потребностей организаций в гидрологических материалах, повышает ответственность за полноту и качество обслуживания, облегчает нахождение наиболее целесообразного способа учета ожидаемого состояния моря в деятельности различных морских организаций. Для этого необходимо тщательное и всестороннее ознакомление работников Гидрометслужбы с содержанием производственных процессов, а также со степенью влияния отдельных гидрологических явлений на ход и безопасность морских работ.

При изучении влияния морских гидрологических условий на деятельность обслуживаемых организаций выявляются:

1) основные задачи и характер производственной деятельности;
2) структура (организационное построение);
3) акватория, район деятельности;
4) время и порядок планирования работ;
5) степень учета влияния гидрологических условий при планировании и осуществлении производственных процессов;
6) критерии опасности гидрологических явлений для отдельных хозяйственных объектов;
7) потребность в гидрологическом обеспечении и его назначение (для каких целей, период, по каким районам акватории, вид информации, заблаговременность).

Изучение деятельности морских организаций проводится путем:

а) непосредственного ознакомления с деятельностью организаций;

б) заслушивания в органах Гидрометслужбы докладов и сообщений представителей организаций об особенностях, перспективах развития, техническом оснащении этих организаций и т. д.;

в) изучения пособий, справочников, лоций и другой литературы, освещающей деятельность организаций;

г) ознакомления с уставами, инструкциями, положениями и другими документами, определяющими основные задачи организаций.

Результаты изучения производственной деятельности морских организаций и влияния гидрологических условий на их деятельность оформляются техническими записками, которые иллюстрируются картографическими материалами и фотографиями, отображающими производственные процессы, районы промысла или работ, результаты воздействия опасных гидрологических явлений. Технические записки должны регулярно пополняться и обновляться. Они являются необходимым пособием для специалистов Гидрометслужбы в целях изучения и ознакомления с производственной деятельностью обслуживаемых организаций.

Существенными особенностями отличается оперативное гидрологическое обслуживание основных морских отраслей народного хозяйства — службы движения флота и эксплуатации морских портов.

Важнейшей задачей службы движения флота и эксплуатации портов является сокращение времени, затрачиваемого судами на переходы между портами, а также на погрузо-разгрузочные операции. Большое значение имеет правильный выбор судовых трасс с учетом сложившихся и ожидаемых гидрометеорологических условий.

Наибольшее влияние на судоходство оказывает волнение, приводящее не только к потере скорости хода, но и к авариям и даже гибели судов. Так, в сентябре 1960 г. вызванные ураганом «Донна» волны стали причиной гибели 12 судов в тропической зоне Атлантического океана.

Тяжелые морские льды, айсберги и их обломки при столкновении с судами также могут стать причиной их гибели. Раннее замерзание моря нарушает навигацию, а для обеспечения судоходства в суровые зимы приходится прибегать к помощи ледоколов даже на неарктических морях СССР. Так, в феврале 1972 г. для обеспечения навигации на Черном и Азовском морях был срочно вызван с Балтики мощный ледокол «Капитан Мелехов».

В холодное время года при сильном ветре и низкой температуре воздуха может наблюдаться интенсивное обледенение судов, в результате которого они могут потерять остойчивость и опрокинуться. Особую опасность обледенение представляет для небольших рыбопромысловых судов, работающих зимой вдали от берегов. Обледенение наблюдается в северных частях Атлантического и Тихого океанов, в Гренландском, Норвежском, Баренцевом, Северном, Беринговом, Охотском и других морях. Гибель судов от обледенения — явление довольно частое. Так, в 1957—1961 гг. от обледенения погибло 44 японских судна. Только 19 января 1965 г. в Беринговом море погибло четыре советских и шесть японских траулеров.

Морские порты по своему назначению разделяются на торговые, специализированные (лесные, нефтяные и др.), рыбные и порты-убежища. Различные портовые сооружения (причалы, волноломы, молы и др.) находятся под непрерывным воздействием волн и колебаний уровня моря, а в зимнее время на замерзающих морях — и льдов. Волнение моря затрудняет заход судов в порт и выход из порта, разрушает портовые сооружения.

Большой ущерб в некоторых портах (Туапсе, Батуми и др.) наносит тягун, который препятствует погрузо-разгрузочным работам и делает невозможной стоянку судов у причалов.

Понижение уровня в результате сгона затрудняет подход судов к причалам в мелководных районах морей, а значительные повышения уровня приводят к затоплению хозяйственных объектов. Так, катастрофический нагон в Темрюкском заливе Азовского моря в октябре 1969 г. нанес ущерб народному хозяйству в несколько миллионов рублей, имелись человеческие жертвы.

Важнейшим видом производственной деятельности рыбной промышленности является рыбный промысел, который разделяется на береговой лов и лов в открытых частях морей и океанов. Промысловые районы располагаются в различных климатических зонах Мирового океана. В обеспечении промысла принимают участие промысловые, обрабатывающие, транспортные и вспомогательные суда. Успеху промысловых операций способствуют предшествующие им ледовые авиаразведки и самолетные съемки температуры поверхности воды. Сроки начала путины зачастую зависят от сроков наступления определенных значений температуры воды.

Большое влияние на промысел оказывает волнение моря. В значительной мере зависит от волнения дрифтерный лов сельди в Норвежском море, где каждый непредупрежденный шторм приводит к потерям сетей на большие суммы. Серьезным препятствием для промысловой деятельности флота является распространение плавучего льда и айсбергов в северо-западной части Атлантического океана (у Ньюфаундленда и Лабрадора).

В оптимальный состав оперативного гидрологического обеспечения судоходства входят следующие виды обслуживания:

1) регулярная информация о текущем состоянии моря по отдельным районам и судовым трассам (высота ветровых волн и зыби, характеристики льда, скорость и направление течений);

2) прогнозы по отдельным районам моря и судовым трассам (высота ветровых волн и зыби, положение кромки льда, толщина льда, ледовые фазы, скорость и направление течений);

3) предупреждения об опасной высоте волн, тропических циклонах, а также колебаниях уровня и ледовых явлениях, достигающих опасных для судов значений;

4) рекомендации по проводке отдельных судов и караванов наивыгоднейшими курсами плавания.

В оптимальный состав обеспечения районов промысла кроме вышеперечисленных видов входит информация о температуре воды, а также прогнозы термического состояния морей.

В оптимальный состав оперативного гидрологического обеспечения эксплуатации морских портов входят:

1) регулярная информация о состоянии моря в районе портов (волнение, колебания уровня, лед);

2) прогнозы по акватории портов и прилегающим к ним районам (волнение, непериодические колебания уровня, время наступления ледовых фаз, толщина льда и др.);

3) предупреждения об опасной высоте волн, тягуне, а также о колебаниях уровня и ледовых явлениях, достигающих опасных значений;

4) рекомендации по наиболее целесообразному учету ожидаемого состояния моря при эксплуатации портов.

В различных видах гидрометеорологического обеспечения нуждаются также гидротехническое строительство на морях, нефтепромыслы и добыча полезных ископаемых со дна моря, а также морские курорты.

Конкретный объем и содержание оперативного гидрологического обеспечения каждой морской отрасли народного хозяйства определяются характером ее производственной деятельности и степенью зависимости ее от гидрологических условий.

Повышение эффективности гидрологического обслуживания, с одной стороны, связано с совершенствованием методов прогнозов и расчетов различных гидрологических элементов и явлений, а с другой — с улучшением взаимодействия между оперативными органами Гидрометслужбы и морскими организациями. Изучение влияния гидрологических условий на деятельность морских отраслей народного хозяйства позволяет улучшить их гидрометеорологическое обслуживание, а это даст возможность сохранить значительные материальные ценности.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что понимается под гидрологическим обеспечением?
2. Какие гидрологические материалы относятся к оперативным и режимным?
3. Каким путем осуществляется гидрологическое обслуживание?
4. Какие требования предъявляются к информациям о текущем состоянии морей и океанов?
5. Какие сведения содержит Ежедневный морской гидрометеорологический бюллетень?
6. Какие требования предъявляются к морским гидрологическим прогнозам?
7. Какие данные содержатся в основной форме прогноза?
8. Что представляет собой консультация об ожидаемых характеристиках гидрологического режима моря?
9. Что сообщается в предупреждениях об опасном явлении?
10. Каковы исходные материалы для составления штормовых предупреждений?
11. Когда конкретная опасность ожидаемых явлений для отдельных объектов не указывается?
12. Как учитываются штормовые предупреждения?

ГЛАВА III

ФОНД НАУЧНО-ОПЕРАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО МОРСКИМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОГНОЗАМ

§ 1. СОДЕРЖАНИЕ МАТЕРИАЛОВ, СОСТАВЛЯЮЩИХ НАУЧНО-ОПЕРАТИВНЫЙ ФОНД

Работа оперативных органов Гидрометслужбы основывается на глубоком знании гидрометеорологического режима моря, на анализе условий формирования гидрологических явлений и научно обоснованных методах их прогноза.

Основой для изучения гидрометеорологического режима моря и всей оперативной деятельности органов Гидрометслужбы являются материалы многолетних гидрологических и метеорологических наблюдений, дополнительные материалы по гидрографии, геологии, режиму устьев крупных рек (Дунай, Дон, Волга и др.), материалы специальных исследований, методические указания, литературные источники. Совокупность этих материалов составляет научно-оперативный фонд.

К фондовым материалам предъявляются следующие основные требования:

1) в состав фондовых материалов должны входить данные наблюдений всех элементов гидрологического режима моря и все необходимые для морских прогнозов метеорологические данные, и, безусловно, они должны быть надежными и репрезентативными;

2) фондовые материалы должны быть обработаны в соответствии с требованиями методики прогнозов с соблюдением единообразия форм и методики обработки материалов.

Содержание и объем фондовых материалов определяются:

1) особенностями гидрологического режима моря и степенью его изученности;

2) потребностью обслуживаемых народнохозяйственных организаций;

3) потребностью при разработке методов морских прогнозов.

Все фондовые научно-оперативные материалы можно разделить на три основные группы:

1) материалы гидрометеорологических наблюдений;

2) графические и картографические материалы;

3) научно-методические материалы и литературные источники.

§ 2. МАТЕРИАЛЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Материалы гидрологических и метеорологических наблюдений на морях опубликованы в Сборниках гидрологических наблюдений (до 1914 г.), в Основных гидрометеорологических сведениях на мо-

рях и Сведениях о состоянии льдов на морях СССР (до 1936 г.), в Морских гидрометеорологических ежегодниках (1936—1960 гг.) и Морских гидрометеорологических ежемесячниках (с 1961 г.).

В этих изданиях в специальных таблицах помещены материалы гидрологических и метеорологических наблюдений за уровнем моря, течениями, элементами волн, температурой и соленостью воды, состоянием льдов, атмосферным давлением, ветром, температурой и влажностью воздуха, облачностью, осадками, видимостью и атмосферными явлениями.

Кроме таблиц с основными гидрометеорологическими элементами, содержащимися в морских гидрометеорологических ежегодниках и ежемесячниках, в органах службы морских прогнозов составляются таблицы, в которые включаются даты перехода температуры воды через определенные градации, разности уровней и разности атмосферного давления в различных пунктах, суммы проекций ветра на эффективное направление и др.

В таблицы с материалами по ледовому режиму морей включаются следующие данные: сроки наступления различных фаз ледовых явлений, форма и сплоченность льда, толщина льда, высота и плотность снега на льду, положение кромки льда, состояние ледяного покрова (торосистость, разрушенность и пр.).

Кроме того, на каждой морской гидрометеорологической станции составляются «Таблица характерных элементов ледового режима» ГП-33 (табл. 4) и таблица «Многолетние характеристики ледового режима» ГП-34 (табл. 5). По истечении ледового периода эти таблицы дополняются, а средние многолетние характеристики уточняются.

В некоторых бюро погоды составляется таблица «Показатели ледовитости» (табл. 6), в которой указываются даты основных ледовых явлений, формы плавучего и неподвижного льда, показатели суровости зимы и другие сведения.

В качестве фондовых материалов могут использоваться также месячные и годовые таблицы (ТМ-1, ТМ-19, ТГМ-1 и др.), составляемые на морских гидрометеорологических станциях, отчеты о гидрологических разрезах, съемках и многочасовых (многосуточных) станциях, в которых содержатся таблицы ТГМ-3М с данными глубоководных гидрологических и гидрохимических наблюдений, таблицы ТГМ-16М с данными наблюдений за течениями на буйковых станциях и другие материалы.

В настоящее время гидрометеорологическое обеспечение материалами о режиме морей и океанов осуществляется Центром океанографических данных (ЦОД), находящимся в Обнинске. ЦОД собирает, систематизирует, обрабатывает и хранит данные всех видов океанографических наблюдений, а также издает справочник Сведения об экспедиционных океанографических работах в Мировом океане, в котором содержится информация о имеющихся в ЦОДе материалах наблюдений отечественных и зарубежных экспедиций.

Таблица 4

ГП-33

Таблица характерных элементов ледового режима

Станция ———————, координаты: широта ———————, долгота ———————, район ———————

№ п/п	Годы (зима)	Первое появление льда	Появление устойчивого льда	Появление плавучего льда сплоченностью 4 балла и более	Появление устойчивого льда сплоченностью 4 балла и более	Появление плавучего льда сплоченностью 8 баллов и более	Появление устойчивого льда сплоченностью 8 баллов и более	Первое полное замерзание	Устойчивое полное замерзание	Последнее вскрытие	Первый взлом льда	Исчезновение припая	Исчезновение плавучего льда сплоченностью 8 баллов	Устойчивое исчезновение плавучего льда сплоченностью 8 баллов и более	Исчезновение плавучего льда сплоченностью 4 балла и более	Устойчивое исчезновение льда сплоченностью 4 балла и более	Окончательное очищение	Максимальная толщина льда	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Таблица 5

ГП-34

Многолетние характеристики ледового режима

Станция ———————, координаты: широта ———————, долгота ———————, район ———————

За период ———————

	Первое появление льда	Появление устойчивого льда	Появление плавучего льда сплоченностью 4 балла и более	Появление устойчивого льда сплоченностью 4 балла и более	Появление плавучего льда сплоченностью 8 баллов и более	Появление устойчивого льда сплоченностью 8 баллов и более	Первое полное замерзание	Устойчивое полное замерзание	Последнее вскрытие	Первый взлом льда	Исчезновение припая	Исчезновение плавучего льда	Устойчивое исчезновение плавучего льда сплоченностью 8 баллов и более	Исчезновение плавучего льда сплоченностью 4 балла и более	Устойчивое исчезновение плавучего льда сплоченностью 4 балла и более	Окончательное очищение	Максимальная толщина	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Сумма																		
Среднее																		
Раннее																		
Позднее																		
Амплитуда																		

Таблица 6

Показатели ледовитости

Даты основных ледовых явлений

(температура воздуха t_a и температура воды t_w)

Появление льда			Замерзание		Вскрытие	Очищение
дата	t_a	t_w	дата	t_w	дата	дата

Продолжительность ледового сезона _____

Число дней со льдом _____

Число дней с припаем _____

Число дней полного замерзания _____

Наибольшая толщина припая и дата _____

Наибольшая ширина припая и дата _____

Талщина припая * (в см)

	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Макс.															
Мин.															

* При отсутствии льда — температура воды в градусах.

Показатели суровости зимы

Элементы	X	XI	XII	I	II	III	IV	XI—IV
Средняя температура воздуха								
Максимальная температура воздуха								
Суммы среднесут. отрицат. температуры воздуха								

Дата устойчивого перехода через 0° к отрицательным температурам воздуха

Дата устойчивого перехода через 0° к положительным температурам воздуха

Ветер, температура воздуха и воды за декаду до первого появления льда и до первого замерзания моря

Дата	Ветер				Температура воздуха				Температура воды			
	Срок, часы											
	3	9	15	21	3	9	15	21	3	9	15	21
До первого появления льда												
До первого замерзания моря												

При отсутствии льда — в период наибольшего охлаждения воды

Источники _____

Составил _____ Проверил _____

Гидрометеорологическими морскими обсерваториями издаются Справочники государственного гидрометеорологического фонда СССР, которые содержат сведения о имеющихся в ГМО материалах гидрометеорологических наблюдений на сети станций, а также данные экспедиционных и научных исследований.

§ 3. ГРАФИЧЕСКИЕ И КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Все графические и картографические материалы, включаемые в научно-оперативный фонд по морским гидрологическим прогнозам, делятся на три вида:

1) материалы, составляемые на основе данных гидрометеорологических наблюдений после их специальной обработки;

2) материалы, характеризующие гидрографические и другие физико-географические условия района деятельности оперативного органа Гидрометслужбы;

3) материалы оперативного значения.

Графические и картографические материалы первого вида являются необходимым дополнением к фондовым табличным материалам наблюдений. Эти материалы включают:

а) гидрометеорологические карты и атласы, построенные на основе многолетних наблюдений и работ отдельных экспедиций;

б) карты состояния льдов, составленные по результатам авиаразведок, судовым и береговым наблюдениям, а также по наблюдениям с искусственных спутников Земли;

в) карты распределения температуры поверхностного слоя воды, составленные по данным авиационных наблюдений с помощью радиационных термометров;

г) ежедневные гидрометеорологические карты морей и океанов, составляемые на специальных бланках по данным береговых и судовых наблюдений.

Целый ряд гидрометеорологических явлений, развивающихся на обширных просторах морей и океанов, невозможно охарактеризовать без помощи картирования. Большую ценность представляют карты распределения гидрологических элементов (температуры, солености и др.) на различных горизонтах в открытых частях морей и океанов, построенные по данным комплексных экспедиций, кораблей погоды и авиационных наблюдений. Карты дают представление о полях гидрологических элементов (высот волн, температуры воды, течений, льдов), которые могут быть сопоставлены с полями атмосферного давления в целях установления прогностических зависимостей.

Несколько лет назад для ряда морей СССР (Охотское, Балтийское и др.) были построены расчетно-вспомогательные карты глубин конвекции через интервалы температуры воды 1 и 0,5°, которые используются для расчетов и прогнозов.

Ледовые карты позволяют судить о положении кромки припая и плавучих льдов, ледовитости моря и распределении льдов различных форм на акватории моря, что является необходимым при

разработке ледовых прогнозов (прогнозов распределения льда), имеющих большое значение для судоходства. Особенно большой интерес представляют карты авиаразведок льда (рис. 13).

Быстрые и синхронные съемки температуры поверхности морей и океанов при различных синоптических условиях дают возможность проверить прогностические зависимости, применяемые

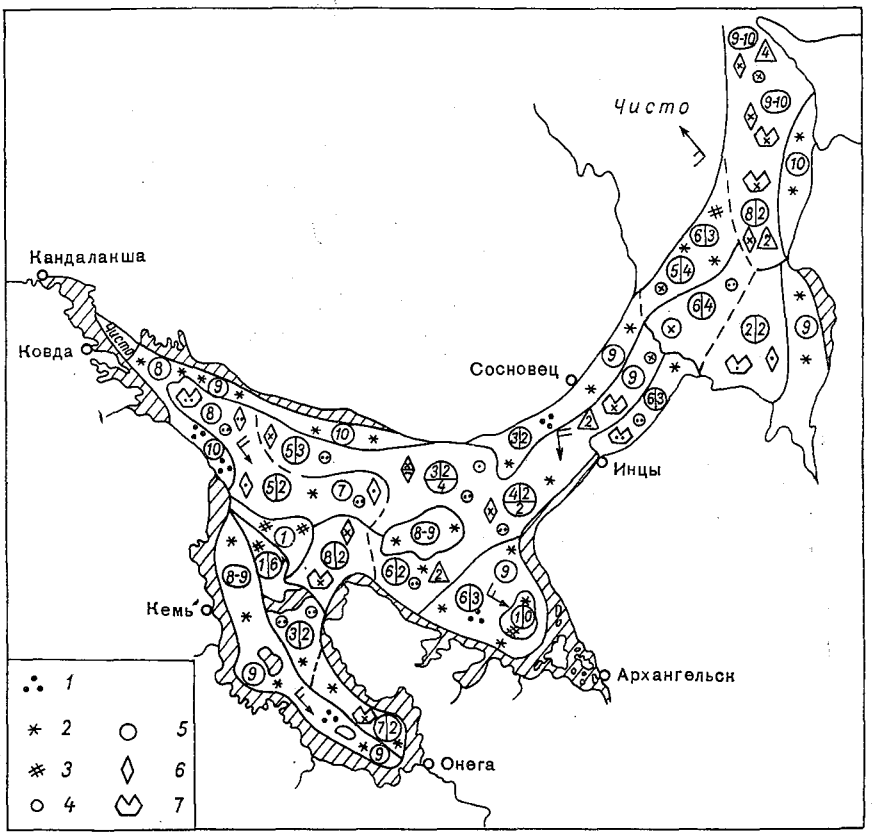


Рис. 13. Ледовая карта Белого моря, по данным авиаразведки.

1 — сало, шуга, снежура; *2* — блинчатый лед, нилас; *3* — куски льда; *4* — мелкобитый лед; *5* — крупнобитый лед; *6* — обломки полей; *7* — ледяные поля.

для расчета температуры воды балансово-адвективным способом. Радиационный метод авиационных съемок температуры воды впервые позволил получить почти синхронные карты температурного поля морей, необходимые для установления закономерностей изменения во времени и пространстве температуры воды (рис. 14).

Гидрометеорологические карты морей и океанов строятся ежедневно за 3—4 срока на стандартных бланках с помощью условных обозначений, приведенных в § 4 гл. I. Ежедневные гидрометеороло-

гические карты сводятся в отдельную подшивку за каждый месяц, а карты состояния ледяного покрова — за каждую зиму.

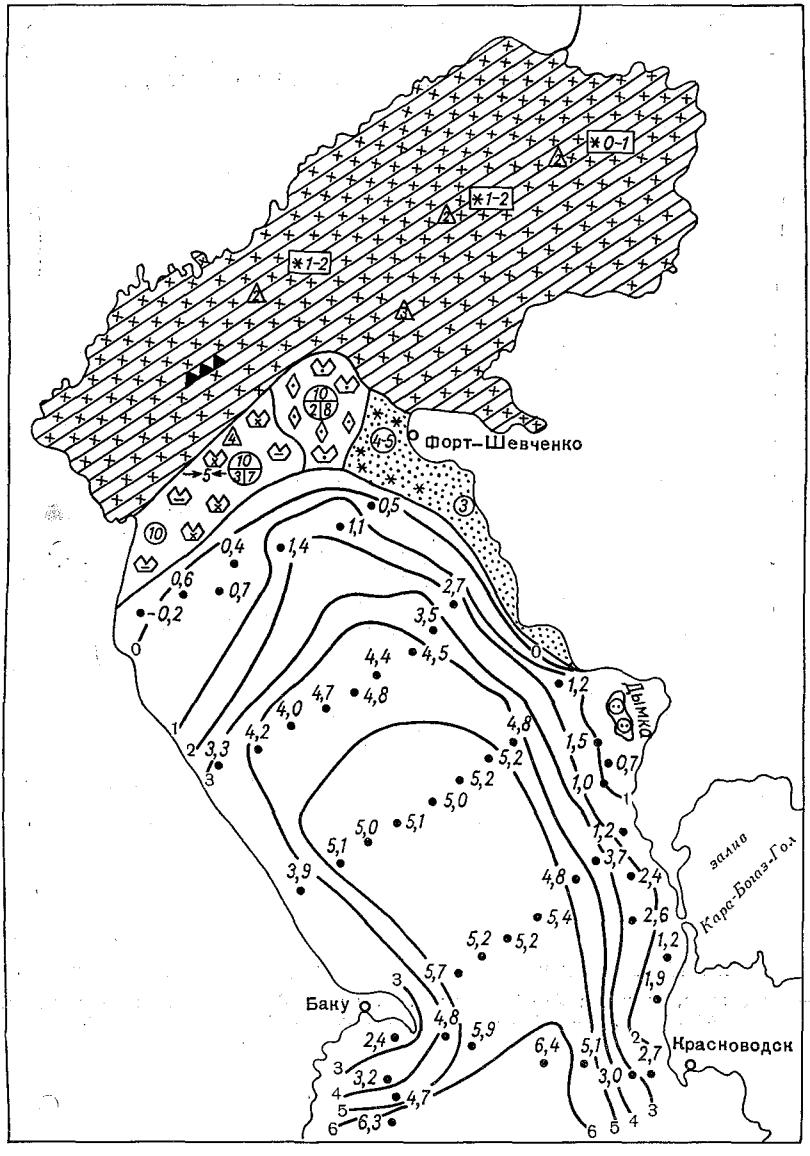


Рис. 14. Ледотермическая карта Каспийского моря, по данным авиаразведки льда и съемки температуры воды.

В настоящее время наиболее употребляемыми пособиями по режиму морей и океанов являются месячные гидрометеорологиче-

ские карты для каждого моря, состоящие из основной карты, на которой освещаются гидрометеорологические элементы, оказывающие значительное влияние на мореплавание (ветер, течение, лед и др.), и второстепенных карт-врезок, где даются сведения о рас-

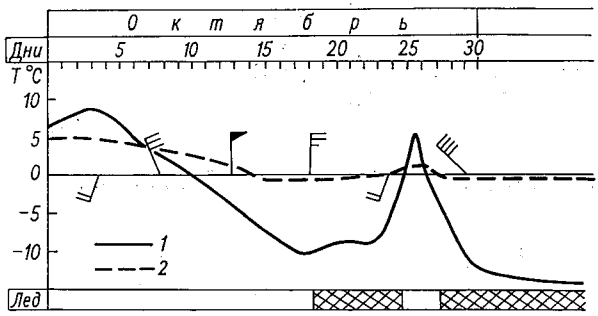


Рис. 15. График хода среднесуточных температур воздуха (*1*) и воды (*2*), ветра и наличия льда.

пределении менее важных элементов (температуры воздуха и воды, соленость и др.). На картах приводятся осредненные многолетние значения характеристик и их экстремумы.

Широкое применение в работе оперативных органов Гидрометслужбы получили факсимильные карты барической топографии, высот волн, температуры воды, положения кромки льда и его распределения и др. Эти карты используются также и для методической работы.

По необходимости в оперативных органах строят графики хода различных гидрологических элементов (на миллиметровой бумаге). Так, например, в течение зимнего периода по данным береговых гидрометеорологических станций можно построить графики хода средних суточных температур воды и воздуха, преобладающего направления и максимальной скорости ветра за сутки, наличия льда и др. (рис. 15).

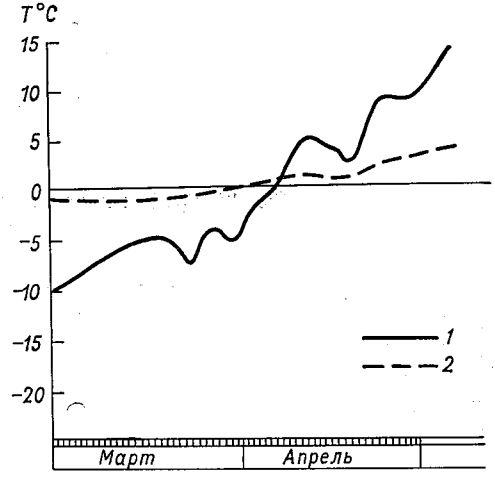


Рис. 16. График годового хода температуры воздуха (*1*) и воды (*2*).

Для определения дат перехода температуры воды и воздуха через определенные значения строятся графики годового хода температуры воды и воздуха (рис. 16), а при описании опасных

подъемов и спадов уровня — графики хода уровня и ветра в период нагонов или сгонов (рис. 17).

В число картографических материалов второго вида, характеризующих различные физико-географические условия района деятельности каждого оперативного органа, входят:

а) административная карта обслуживаемой территории;

б) физическая карта обслуживаемой территории;

в) морские навигационные карты;

г) батиметрические карты.

Картографические материалы оперативного значения включают:

а) карты информационной морской сети с указанием на них береговых гидрометеорологических станций и постов;

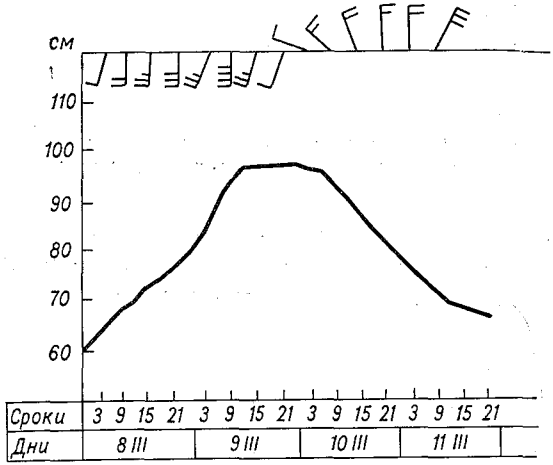


Рис. 17. График хода уровня и ветра в период нагона.

б) карты-схемы расположения хозяйственных объектов на территории, обслуживаемой данным оперативным органом Гидрометслужбы.

Графические и картографические материалы являются важным дополнением к табличным материалам гидрометеорологических наблюдений, а поэтому в оперативных органах Гидрометслужбы постоянно ведется работа по их накоплению.

§ 4. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ

В состав научно-методических материалов входят:

1) результаты научных исследований по разработке методов морских гидрологических прогнозов;

2) материалы специальных исследований и описаний гидрометеорологического режима моря;

3) вспомогательные материалы, необходимые для оперативного обслуживания морских отраслей народного хозяйства;

4) материалы по оперативной деятельности прогностического органа.

В каждом оперативном органе Гидрометслужбы должны быть все опубликованные методические указания, руководства, пособия, а также материалы собственных исследований в области морских гидрологических прогнозов, оформленные в виде методических записок.

Методическая записка представляет собой специальный технический документ, который служит основанием для составления прогноза определенного гидрологического элемента (явления). Объем и содержание методической записки зависят от характера предсказываемого явления и степени сложности методики прогноза. Записка должна включать следующие разделы:

а) предисловие, в котором содержатся сведения о значении прогноза данного элемента (явления) для народного хозяйства;

б) краткую характеристику предсказываемого явления по данному морю в многолетнем разрезе и описание физико-географических условий;

в) характеристику использованных при разработке метода исходных данных, способы их обработки и результаты обработки;

г) физические основы метода прогноза, расчетные зависимости, выражающие связь прогнозируемого элемента (явления) со всеми обусловливающими его факторами;

д) порядок составления прогноза;

е) таблицы исходных данных и проверочных прогнозов.

Методическая записка составляется в нескольких экземплярах, один из которых хранится в фонде научно-оперативных материалов органа службы морских прогнозов.

К материалам специальных исследований относятся:

а) описания особо опасных гидрологических явлений на морях и океанах;

б) отчеты об авиационных разведках льда и съемках температуры поверхности моря (ледотермические съемки);

в) расчеты составляющих водного и теплового балансов моря;

г) отчеты и выводы по специальным наблюдениям, проводимым оперативными органами или по их заданию на сети береговых гидрометеорологических станций или в открытом море (океане) научно-исследовательскими судами.

Составление описаний особо опасных гидрологических явлений рассмотрено в § 5 гл. I.

Отчеты об авиационных разведках льда и съемках температуры поверхностного слоя моря с помощью радиационных термометров обязательно содержат карты распределения льда и температуры воды. К картам прилагается дневник полета и краткое отчетное донесение, в котором описывается ледовая обстановка и распределение температуры воды по трассам полетов.

Расчеты составляющих водного и теплового балансов морей необходимы для разработки методов прогноза колебаний уровня, термического и ледового состояния морей. Эти расчеты производятся различными методами, основанными на связи составляющих водного и теплового балансов с гидрометеорологическими элементами.

К специальным наблюдениям, проводимым на сети, можно отнести, например, наблюдения за развитием и затуханием волн, наблюдения за сгонно-нагонными колебаниями температуры воды у берега и другими явлениями. Специальные наблюдения способствуют проверке уже имеющихся прогностических зависимостей и разработке новых методов прогнозов и расчетов различных гидрологических элементов.

К вспомогательным материалам относятся:

а) каталог показателей опасности гидрологических явлений;

б) картотека морских гидрометеорологических станций и постов;

в) технические записки о влиянии состояния моря на производственную деятельность различных отраслей народного хозяйства.

К материалам по оперативной деятельности прогностических органов Гидрометслужбы относятся:

а) журналы учета и оценки оправдываемости морских прогнозов;

б) журналы учета штормовых предупреждений, консультаций и справок, выданных народнохозяйственным организациям.

В число литературных источников, включаемых в фонд научно-оперативных материалов по морским гидрологическим прогнозам, входят все опубликованные работы по океанологии, гидрологии устьев рек, климатологии, гидрографии, а также научная литература по вопросам морских прогнозов, выпускаемая научно-исследовательскими учреждениями Гидрометслужбы СССР (Труды ордена Ленина Гидрометеорологического научно-исследовательского центра СССР, Труды Арктического и антарктического научно-исследовательского института, Труды Государственного океанографического института и др.).

В научно-оперативный фонд включаются следующие литературные источники:

1) гидрологические справочники морей;

2) атласы и альбомы различных гидрологических и метеорологических элементов;

3) лоции морей;

4) методические указания по вопросам морских гидрологических прогнозов.

Гидрологические справочники морей являются готовыми универсальными обобщениями по гидрологическому режиму моря. В справочниках помещаются результаты обобщения метеорологических, гидрологических и гидрохимических наблюдений, выполненных на береговых и судовых гидрометеорологических станциях и в открытом море с научно-исследовательских судов за промежуток времени

в несколько десятков лет. Справочники содержат подробную климатическую характеристику моря и его побережья, описание гидрологического режима моря в целом, а также особенности гидрологического режима отдельных районов моря (например, в Гидрометеорологическом справочнике Азовского моря рассматриваются особенности режима Таганрогского залива, Керченского пролива и Сиваша). Кроме того, в справочниках помещается физико-географический очерк моря, дается описание гидрометеорологических станций и службы информаций и прогнозов на море.

В настоящее время уже издан целый ряд атласов и альбомов различных гидрологических и метеорологических элементов режима морей СССР. Так, Климатические и гидрологические атласы по различным морям (первый атлас был составлен по Каспийскому морю еще в 1949 г.) содержат важные климатические (средней месячной и годовой температуры и влажности воздуха, облачности, ветра и т. п.) и гидрологические карты (средней месячной и средней годовой температуры воды, повторяемости волнения и т. п.).

Атласы льдов содержат основные сведения о ледовом режиме морей, полученных из материалов наблюдений береговых гидрометстанций, судов и самолетов. В них помещено большое число карт, графиков и таблиц, детально характеризующих особенности ледового режима моря в целом и отдельных заливов, проливов, лиманов.

Атласы волнения и ветра морей являются систематизированными пособиями по режиму ветра и волнения. Они содержат таблицы и типовые карты давления воздуха, полей ветра по направлению и градациям скорости, по которым рассчитаны типовые карты волнения по всей акватории моря.

В атласах приводятся также карты полей ветра и волнения для наиболее сильных штормов и карты повторяемости волн различной высоты. Такие атласы выпущены для неарктических морей СССР, а также для Норвежского и Гренландского морей.

Гидрологические справочники морей, атласы и альбомы различных гидрологических элементов широко используются в оперативных органах Гидрометслужбы для гидрологического обеспечения различных отраслей народного хозяйства, а также для разработки методов прогноза. Так, например, Климатический и гидрологический атлас моря может быть использован для расчета составляющих водного и теплового балансов моря. Атлас волнения и ветра служит пособием при составлении прогнозов волнения, а также при выборе наилучших условий и маршрутов плавания судов в морях и океанах.

В атласах обледенения судов приводятся районы различной интенсивности этого явления в холодное время года. В тексте даются рекомендации мореплавателям и описание гидрометеорологических условий, определяющих различные степени обледенения.

Атласы льдов используются при подготовке и проведении ледовых проводок, при планировании деятельности флота в замерзающих морях.

Велика роль лоций морей в практике работы органов службы морских прогнозов, особенно при обеспечении судов рекомендуемыми курсами плавания. В лоциях содержится детальное описание берегов, рельефа и грунтов дна, помещается гидрометеорологическая характеристика моря, имеются сведения о морских навигационных картах и т. п.

Методические указания по вопросам морских гидрологических прогнозов составляются в Гидрометцентре СССР и высылаются во все оперативные органы Гидрометслужбы.

§ 5. СОСТАВЛЕНИЕ КАТАЛОГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОПАСНОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Каталог показателей опасности гидрологических явлений представляет собой систематизированные сведения о показателях опасности различных явлений и о хозяйственных объектах, которым они угрожают. Он состоит из карточек морской информационной сети станций ГП-35, карточек опасных гидрологических явлений ГП-30 и карточек хозяйственных объектов ГП-29.

Карточки морских информационных станций и постов ГП-35 (табл. 7) содержат все основные сведения о местоположении, типе станции (поста), дальности видимого горизонта и т. п. Карточки ГП-35 для удобства пользования располагаются в алфавитном порядке.

Таблица 7

ГП-35

Карточка морской информационной станции (поста)

Станция (пост) ———, тип ———, общесоюзный номер ———

широта ———, долгота ———, почтовый адрес ———,

телеграфный адрес ——— Отметка нуля поста ——— м

абс., усл. (система отметок ——— моря)

Местоположение станции (поста)	Год открытия	Принадлежность (УГМС, ведомство)	Характер информации	Элементы гидрологических наблюдений	Где напечатаны материалы наблюдений	Репрезентативность наблюдений

Карточка опасных гидрологических явлений ГП-30 (табл. 8) составляется для тех явлений, показателем опасности которых служит сам факт их возникновения. В карточке ГП-30 указываются название опасного гидрологического явления, показатель опасности

и т. п. В случае внесения каких-либо исправлений в карточке указывается дата, причина исправления и расписка лица, сделавшего исправление.

Карточка хозяйственного объекта ГП-29 (табл. 9) является продолжением карточки опасных гидрологических явлений. Для каждого хозяйственного объекта, упомянутого в карточке опасных гидрологических явлений, составляется отдельная карточка ГП-29, в которой указываются названия хозяйственного объекта и опасного гидрологического явления, показатель опасности, а также приводятся конкретные данные о характере угрозы объекту. На обратной стороне карточки приводятся сведения об имевших место вредных воздействиях явления на данный объект.

Каталог показателей опасности гидрологических явлений делится на центральный каталог, находящийся в Гидрометцентре СССР, и местный каталог, находящийся в местных оперативных органах. Центральный каталог показателей опасности создается на базе местного и включает сведения лишь о наиболее важных хозяйственных объектах.

Показатели опасности гидрологических явлений устанавливаются заинтересованными организациями и передаются оперативным органам Гидрометслужбы в виде заполненных ведомостей.

Копии карточек опасных гидрологических явлений, хозяйственных объектов и карточек морских информационных станций и постов высылаются в Гидрометцентр СССР и в местные УГМС в течение года по мере анализа и обработки ведомостей показателей опасности и составления местного каталога.

Все карточки в картотеке каталога размещаются следующим образом: сначала карточки опасных гидрологических явлений, затем карточки информационных станций и, наконец, карточки хозяйственных объектов, подверженных вредному воздействию опасных явлений. Карточки каждой из указанных групп располагаются в порядке их номеров. В центральном каталоге эти карточки располагаются также в порядке номеров, но раздельно по морям.

Карточки каталога систематически проверяются и пополняются на основании уточненных или новых сведений о показателях опасности гидрологических явлений. Если изменений мало, то они вносятся в эту же карточку чернилами другого цвета с оговоркой, на основании чего сделано исправление. Когда изменений много и вносить их в данную карточку технически неудобно, карточка заменяется новой с включением в нее всех требующихся сведений, а старая карточка уничтожается.

В случае ликвидации какого-либо хозяйственного объекта, сведения о котором имеются в каталоге показателей опасности гидрологических явлений, карточка этого объекта изымается из каталога и уничтожается. Одновременно все сведения о данном объекте вычеркиваются из карточек опасного явления обязательно чернилами другого цвета с указанием причин изъятия.

Все материалы об изменениях в карточках, копии новых карточек, относящихся к центральному каталогу, а также сведения об

Таблица 8

ГП-30

Карточка опасных гидрологических явлений

1. Учетный номер ———	2. Водный объект ———	3. Участок (район) водного объекта ———	4. Бассейн реки (моря) ———
	5. Водомерный пост (станция) ———	6. Общесоюзный № поста (станции) ———	
	7. Отметка нуля графика водомерного поста ——— м абс. (система отметок ——— моря)		

№ п/п	Наименование опасного гидрологического явления	Показатель опасности	Наименование хозяйственного объекта, подверженного воздействию опасного гидрологического явления	Учетный номер карточки хоз. объекта	Дата и причина внесения исправлений и расписка лица, сделавшего исправления
8	9	10	11	12	13

Таблица 9

Карточка хозяйственного объекта

ГП-29

1. Учетный номер _____

2. Наименование хозяйственного объекта и его ведомственная принадлежность

3. Местоположение хозяйственного объекта (населенный пункт) _____

4. Удаление хоз. объекта от _____ км (название водного объекта)

5. Расстояние хоз. объекта от водомерного поста (станции): выше ____ км, ниже ____ км

6. Учетные номера карточек опасных явлений, в которые занесен данный хоз. объект

№ п/п	Наименование опасного гидрологического явления	Показатель опасности	В чем заключается опасность гидрологического явления	Дата и причина внесения исправлений и расписка лица, сделавшего исправления
7	8	9	10	11

Сведения об имевших место вредных воздействиях гидрологических явлений на хозяйственный объект

№ п/п	Год	Дата	Наименование гидрологического явления	Характеристика (величина) гидрологического явления	Краткое описание среднего воздействия гидрологического явления
12	13	14	15	16	17

изъятии из каталога карточек с указанием причин изъятия пересылаются в Гидрометцентр СССР; о всех изменениях в местных каталогах сообщается в УГМС.

Для учета карточек каталога показателей опасности гидрологических явлений ведется журнал ГП-24 (табл. 10). В журнал заносятся все без исключения карточки сразу же после их заполнения или получения. Запись карточек производится в порядке их номеров. В журнале делается также соответствующая отметка о высылке копии данной карточки в УГМС и в Гидрометцентр СССР. При замене карточки с устаревшими данными новой в журнале отмечается только дата проверки, место же в журнале, а также номер карточки остаются прежними.

Таблица 10

ГП-24

Журнал учета карточек каталога показателей опасности гидрологических явлений

№ карточки	Наименование водного объекта, участка (района) или водомерного поста (станции)	Сведения проверены на					Карточка исключена из каталога		Отметка о направлении карточки в ГМЦ или УГМС
							число, месяц, год	расписка ответственного лица	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Для ведения каталога в оперативном органе Гидрометслужбы выделяется ответственное лицо, которое имеет право вносить в каталог показателей опасности гидрологических явлений исправления и дополнения.

§ 6. СОЗДАНИЕ И ПОПОЛНЕНИЕ НАУЧНО-ОПЕРАТИВНОГО ФОНДА, УЧЕТ И ХРАНЕНИЕ

Создание фонда научно-оперативных материалов по морским гидрологическим прогнозам является одной из первостепенных работ каждого оперативного органа Гидрометслужбы. От полноты и качества фонда во многом зависит качество оперативного гидрологического обеспечения морских отраслей народного хозяйства.

Создание фонда осуществляется:

1) путем сбора, систематизации и соответствующей обработки накопляемых материалов (например, составление специальных таблиц);

2) путем ежегодного систематического пополнения новыми данными наблюдений и новыми материалами, получаемыми в результате исследовательской (разработка новых методов морских прог-

нозов) и оперативной работы (различные гидрометеорологические карты и т. п.).

Работы по созданию и пополнению научно-оперативного фонда должны занимать важное место в общем плане работ оперативного органа Гидрометслужбы.

При создании и пополнении фонда используются лишь те материалы гидрометеорологических наблюдений, которые прошли первичную обработку и проверку в соответствующих подразделениях Гидрометслужбы.

Все табличные, графические и картографические материалы, включаемые в научно-оперативный фонд, должны иметь дату и подписи исполнителя и лица, проверившего эти материалы, а также начальника сектора морских гидрологических прогнозов.

Фондовые материалы должны храниться так, чтобы обеспечивалась их полная сохранность. Важным требованием является также четкость их учета и простота нахождения нужных материалов. Основной формой учета фондовых материалов является обычного типа инвентарная книга, в которой указываются инвентарные номера, шифры материалов и место их хранения, а также приводится опись материалов по их видам, в которой даются подробные сведения о составе каждого вида материалов, периоде наблюдений и месте хранения.

Для материалов, хранящихся в архиве или библиотеке, составляются описи по их видам с указанием архивных и библиотечных номеров.

Работа по пополнению научно-оперативного фонда в оперативном органе Гидрометслужбы должна вестись систематически. Ответственность за состояние фондовых материалов, их учет, хранение и пополнение несут начальники оперативных органов Гидрометслужбы.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Где публикуются материалы метеорологических и гидрологических наблюдений?
2. Пользуясь Морскими гидрометеорологическими ежемесячниками, определить даты перехода температуры воды через 8 и 12°.
3. Пользуясь Морскими гидрометеорологическими ежемесячниками, определить суммы отрицательных средних суточных температур воздуха за зиму.
4. Какие виды карт составляются на основе данных гидрометеорологических наблюдений?
5. Пользуясь Морскими гидрометеорологическими ежемесячниками, построить график хода уровня и ветра в период нагона или сгона.
6. Какие карты входят в число картографических материалов, характеризующих физико-географические условия района деятельности оперативного органа?
7. Какие материалы входят в научно-оперативный фонд?
8. Что представляет собой методическая записка?
9. Для каких целей могут использоваться гидрологические справочники морей, гидрометеорологические атласы и альбомы?
10. Из чего состоит каталог показателей опасности гидрологических явлений?
11. Как ведется учет карточек каталога показателей опасности гидрологических явлений?

Литература: [1, 5, 6, 14, 49, 50, 53, 57].

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

МОРСКИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ

ГЛАВА I

ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ И ОЦЕНКИ МЕТОДОВ ПРОГНОЗОВ

§ 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОРСКИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

Морской гидрологический прогноз — это предвычисление того или иного гидрологического явления, основанное на знании закономерностей развития этого явления в конкретных условиях данного моря. Основой морских гидрологических прогнозов является физический анализ процессов, определяющих режим моря, а конечной целью — получение необходимых для прогноза количественных выражений, характеризующих взаимосвязь данного явления и факторов, его обусловливающих.

Возникновение физических явлений в море или в океане, будь то течение, волнение, колебание уровня, ледообразование или ледотаяние и т. д., и их развитие зависят от совокупности различных гидрологических и метеорологических факторов. Среди этих факторов одни являются определяющими (главными) в развитии явления, другие имеют второстепенное значение. Так, например, нарастание льда зависит от температуры воздуха, теплосодержания воды, вертикального распределения температуры и солености воды, наличия снежного покрова на льду и т. д. Установлено, что основным из них является температура воздуха. Поэтому расчеты интенсивности нарастания льда часто производят на основании только температуры воздуха.

Для того чтобы вскрыть внутренние связи, существующие между элементами физических явлений, и выявить особенности развития этих явлений, прогнозист должен уметь отделить главные (определяющие) факторы от второстепенных.

Некоторые физические характеристики нельзя определить непосредственно в процессе наблюдений. В таких случаях их либо определяют расчетным путем, либо выражают косвенно через другие элементы. Например, теплосодержание можно выразить через температуру воды с соответствующим коэффициентом, учитывающим глубину моря.

Прежде чем приступать к разработке метода прогноза (или расчета) того или иного физического явления в море или в океане, прогнозист должен на основании данных наблюдений провести глубокий и всесторонний анализ процессов, происходящих в море, выявить главные причины, обусловливающие развитие данного явления. Этот анализ должен основываться в первую очередь на законах физики океана и атмосферы и учете местных физико-географических условий. Обычно сначала проводится качественный анализ исходного материала, устанавливаются основные черты изучаемого явления и принимается некоторая рабочая гипотеза, т. е. намечается путь решения поставленной задачи. Правильность выбранной гипотезы проверяется уже на основе обработки материалов массовых наблюдений за явлением. Строятся графики связи изучаемого явления с отдельными факторами исходя из принятой гипотезы. Если одна гипотеза не подтвердилась, принимают новую гипотезу.

В процессе анализа следует выявить те факторы, связь которых с данным явлением наиболее понятна, а в некоторых случаях даже очевидна как с физической точки зрения, так и на основании общих закономерностей в ходе данного явления.

В тех случаях, когда бывает трудно вскрыть физическую основу явления, т. е. когда физические связи явно не проявляются и существующие закономерности в ходе явления затушевываются влиянием второстепенных наложений, например скрытой периодичностью, применяются методы гармонического, спектрального или корреляционного анализа.

Для того чтобы предвидеть дальнейший ход явлений, недостаточно изучать их только в одном пункте. Наблюдения в отдельных точках не дают полного представления ни о причинах, ни о сущности процессов. Поэтому на современном этапе процессы в океане изучаются и анализируются в широком диапазоне пространственных и временны́х масштабов.

При анализе временно́го и пространственного изменений физических явлений в море необходимо учитывать, что океан и атмосфера находятся в постоянном тепловом и динамическом взаимодействии, первопричиной которого является солнечная энергия. Поэтому изучение и прогнозирование физических явлений в море нельзя отрывать от изучения процессов, происходящих в атмосфере. При этом следует учитывать особенности взаимодействующих сред. Например, важную роль в процессах взаимодействия играет то, что в тепловом взаимодействии океан более активен, так как обладает бо́льшим запасом тепла, зато атмосфера более активна в динамическом взаимодействии в силу большей подвижности. Для того чтобы глубже понять характер процессов, следует также учитывать физические свойства сред: их способность поглощать, отражать и излучать тепло, переходить из одного агрегатного состояния в другое (например, процессы ледообразования), их теплоемкость, теплопроводность, плотность и т. д.

Единство и взаимодействие процессов в океане и атмосфере заставляет при решении задач морских прогнозов оценивать энергетический баланс взаимодействующей системы, тепловой и водный балансы. Колебания физических характеристик моря являются следствием непостоянства теплового и водного балансов. Анализируя вклад отдельных составляющих теплового и водного балансов, можно вскрыть физическую природу явлений, происходящих в океане, оценить их роль в общем процессе и выявить главные факторы, определяющие режим моря. Применение «балансовых» методов в океанографии обусловило качественный скачок в методике исследований физических явлений в море и определило главное направление в изучении многих физических процессов, протекающих в нем. Так, например, В. В. Шулейкин, впервые подсчитав тепловой баланс Карского моря, доказал, что на тепловой режим Карского моря большое влияние оказывают струи теплого Северо-Атлантического течения, проникающие в этот район. В. М. Маккавеев впервые составил уравнение энергетического баланса волн и на основании этого уравнения предложил метод расчета элементов волн в море.

Изучение и прогнозирование физических явлений в море возможно лишь при обеспечении материалами наблюдений за этими явлениями. Надежность метода прогноза и возможность его применения в оперативной работе во многом зависят от качества и количества материала наблюдений. Прогнозисты чаще всего жалуются на отсутствие достаточных рядов наблюдений. Особенно это ощущается при разработке методов долгосрочных прогнозов. К сожалению, отсутствие достаточных рядов наблюдений и сейчас остается самым слабым местом в прогнозах. Например, только из-за отсутствия регулярных данных о течениях в море и океане прогнозы течений оперативно не составляются.

Океанографические наблюдения, особенно глубоководные, проводятся несистематически и в таких ограниченных размерах, что, как правило, не позволяют следить за временным изменением физических полей в океане.

Большинство экспедиционных наблюдений проводится в летнее время, осенний и зимний режимы освещены сравнительно менее полно и уж совсем мало имеется наблюдений при экстремальных условиях погоды, т. е. как раз тех наблюдений, которые особенно важны для получения правильного и полного представления о режиме моря и для разработки прогнозов. Поэтому серьезное внимание должно уделяться правильной постановке и проведению наблюдений на морях и океанах. Морские гидрометеорологические наблюдения должны отвечать современным требованиям науки и практики.

§ 2. ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ МОРСКИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

Специальной классификации морских гидрологических прогнозов нет. Морские прогнозы — молодая, развивающаяся область прикладной океанологии — тесно связаны с нуждами практики,

которая ставит перед прогнозистами все новые и новые задачи. Это требует постоянных поисков улучшения методов прогнозов, изменения содержания и форм выпуска прогнозов и т. д.

Морские прогнозы различаются по содержанию, заблаговременности, географическим объектам, методам составления, характеру составления и по форме выпуска.

По содержанию все прогнозы можно разделить на две группы: прогнозы гидрологических явлений, характеризующих динамические процессы в море, и прогнозы гидрологических явлений, характеризующих тепловые процессы в море. К первой группе можно отнести прогнозы волнения, течений, сгонно-нагонных колебаний уровня моря, дрейфа льда и т. д., ко второй — прогнозы температуры воды (по площади и по вертикали) и ледовых явлений.

По заблаговременности морские прогнозы подразделяются на краткосрочные, периодные (или прогнозы малой заблаговременности), долгосрочные и сверхдолгосрочные. Заблаговременность — это промежуток времени от даты выпуска прогноза до даты, в которую явление осуществилось. Краткосрочные прогнозы составляются на срок от нескольких часов до одних суток, периодные — от 1 до 15 суток, долгосрочные — от 15 суток до 4 месяцев, сверхдолгосрочные — на 4 месяца и более.

На практике часто краткосрочные прогнозы и прогнозы малой заблаговременности объединяют под общим названием «краткосрочные прогнозы».

Для некоторых гидрологических явлений составляются только краткосрочные прогнозы, например прогнозы волнения, сгонно-нагонных колебаний уровня моря, опасных и особо опасных явлений (тягун, цунами), для других — только долгосрочные, например прогнозы ледовитости моря. Примером сверхдолгосрочных прогнозов (на 1, 5 и 20 лет) являются прогнозы уровня Каспийского моря. Прогнозы температуры воды и сроков наступления ледовых фаз на морях составляются как краткосрочные, так и долгосрочные.

Все прогнозы могут составляться для различных географических объектов: для отдельных прибрежных пунктов, территорий портов, отдельных районов морей и для моря в целом. В последние годы стали составляться прогнозы волнения и температуры поверхности воды по северным частям Атлантического и Тихого океанов.

Методы и приемы составления прогнозов будут подробно рассмотрены в следующем параграфе.

По характеру составления прогнозы подразделяются на плановые, которые составляются регулярно согласно утвержденному плану, и специализированные, которые составляются при обслуживании районов рыбных промыслов, перегонов доков, судов, находящихся в плавании, а также для расчета ледовых дорог в портах и в устьях рек и т. д.

Форма выпуска морских прогнозов разнообразна. Прогнозы гидрологических явлений оформляются в виде текстов, таблиц, карт, графиков. В Арктике при обслуживании трассы Северного морского пути разрабатываются навигационные рекомендации по отдельным участкам трассы, на которых осуществляются массовые перевозки грузов. На графиках в наглядной форме показываются ожидаемые изменения ледовых условий на основной трассе в течение навигационного периода и приводятся прогностические сроки возможного начала и окончания плавания судов с ледоколом и без ледокола.

При проводке судов рекомендуемыми курсами в океанах прогнозы даются также в форме рекомендаций с указанием координат наиболее экономичного и безопасного пути и с краткой характеристикой ожидаемых условий погоды на рекомендуемом пути.

Долгосрочные ледовые прогнозы для неарктических морей выпускаются в форме бюллетеня, в котором даются характеристика ожидаемых ледовых условий на морях и карты с указанием границ распространения льдов. При каждом прогностическом органе установлен строгий порядок оформления и выпуска прогнозов.

§ 3. ОСНОВНЫЕ ПРИЕМЫ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ МОРСКИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

Выше отмечалось, что физические процессы в море тесно связаны с атмосферными процессами. Поэтому прогнозы большинства физических явлений в море основываются на прогнозах погоды и учете предшествующих гидрологических условий. При этом прогноз погоды, как правило, используется в явном виде в краткосрочных морских прогнозах и в неявном виде — в долгосрочных.

Например, при прогнозах ветрового волнения, сгонно-нагонных колебаний уровня, дрейфовых течений в явном виде используется прогноз ветра. Краткосрочные прогнозы ледовых условий основаны на прогнозах температуры воздуха. Поскольку морские прогнозы основываются на прогнозах погоды, их оправдываемость в значительной степени зависит от точности прогнозов погоды. Оправдываемость краткосрочных прогнозов погоды такова, что позволяет с достаточной уверенностью использовать их при составлении морских гидрологических прогнозов.

Методы долгосрочных прогнозов гидрологических явлений вследствие недостаточной оправдываемости долгосрочных прогнозов погоды основываются на других принципах, при этом, однако, также косвенно учитываются прогнозы погоды.

Методы морских гидрологических прогнозов основаны либо на учете отдельных главных факторов, обусловливающих развитие прогнозируемого явления, либо на учете закономерности в ходе самого явления, либо, что делается чаще всего, на совместном учете тех и других в зависимости от наличия необходимых данных, прогнозов погоды и т. д. В практике составления прогнозов

элементов режима моря разработан ряд приемов (методов) прогнозирования.

1. Использование климатологической средней (нормы). Это довольно простой, но грубый прием прогноза. Однако климатологическая средняя является наиболее устойчивой величиной, поэтому ее можно использовать в долгосрочных прогнозах. Так, если средняя многолетняя температура воды в январе $+10°$ С, то можно предположить, что в январе данного года будет такая же температура. При использовании этого приема не учитываются аномальные явления, в результате которых средняя температура данного года может значительно отклоняться от нормы.

2. Экстраполяция — прием прогноза, при котором существующие условия распространяются на будущее с учетом предшествующего хода изменения интенсивности и направления распространения процесса. Прием экстраполяции часто используется при построении расчетных формул на ограниченном материале наблюдений. Если на каком-то интервале времени четко проявляется характер зависимости, то она может быть продолжена с учетом тенденции хода кривой. Однако при этом надо исходить из физики процесса. Прогноз по методу экстраполяции достаточно надежно можно давать на ограниченные промежутки времени при отсутствии внешних возбуждающих сил. Например, если начало шторма характеризуется постепенным усилением ветра, то на небольшие отрезки времени эту тенденцию можно использовать для прогноза.

3. Использование инерции — свойства гидрологического явления сохранять свои характеристики некоторое время. Это свойство может быть использовано непосредственно для прогноза или учтено в качестве одного из факторов. Инерция — это устойчивость процесса во времени. Так, например, если в море установился определенный режим течений и если не ожидается появления возмущающих сил, таких, как сильные ветры и т. п., то можно предположить постоянство состояния по крайней мере в течение 24—30 часов. Свойство инерции широко используется в долгосрочных ледовых прогнозах. Еще В. Ю. Визе указал на большую инерцию в состоянии льдов в Баренцевом море, существующую продолжительное время.

Инерционные прогнозы также используются в качестве эталона оценки гидрологических прогнозов. Для выявления роли инерции в данном процессе статистическим путем строят временны́е (через определенные интервалы времени) последовательности результатов сопоставления предшествующего и ожидаемого процессов и подсчитывают коэффициент корреляции.

4. Типизация — прием прогноза, основанный на устойчивости и преемственности в развитии метеорологических и гидрологических процессов. Типизация — это своего рода классификация процессов по некоторым признакам. Так, например, Г. Я. Вангенгейм в качестве основного признака типизации атмосферной

циркуляции взял направление переноса воздушных масс. Было выделено три основных типа переноса: западный W, восточный E, меридиональный C, и несколько разновидностей (комбинированных типов), являющихся переходными формами основных. Типы Вангенгейма получили широкое распространение в СССР при составлении метеорологических и гидрологических прогнозов на Европейской территории СССР (ЕТС).

Поскольку гидрологические процессы тесно связаны с атмосферными процессами, то обычно типизация гидрологических процессов основывается на типизации атмосферных процессов. Например, после зим с преобладанием западного переноса воздушных масс весной почти на всей Европейской территории СССР устанавливаются положительные аномалии температуры воздуха. Это, естественно, ведет к более ранним срокам вскрытия морей ЕТС. Такого же рода связи установлены и для других типов циркуляции атмосферы.

Иногда при типизации атмосферных процессов за один из основных критериев принимается скорость ветра. При этом ветер разбивается на градации по скорости, направлению и продолжительности действия.

Так, если на основании типизации атмосферных процессов, проведенной по сезонам, выявлена преемственность в развитии процессов от сезона к сезону и установлено, как изменяются гидрологические условия, то по характеристике текущего года можно определить, к какому типу процесса он относится. Затем можно составить прогноз на последующие сезоны. Такой прогноз может быть дан для тех элементов, по которым проведена типизация.

Недостаток метода типизации состоит в том, что получаемые результаты в большой степени зависят от того, насколько удачны те признаки, по которым проведена классификация, т. е. здесь имеется значительная доля субъективности. Не всегда бывает просто текущую ситуацию отнести к тому или иному типу, так как никакая типизация не может отражать всей совокупности метеорологических и гидрологических условий, наблюдающихся в природе.

5. Использование принципа аналогичности — метод аналогов, основанный на том, что сходные причины должны давать и сходные следствия.

Под аналогичностью двух полей понимается степень геометрического подобия их, т. е. два поля полностью аналогичны, если при наложении они совпадают во всех точках. Кроме этого, необходимо также совпадение по абсолютному значению элементов. Таким образом, для оценки аналогичности полей нужно иметь два критерия, характеризующие поле по конфигурации и по интенсивности.

В качестве показателя аналогичности полей по интенсивности используется выражение

$$P = (1 - \delta/\delta_{\text{макс}}),$$

где P — показатель аналогичности по интенсивности; δ — среднеквадратичное значение разности двух полей $\left(\delta = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n}}\right)$; $\delta_{макс}$ — максимальное значение среднеквадратичного отклонения двух полей из всего рассматриваемого ряда.

В качестве показателя, характеризующего аналогичность полей по конфигурации, может быть использован коэффициент корреляции r двух сравниваемых полей. При полном сходстве полей коэффициент корреляции равен единице, в противном случае — нулю.

Общий показатель аналогичности имеет вид

$$A = \frac{r + (1 - \delta/\delta_{макс})}{2}. \qquad (1)$$

Выражение степени аналогичности числом значительно облегчает анализ карт.

Пример. Подобрать аналоги для 1946, 1955 и 1956 гг., используя показатели аналогичности (табл. 11), рассчитанные по картам распределения температуры воды в Чукотском море за восемь лет.

Таблица 11

Коэффициент корреляции, среднеквадратичные отклонения и общие показатели степени аналогичности

Год	1946 г.				1955 г.				1956 г.			
	r	δ	P	A	r	δ	P	A	r	δ	P	A
1941	0,66	4,01	0,33	0,50	0,67	1,69	0,68	0,68	0,63	1,77	0,66	0,64
1942	0,49	4,74	0,09	0,29	0,65	1,92	0,63	0,64	0,58	2,04	0,60	0,59
1943	0,73	2,46	0,53	0,63	0,66	3,98	0,24	0,45	0,63	3,83	0,27	0,45
1944	0,72	2,47	0,53	0,62	0,62	0,32	0,36	0,49	0,57	0,36	0,36	0,46
1947	0,81	3,00	0,42	0,62	0,59	2,66	0,49	0,54	0,52	2,74	0,48	0,50
1948	0,72	2,46	0,53	0,62	0,47	3,24	0,39	0,42	0,43	3,27	0,37	0,40
1949	0,88	3,11	0,40	0,64	0,65	2,21	0,58	0,62	0,59	2,27	0,57	0,58
1951	0,85	2,85	0,45	0,65	0,63	2,59	0,50	0,56	0,60	2,60	0,50	0,55
1946	1,00	0,00	1,00	1,00	0,42	5,22	0,00	0,21	0,36	5,09	0,02	0,19
1955	0,42	5,22	0,00	0,21	1,00	0,00	1,00	1,00	0,96	0,67	0,87	0,91
1956	0,36	5,09	0,02	0,19	0,96	0,67	0,87	0,91	1,00	0,00	1,00	1,00

Сопоставляя данные табл. 11, находим, что наилучшим аналогом к 1946 г. является 1951 г. ($A_{51}^{46}=0{,}65$), а наихудшим — 1956 г. ($A_{56}^{46}=0{,}19$); к 1955 г. наилучшим аналогом является 1956 г. ($A_{56}^{55}=0{,}91$), а наихудшим — 1946 г. ($A_{46}^{55}=0{,}21$); к 1956 г. наилучшим аналогом является 1955 г. ($A_{55}^{56}=0{,}91$), а наихудшим — 1946 г. ($A_{46}^{56}=0{,}19$).

6. Использование свойства периодичности (цикличности). Метеорологи и океанологи для целей долго-

срочного прогноза погоды и гидрологических процессов предпринимали упорные поиски периодичности, или цикличности, в ходе метеорологических и гидрологических процессов. Обнаружение четко выраженной периодичности в значительной степени облегчало бы решение проблемы долгосрочных прогнозов. В известной мере решение этой проблемы затруднено отсутствием достаточно длинных и надежных рядов наблюдений. В отдельных случаях была обнаружена периодичность некоторых процессов на протяжении ряда лет. Это несколько обнадеживало прогнозистов. Однако со временем периодичность пропадала. Поэтому в настоящее время ученые сделали вывод, что, кроме суточных и годовых периодов, периодичность в ходе гидрологических и метеорологических процессов не бывает настолько устойчивой, чтобы можно было применять принцип периодичности для прогноза.

Предпринимались попытки найти связь колебаний погоды и гидрологических явлений с солнечной активностью, в частности с числом солнечных пятен, для которых была обнаружена периодичность 11 лет. Искали связь между числом солнечных пятен и аномалиями погоды на Земле. Однако достаточно тесных связей, которые можно было бы использовать для прогнозов, также не удалось обнаружить. Это можно объяснить тем, что на фоне непрерывных флуктуаций метеоэлементов, происходящих по самым разнообразным причинам, чрезвычайно трудно выделить искомый эффект.

7. Учет основных законов природы — закона сохранения вещества и закона сохранения энергии. Решая уравнения водного, теплового и энергетического балансов, получают теоретические или эмпирические формулы, выражающие зависимость прогнозируемого элемента от тех или иных факторов.

При решении уравнения энергетического баланса волн получают простые зависимости элементов волн от скорости ветра, продолжительности его действия и разгона. Температура воды и сроки появления льда определяются непостоянством теплового баланса. Методы расчета теплового баланса широко используются для расчетов и прогнозов теплового состояния моря.

На основе решения уравнения водного баланса поверхности моря разработана методика прогноза колебания уровня Каспийского моря на период от нескольких месяцев до нескольких десятков лет.

Применение уравнений баланса становится в настоящее время одним из основных направлений прогнозирования в краткосрочных прогнозах. В долгосрочных прогнозах применение балансовых методов затруднено из-за отсутствия надежных метеорологических прогнозов.

8. Использование численных методов. Прогноз физических явлений в атмосфере или в океане, основанный на численном решении уравнений гидродинамики, записанных в дифференциальной форме, называют гидродинамическим или числен-

ным. Вследствие того, что прогнозы полей гидрометеорологических элементов гидродинамическим методом сопряжены с огромным количеством вычислений, они получили широкое развитие только с появлением электронных вычислительных машин (ЭВМ). Уравнения гидродинамики учитывают точные законы физики моря и атмосферы и позволяют рассчитать изменения гидрометеорологических характеристик во времени и в пространстве. Так как в общем виде уравнения гидродинамики решить трудно, их приводят к виду, удобному для решения на ЭВМ, путем определенных упрощений и допущений с учетом начальных и граничных условий.

Для решения прогностических задач численными методами используется пространственно-временна́я сетка. Расстояние между двумя последовательными узловыми точками в пространстве называется шагом сетки и обозначается через ΔS или h. Символ Δt используется для обозначения шага по времени, или временно́го интервала. Узловая точка, в которой определяется некоторая физическая величина, в двумерном случае обозначается индексами (i, j), как показано на рис. 18.

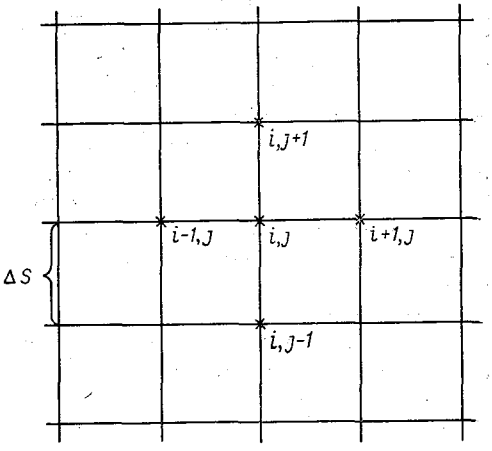


Рис. 18. Расположение узлов прямоугольной сетки.

В качестве начальных условий берется физическое поле распределения гидрологического элемента, отнесенное к определенному сроку наблюдения. При этом $t=0$. В начальный (или нулевой) момент времени значения всех величин известны. Выбор граничных условий представляет определенные трудности и зависит от постановки конкретной задачи Вследствие большой изменчивости процессов, происходящих в море, во времени и пространстве точный прогноз их на продолжительное время дать практически невозможно. Предположим, что в начальный момент времени нам известны скорость и направление течения в некоторой точке. В связи с быстрыми изменениями скорости течения в данной точке тенденция может сохранять свое первоначальное значение только в течение короткого времени. Поэтому, используя прогностические уравнения для прогноза скорости течения на некоторый небольшой интервал времени, например на 1 час, получим результат с высокой степенью достоверности. Однако если прогнозировать скорость течения на более продолжительный период, например на 12 часов, можно допустить серьезную ошибку. Поэтому, если повторять всю процедуру вычисления по уравнениям небольшими

шагами по времени и расстоянию, пользуясь при этом полученными величинами скорости и направления течений, можно дать достаточно достоверный прогноз на продолжительное время.

Решение задачи при помощи ЭВМ состоит из двух этапов:

1) нахождение математического алгоритма, приводящего к решению задачи;

2) составление программы для ЭВМ по найденному алгоритму.

Алгоритм представляет собой набор формул, условий, цифр. Формулы уточняются, учитываются все детали, частные случаи и неопределенные ситуации. В результате получается описание вычислительного процесса — алгоритм, который должен полно и однозначно описывать языком математики путь решения задачи.

На втором этапе решения задачи составляется схема счета (или блок-схема), которая детализируется до схемы программ, учитывающей особенности конкретной ЭВМ. Затем по блок-схеме расписывается программа счета для ЭВМ. Программа точно и однозначно определяет ход исполняемой работы на языке машины, т. е. в кодах.

На практике численный прогноз составляется следующим образом. Интересующий район моря или океана разбивается на большое количество квадратов, представляющих сетку. Исходные данные, т. е. результаты гидрологических наблюдений, вводятся в ЭВМ. По этим данным путем интерполяции определяют значения введенных величин в точках пересечения линий сетки, после чего ЭВМ производит вычисления по программе, решая прогностические уравнения по шагам для всех точек района, для которого составляется прогноз. Суть этих вычислений состоит в том, что начальное распределение прогнозируемой величины переносится в соответствии с законами, описываемыми уравнениями, на заданный интервал или шаг времени вперед.

Таким образом, начиная с момента наблюдения (нулевой момент времени), ЭВМ воссоздает шаг за шагом поля распределения прогнозируемого элемента на 12, 24 часа вперед и т. д. (шаг по времени может составлять 0,5 или 1 час). Конечный результат представляет собой прогностическую карту, которая печатается электронным печатающим устройством в виде, удобном для составления прогноза. Причем результаты получаются для тех точек, в которых были заданы начальные условия.

§ 4. МЕТОДЫ ГРАФИЧЕСКОГО И АНАЛИТИЧЕСКОГО ВЫРАЖЕНИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ. ЛИНЕЙНАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ МЕЖДУ ДВУМЯ И ТРЕМЯ ПЕРЕМЕННЫМИ

После того как проведен первичный анализ материалов наблюдений, т. е. на основе качественного анализа особенностей изучаемых явлений и знания их общих закономерностей установлены главные факторы, определяющие изменение прогнозируемого явления (при этом второстепенные факторы не учитываются), с помощью теории корреляции, которая изучает связь между исследуе-

мыми величинами, определяется форма связи и находится ее аналитическое выражение. Для этого составляются ряды наблюдений прогнозируемой величины и факторов, от которых она зависит. Причем прогнозируемая величина представляет собой зависимую переменную и называется функцией, в то время как факторы, от которых зависит прогнозируемая величина, представляют собой независимые переменные и называются аргументами. Примеры корреляционных зависимостей показаны на рис. 19.

Важное значение при построении прогностических зависимостей имеет длина ряда. В математической статистике установлено, что при нахождении связи между двумя переменными длина ряда должна включать не менее 100 наблюдений. При этом, если число переменных увеличивается, то и длина ряда должна увеличиваться. Однако на практике ряды наблюдений необходимой длины часто отсутствуют. Естественно, что зависимости, построенные по коротким рядам наблюдений, будут менее надежными. Особенно это относится к долгосрочным прогнозам. Поэтому в прогностической практике по мере накопления данных наблюдений прогностические зависимости уточняются.

Наиболее простым видом связи между величинами является функциональная зависимость, когда каждому значению одной величины x соответствует вполне определенное значение другой величины y. Однако при исследовании связей между физическими явлениями в море на основе натурных наблюдений приходится иметь дело не с функциональными зависимостями, а с корреляционными. Здесь каждому значению одной величины соответствует множество возможных значений другой величины. Рассеяние этих возможных значений носит случайный характер и объясняется, с одной стороны, неточностью наблюдений, а с другой — влиянием большого числа второстепенных факторов, не учтенных при построении зависимости.

Для того чтобы оценить характер связи между величинами x и y, строится корреляционный график, на котором по оси ординат откладываются значения y, а по оси абсцисс значения x. На графике по значениям x и y наносится поле точек, характер распределения которых наглядно показывает не только вид зависимости, но и тесноту (меру) их связи. По тому, как рассеяны точки на графике, во многих случаях можно заранее оценить пригодность зависимости для прогностических целей, не прибегая к сложным вычислениям.

Когда на графике имеется большое количество точек, то для проведения линии связи можно все точки разбить на группы и для каждой группы подсчитать средние значения величин x и y; по этим значениям нанести точки, отвечающие средним координатам. Затем по этим точкам плавно проводится линия связи. Точность полученной прогностической линии связи может быть оценена путем сопоставления рассчитанных по этой связи значений величин y с данными фактических наблюдений. Для этого строят еще один график, на котором по оси ординат откладывают

данные фактических наблюдений, а по оси абсцисс — данные, полученные по прогностической связи. Если линия связи будет представлять собой прямую, проходящую через начало координат, а угол наклона ее будет составлять примерно 45° с осью абсцисс, то прогностический (основной) график построен правильно; в противном случае его необходимо уточнить. Обычно проверка прогностических зависимостей производится не на том ряде, на основе которого построено прогностическое уравнение, а на независимом ряде. Поэтому при построении прогностических зависимостей используют, как правило, не весь имеющийся ряд наблюдений а только часть его, с тем чтобы полученное уравнение связи можно было проверить на наблюдениях, не вошедших в ряд наблюдений, использованных для построения прогностической зависимости.

Если точки группируются около прямой линии (линейная зависимость), то связь хорошая. Если полученная связь недостаточно тесна, то постепенно подключают второстепенные факторы и строят новые графики связи. После того, как полученная зависимость удовлетворяет требованию, находят количественное или аналитическое выражение этой связи, т. е. определяют количественную характеристику тесноты связи — коэффициент корреляции, и прогностическое уравнение. Поскольку характер разброса точек бывает самый разнообразный и по внешнему виду трудно оценить тесноту связи и пригодность уравнения для прогностических целей, в прогностической практике разработаны специальные критерии для оценки качества прогностических связей (о них будет сказано ниже).

Как уже отмечалось, если связь между величинами очень тесная, т. е. точки группируются около линии, то такой график может быть использован непосредственно для прогноза. Для этого достаточно по заданному значению аргумента x на этом графике определить значение прогнозируемой величины (функции) y.

Так как уравнение, построенное методом численной корреляции, будет точнее уравнения, построенного путем проведения на глаз линии регрессии на корреляционном графике, то для окончательного выявления связи рекомендуется производить все вычисления, необходимые для построения уравнения регрессии.

При анализе материалов наблюдений во всех случаях рекомендуется строить связи между величинами. Это в первую очередь необходимо для того, чтобы определить вид линии регрессии. Методы линейной корреляции применимы только в тех случаях, когда связь между величинами x и y линейна, т. е. представляет прямую линию. При нелинейной связи применяются другие методы.

Меру зависимости между величинами при линейной регрессии характеризует безразмерный коэффициент корреляции, который по абсолютной величине не превосходит единицы:

$$|r| \leqslant 1. \qquad (2)$$

Для независимых величин x и y коэффициент корреляции равен нулю. Равенство коэффициента корреляции нулю означает

отсутствие линейной зависимости (но не исключает зависимости нелинейной).

Чем ближе абсолютная величина коэффициента корреляции к единице, тем теснее линейная зависимость между величинами. Равенство коэффициента корреляции единице означает наличие линейной функциональной зависимости между величинами x и y.

При положительном значении коэффициента корреляции связь прямая, т. е. с увеличением значения аргумента увеличивается

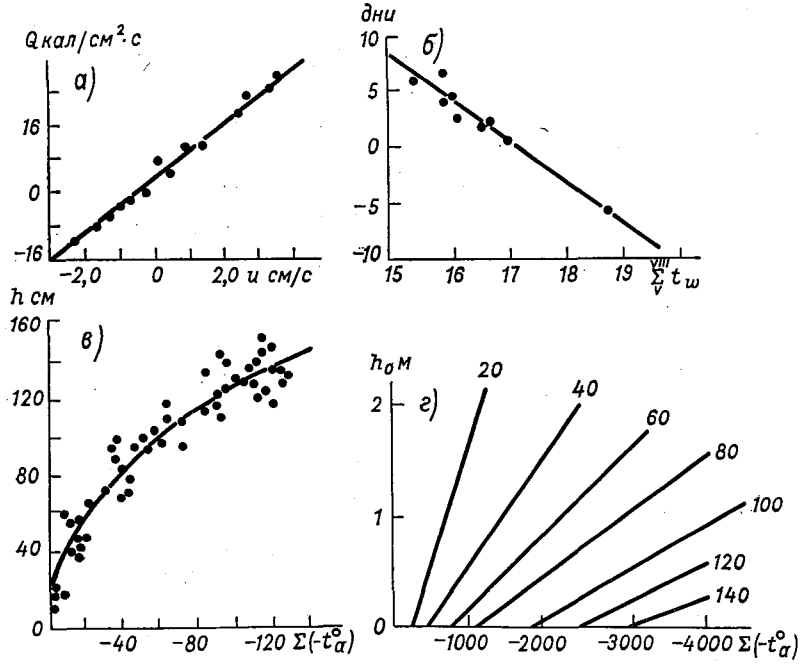


Рис. 19. Примеры корреляционных зависимостей.

а — прямолинейная связь между скоростью течения u и адвекцией тепла Q ($r>0$); *б* — обратная связь между средними отклонениями от нормы (дни) сроков осенних ледовых фаз и теплосодержанием течения ($r<0$); *в* — нелинейная связь между толщиной льда h и суммой отрицательных температур воздуха; *г* — корреляционная связь между тремя переменными (числа у изолиний — прирост льда в см).

и функция (рис. 19 *а*). При отрицательном значении r связь обратная, т. е. с увеличением значения аргумента значение функции убывает (рис. 19 *б*).

Коэффициент корреляции не изменяется при изменении начала отсчета и масштаба измерения величин x и y. Это позволяет существенно упростить вычисления с помощью выбора удобного начала отсчета (x_0, y_0) и подходящих единиц масштаба.

Коэффициент корреляции и уравнение регрессии приближенно можно найти по корреляционному графику и более точно — путем вычислений по методу наименьших квадратов.

В первом случае коэффициент корреляции выражается через угловые коэффициенты прямых регрессии.

На рис. 20 изображены две линии регрессии, уравнения которых имеют вид:

$$y = a_1 x + b_1,$$
$$x = a_2 y + b_2. \qquad (3)$$

Направления этих прямых определяются коэффициентами регрессии:

$$a_1 = \operatorname{tg}\alpha,\ a_2 = \operatorname{tg}\beta.$$

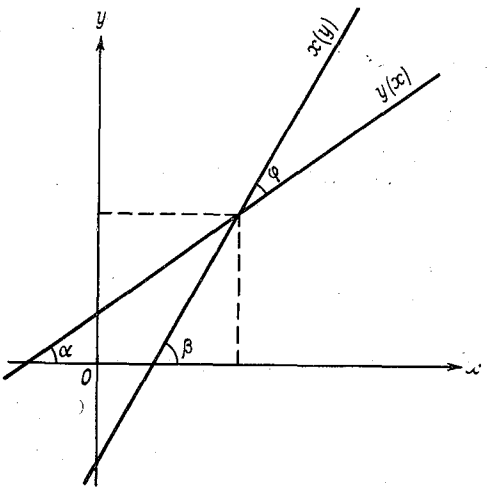


Рис. 20. Прямые регрессии $x(y)$ и $y(x)$.

В общем случае корреляционной связи эти две прямые линии регрессии не совпадают. Они совпадут, если зависимость между x и y будет функциональной, т. е. угол φ между прямыми будет равен нулю. По величине угла φ можно судить о тесноте связи между x и y: чем больше угол φ, тем слабее связь, и чем ближе угол φ к нулю, тем ближе связь к функциональной.

При совпадении прямых, т. е. $\varphi = 0$, $\operatorname{tg}\alpha \cdot \operatorname{tg}\beta = 1$. При отсутствии связи между величинами x и y $\operatorname{tg}\alpha \cdot \operatorname{tg}\beta = 0$. Коэффициент корреляции r служит мерой тесноты связи:

$$r = \sqrt{\operatorname{tg}\alpha \cdot \operatorname{tg}\beta}. \qquad (4)$$

Так как $a_1 = \operatorname{tg}\alpha$ и $a_2 = \operatorname{tg}\beta$, то

$$r = \sqrt{a_1 \cdot a_2}. \qquad (5)$$

Для построения прогностического уравнения достаточно определить угол наклона линии регрессии к оси абсцисс и по таблицам найти тангенс этого угла, который и будет являться коэффициентом при независимом переменном (аргументе). Тангенс угла наклона может быть также определен из отношения величины, на которую изменяется ордината, к величине соответственного изменения абсциссы. Свободный член уравнения регрессии определяется по величине отрезка, отсекаемого на оси ординат линией регрессии. Его величина будет определяться значением функции, которое она примет при нулевом значении аргумента.

Определение уравнения регрессии для линейных зависимостей производится по методу наименьших квадратов. При определении параметров уравнения по методу наименьших квадратов линия регрессии всегда проходит через точку $(\overline{x}, \overline{y})$, координаты которой являются средними значениями координат данных точек:

$$\overline{x}=\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}x_k, \quad \overline{y}=\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}y_k. \tag{6}$$

Поэтому уравнение прямой целесообразно записать в виде

$$y-\overline{y}=a\,(x-\overline{x}). \tag{7}$$

Тогда единственный параметр a определяется по формуле

$$a=\frac{\overline{xy}-\overline{x}\,\overline{y}}{\overline{x^2}-\overline{x}^2}, \tag{8}$$

где

$$\overline{x^2}=\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}x_k^2, \quad \overline{xy}=\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}x_k y_k. \tag{9}$$

Мерой точности уравнения регрессии служит среднее квадратичное отклонение эмпирических точек от линии регрессии, или стандартное отклонение. Среднее квадратичное отклонение вычисляется по тем же данным, на основании которых установлена сама корреляционная зависимость:

$$S=\sqrt{\frac{\Sigma(y-y_{\text{расч}})^2}{n}}, \tag{10}$$

и характеризует дисперсию (рассеяние) точек около прямой (кривой) регрессии.

Пример расчета корреляции между двумя переменными по методу наименьших квадратов приведен в табл. 12.

До сих пор речь шла о парной корреляции, т. е. корреляции между двумя зависимыми переменными. Однако понятие линейной корреляции может быть перенесено на случай большего числа переменных.

Когда в корреляции участвует больше двух переменных, ее называют множественной корреляцией. Следует отметить, что вручную можно вычислить корреляцию между двумя или тремя переменными. При большем числе переменных расчеты могут быть проведены только с помощью ЭВМ. При современном развитии вычислительной техники это не является проблемой. Для различных систем ЭВМ подготовлены стандартные программы парной и множественной корреляции, использование которых не представляет большого труда.

Таблица 12

Корреляция между двумя переменными: x — средняя высота волны по волнографной записи (в дм), y — максимальная высота волны по волнографной записи (в дм)

n	Независимая переменная x	Функция y	$\Delta x = x - \bar{x}$	$\Delta y = y - \bar{y}$	Δx^2	Δy^2	$\Delta x \cdot \Delta y$	$\Delta x + \Delta y$	$(\Delta x + \Delta y)^2$
1	8	19	—17	—41	289	1681	637	—58	3364
2	9	19	—16	—41	256	1681	656	—57	3249
3	9	22	—16	—38	256	1444	608	—54	2916
4	8	23	—17	—37	289	1369	629	—54	2916
5	10	23	—15	—37	225	1369	555	—52	2704
6	15	35	—10	—25	100	625	250	—35	1225
7	15	34	—10	—26	100	676	260	—36	1296
8	15	33	—10	—27	100	729	270	—37	1369
9	12	28	—13	—32	169	1024	416	—45	2025
10	16	39	—9	—21	81	441	189	—30	900
11	17	40	—8	—20	64	400	160	—28	784
12	19	45	—6	—15	36	225	90	—21	441
13	20	47	—5	—13	25	169	65	—18	324
14	21	50	—4	—10	16	100	40	—14	196
15	24	60	—1	0	1	0	0	—1	1
16	41	99	16	39	256	1521	624	55	3025
17	49	120	24	60	576	3600	1440	84	7056
18	43	110	18	50	324	2500	900	68	4624
19	42	97	17	37	289	1369	629	54	2916
20	39	97	14	37	196	1369	518	51	2601
21	37	91	12	31	144	961	372	43	1849
22	37	85	12	25	144	625	300	37	1369
23	32	77	7	17	49	289	119	24	576
24	28	70	3	10	9	100	30	13	169
25	30	69	5	9	25	81	45	14	196
26	29	65	4	5	16	25	20	9	81

n	Независимая переменная	Функция y	$\Delta x = x - \bar{x}$	$\Delta y = y - \bar{y}$	Δx^2	Δy^2	$\Delta x \cdot \Delta y$	$\Delta x + \Delta y$	$(\Delta x + \Delta y)^2$
27	26	62	1	2	1	4	2	3	9
28	24	59	−1	−1	1	1	1	−2	4
29	25	60	0	0	0	0	0	0	0
30	44	110	19	50	361	2 500	950	69	4 761
$\sum$	744	1788			4398	26 878	10 835		**52 946**
n	30	30							
Среднее	25	60							

Контроль: $\sum \Delta x^2 + \sum \Delta y^2 + 2 \sum \Delta x \cdot \Delta y = \sum (\Delta x + \Delta y)^2 = 4398 + 26\,878 + 2 \cdot 10\,835 = 52\,946$

Пример расчета

1. Средние квадратические отклонения:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum \Delta y^2}{n}} = \sqrt{\frac{26\,878}{30}} = 29{,}9,$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum \Delta x^2}{n}} = \sqrt{\frac{4398}{30}} = 12{,}1$$

2. Коэффициент корреляции

$$r = \frac{\sum \Delta x \cdot \Delta y}{\sqrt{\sum \Delta x^2 \cdot \sum \Delta y^2}} = \frac{10\,835}{10\,873} = 0{,}996$$

3. Уравнение регрессии

$$y - \bar{y} = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} r (x - \bar{x}),$$

$$y - 60 = \frac{29{,}9}{12{,}1} \cdot 0{,}996\,(x - 25), \qquad y = 2{,}46x - 1{,}5$$

4. Вероятная ошибка коэффициента корреляции

$$E_r = \pm 0{,}67 \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}} = \pm 0{,}67 \frac{0{,}0080}{5{,}5} = \pm 0{,}0096$$

5. Средняя квадратичная ошибка уравнения регрессии

$$S_y = \sigma_y \sqrt{1 - r^2} = 29{,}9 \cdot 0{,}0080 = \pm 0{,}24$$

Таблица 13

Корреляция между тремя переменными: x — коэффициент разложения полей атмосферного давления в июле, y — разность температур воды и воздуха (средняя за декабрь—февраль), z — ледовитость Финского залива (средняя за декабрь—май)

n	Год	Независимые переменные x	Независимые переменные y	Функция z	$\Delta x = x - \bar{x}$	$\Delta y = y - \bar{y}$	$\Delta z = z - \bar{z}$	Δx^2	Δy^2	Δz^2	$\Delta x \Delta y$	$\Delta x \Delta z$	$\Delta y \Delta z$	$\Delta x + \Delta y + \Delta z$	$(\Delta x + \Delta y + \Delta z)^2$
1	1948	2	−9	10	1	−9	12	1	81	144	−9	12	−108	4	16
2	1949	13	10	−24	12	10	−22	144	100	484	120	−264	−220	0	0
3	1950	−5	9	−2	−6	9	0	36	81	0	−54	0	0	3	9
4	1951	−1	1	10	−2	1	12	4	1	144	−2	−24	12	11	121
5	1952	7	1	−10	6	1	−8	36	1	64	6	−48	−8	−1	1
6	1953	−12	−2	2	−13	−2	4	169	4	16	26	−52	−8	−11	121
7	1954	−12	0	5	−13	0	7	169	0	49	0	−91	0	−6	36
8	1955	20	1	−31	19	1	−29	361	1	841	19	−551	−29	−9	81
9	1956	0	−15	33	−1	−15	35	1	225	1225	15	−35	−525	19	361
10	1957	−7	10	−9	−8	10	−7	64	100	49	−80	56	−70	−5	25
11	1958	−6	−3	12	−7	−3	14	49	9	196	21	−98	−42	4	16
12	1959	4	8	−30	3	8	−28	9	64	784	24	−84	−224	−17	289
13	1960	−17	−6	51	−18	−6	53	324	36	2809	108	−954	−318	29	841
14	1961	0	13	−27	−1	13	−25	1	169	625	−13	25	−325	−13	169
15	1962	4	2	−22	3	2	−20	9	4	400	6	−60	−40	−15	225
16	1963	2	−11	16	1	−11	18	1	121	324	−11	18	−198	8	64
17	1964	1	−3	−5	0	−3	−3	0	9	9	0	0	9	−6	36
18	1965	−2	2	−17	−3	2	−15	9	4	225	−6	45	−30	−16	256
19	1966	−3	−9	23	−4	−9	25	16	81	625	36	−100	−225	12	144
20	1967	1	−2	3	0	−2	5	0	4	25	0	0	−10	3	9
21	1968	17	1	−20	16	1	−18	256	1	324	16	−288	−18	−1	1
22	1969	8	−4	−2	7	−4	0	49	16	0	−28	0	0	3	9
		14	−6	−34				1708	1112	9362	194	−2493	−2377		**2830**
		22	22	22											
Среднее		+1	0	−2											

Контроль: $\sum \Delta x^2 + \sum \Delta y^2 + \sum \Delta z^2 + 2\sum \Delta x \Delta y + 2\sum \Delta x \Delta z + 2\sum \Delta y \Delta z = \sum (\Delta x + \Delta y + \Delta z)^2 = 1708 + 1112 + 9362 + 2 \times (-2493) + 2 \cdot (-2377) = \mathbf{2830}$

Пример расчета

1. Среднеквадратичные отклонения переменных:

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{\sum \Delta z^2}{n}} = \sqrt{\frac{9362}{22}} = 20{,}7, \qquad \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum \Delta x^2}{n}} = \sqrt{\frac{1708}{22}} = 8{,}8,$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum \Delta y^2}{n}} = \sqrt{\frac{1112}{22}} = 7{,}1$$

2. Частные коэффициенты корреляции:

$$r_{zx} = \frac{\sum \Delta z \cdot \Delta x}{\sqrt{\sum \Delta z^2 \cdot \sum \Delta x^2}} = \frac{-2493}{\sqrt{9362 \cdot 1708}} = -0{,}62, \qquad r_{zy} = \frac{\sum \Delta z \cdot \Delta y}{\sqrt{\sum \Delta z^2 \cdot \sum \Delta y^2}} = \frac{-2377}{\sqrt{9362 \cdot 1112}} = -0{,}74,$$

$$r_{xy} = \frac{\sum \Delta x \, \Delta y}{\sqrt{\sum \Delta x^2 \cdot \sum \Delta y^2}} = \frac{194}{\sqrt{1708 \cdot 1112}} = 0{,}14$$

3. Уравнение регрессии:

$$z - \bar{z} = \frac{\sigma_z}{\sigma_x} \frac{r_{zx} - r_{zy} \cdot r_{xy}}{1 - r^2} (x - \bar{x}) + \frac{\sigma_z}{\sigma_y} \frac{r_{zy} - r_{zx} r_{xy}}{1 - r_{xy}^2} (y - \bar{y}),$$

$$z + 2 = \frac{20{,}7\,(-0{,}62) + 0{,}74 \cdot 0{,}14}{88\,(1 - 0{,}0196)} (x - 2) + \frac{20{,}7\,(-0{,}74) + 0{,}62 \cdot 0{,}14}{7{,}1\,(1 - 0{,}0196)} (y - 0); \qquad z = -1{,}22x - 1{,}93y - 3{,}2;$$

4. Общий коэффициент корреляции

$$R_{zxy} = \sqrt{\frac{r_{zx}^2 + r_{zy}^2 - 2 r_{zx} \cdot r_{zy} \cdot r_{xy}}{1 - r_{xy}^2}} = \sqrt{\frac{(-0{,}62)^2 + (-0{,}74)^2 - 2\,(-0{,}62)\,(-0{,}74)\,0{,}14}{1 - 0{,}0196}} = 0{,}90$$

5. Вероятная ошибка общего коэффициента корреляции

$$E_R = \pm 0{,}674 \frac{1 - R^2}{\sqrt{n}} = \pm 0{,}674 \frac{1 - (0{,}90)^2}{\sqrt{22}} = \pm 0{,}02$$

6. Среднеквадратичная ошибка уравнения регрессии

$$S_z = \sigma_z \sqrt{1 - R^2} = 20{,}7 \sqrt{1 - 0{,}81} = \pm 3{,}93.$$

Мерой зависимости между величинами при множественной корреляции служит общий (или сводный) коэффициент корреляции R. Значения общего коэффициента корреляции заключены в пределах от нуля до единицы. Если величина третьей переменной z не зависит от величин x и y, то теоретически $R=0$. Это значит, что между величиной z и величинами x и y нет линейной корреляционной зависимости (но может быть нелинейная). В случае линейной функциональной зависимости величины z от величин x и y $R=1$. Для изучения влияния одного из факторов, например x, на величину z, т. е. для изучения корреляции между x и z после исключения влияния y, вводят частный коэффициент корреляции величин x и z по отношению к величине y, а именно $r_{xz/y}$. Аналогично определяются частные коэффициенты корреляции $r_{xy/z}$ и $r_{yz/x}$. Схема корреляции между тремя переменными и необходимые формулы приведены в табл. 13.

Корреляционную зависимость между тремя величинами также можно изобразить графически. При этом зависимость представляется семейством кривых или прямых линий (см. рис. 19 *г*).

График связи между тремя величинами строится так же, как и для двух величин, при этом вторая независимая переменная является параметром. По оси ординат откладывается зависимая переменная z, а по оси абсцисс одна из независимых переменных, например x. Около каждой точки записывается соответственное значение второй независимой переменной.

Если имеется корреляционная зависимость, то обнаруживается закономерное распределение значений второй независимой переменной. При этом нетрудно провести изолинии, которые разделят все поле точек на несколько групп.

Построение аналитического выражения для трех переменных в случае криволинейных изолиний на корреляционном графике представляет большие трудности.

В случае нелинейной корреляции (см. рис. 19 *в*) в качестве меры тесноты связи принимается корреляционное отношение

$$\rho=\sqrt{1-\frac{S^2}{\sigma^2}}, \qquad (11)$$

где S — среднее квадратичное отклонение эмпирических точек от линии связи, σ — среднее квадратичное отклонение от нормы.

Корреляционные отношения удовлетворяют неравенствам

$$0\leqslant|r|\leqslant\rho_{y/x}\leqslant 1,\ 0\leqslant|r|\leqslant\rho_{x/y}\leqslant 1.$$

Для линейных зависимостей корреляционное отношение численно совпадает с коэффициентом корреляции r. Вероятная ошибка коэффициента корреляции для криволинейных зависимостей вычисляется по формуле

$$E_\rho=\pm 0{,}674\frac{S^2/\sigma^2}{\sqrt{n}}. \qquad (12)$$

Кривые регрессии строятся по методу наименьших квадратов. Однако при этом нелинейные зависимости должны быть приведены к линейному виду путем логарифмирования переменных. Если кривая не может быть приведена к линейному виду, то в этом случае вид зависимости определяется подбором формулы, не имеющей надлежащего физического обоснования, но позволяющей достаточно точно определять значения одной величины по данным измерения другой.

§ 5. ПОКАЗАТЕЛИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МОРСКИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

Динамические и тепловые процессы в море прямо или косвенно определяются циркуляционными особенностями атмосферы над значительными водными пространствами.

Установление прогностических зависимостей между гидрологическими явлениями в море и факторами, их определяющими, по наблюдениям в одной точке не может привести к положительным результатам. Такие зависимости, если даже и будут иметь высокий коэффициент корреляции, будут локализованными и неустойчивыми во времени. Для учета влияния атмосферных процессов над достаточно большими районами предложены различные показатели, позволяющие выразить числом характер и интенсивность атмосферной циркуляции и, следовательно, учитывать количественно степень ее изменчивости.

При построении прогностических зависимостей в качестве показателя атмосферной циркуляции используются либо температура воздуха, либо скорость ветра, либо непосредственно давление, взятое в одном или нескольких пунктах, либо разности давления в двух пунктах или по двум взаимно перпендикулярным направлениям, так называемые эффективные градиенты давления.

Иногда в прогностические зависимости вводятся такие показатели, которые одновременно учитывают и интенсивность, и направление переноса воздушных масс. Примером таких показателей могут служить коэффициент атлантической тяги, введенный В. Ю. Визе, и вектор переноса воздушных масс, введенный В. В. Тимоновым. Для количественного учета влияния атмосферной циркуляции на погоду и режим моря были предложены различные численные показатели — индексы атмосферной циркуляции. Наиболее широкое распространение в прогностической практике получили индексы Н. А. Белинского, Л. А. Вительса, Е. Н. Блиновой, А. Л. Каца.

Индекс атмосферной циркуляции Н. А. Белинского выражает интенсивность циклонической и антициклонической деятельности. Исследуемый район разбивается на прямоугольники со сторонами 10° по меридиану и 5° по широте. В каждом прямоугольнике с синоптической карты снимается значение давления с учетом

кривизны изобары, проходящей через данный прямоугольник. Кривизна изобар оценивается следующим образом: изобара имеет циклоническую кривизну, если внутри области, охватываемой изобарой, наблюдается более низкое давление; если же давление внутри области, охватываемой изобарой, больше по сравнению с давлением, фиксируемым изобарой, то такая изобара имеет антициклоническую кривизну.

Для численной характеристики давления атмосферы и кривизны изобар Белинский ввел систему условных индексов (табл. 14). При циклонической кривизне изобар индекс циркуляции положительный, при антициклонической — отрицательный. Для перехода от условных единиц к миллибарам достаточно индексы умножить на 5. Чтобы получить средние значения индексов, их суммируют, сумму умножают на 5 и затем делят на число слагаемых.

Таблица 14

Индексы атмосферной циркуляции Н. А. Белинского

Давление воздуха при циклонической циркуляции, мб	Условный индекс, баллы	Давление воздуха при антициклонической циркуляции, мб	Условный индекс, баллы
1030	0	1050	—12
1025	+1	1045	—11
1020	+2	1040	—10
1015	+3	1035	—9
1010	+4	1030	—8
1005	+5	1025	—7
1000	+6	1020	—6
995	+7	1015	—5
990	+8	1010	—4
985	+9	1005	—3
980	+10	1000	—2
975	+11	995	—1
970	+12	990	0

Из табл. 14 видно, что индексы +4 и —4 соответствуют давлению 1010 мб, поэтому индексы Белинского, переведенные в миллибары, представляют собой отклонения атмосферного давления от 1010 мб. При этом, в отличие от обычных величин давления, полученные указанным способом величины учитывают также и кривизну изобар.

Индексы подсчитываются следующим образом. Ежедневно по выбранным районам с синоптических карт снимают значения атмосферного давления в отклонениях от 1010 мб с учетом кривизны изобар и затем вычисляют скользящие средние пятидневные его величины. После этого на основании полученных данных находят средние значения индексов за месяц по отдельным районам, суммарные значения для нескольких районов, суммарные значения индексов за год и т. д. Это весьма трудоемкая работа. Поэтому

для получения длительных многолетних рядов наблюдений Н. А. Белинский разработал упрощенный способ определения индексов атмосферной циркуляции исходя из балловой шкалы оценки атмосферных процессов для восьми районов, предложенной Вительсом. Эта шкала индексов в форме, которую ей придал Белинский, имеет следующий вид:

Индекс	Барическое образование	Центральная изобара, мб
—5	Антициклон мощный	1035 и более
—4	Антициклон средней интенсивности	1025
—3	Антициклон слабый	1020 и менее
+5	Циклон глубокий	990 и менее
+4	Циклон средней интенсивности	995—1000
+3	Циклон слабый	1005 и более

На рис. 21 показаны районы, для которых вычисляются индексы Белинского.

В последние годы широкое применение в прогностической практике получили методы аналитического представления полей метеорологических и гидрологических элементов путем разложения их в ряды по ортогональным функциям. При таком подходе берется последовательность полей атмосферного давления над определенным районом и каждое реальное барическое поле раскладывается в ряд, т. е. представляется суммой простых шаблонов (элементарных полей) и количественно оценивается, в какой степени каждый из барических шаблонов содержится в реальном барическом поле. Сумма же барических шаблонов, взятых с соответствующим весом, дает реальное барическое поле.

Поскольку циркуляция атмосферы берется в качестве основного фактора при установлении прогностических зависимостей для различных океанографических характеристик, то в практике работы обычно пользуются одними и теми же районами для аналитического представления барического поля.

Для аналитического представления барических полей целесообразно брать такую функцию разложения, в которой первые члены ряда с достаточной для практики точностью описывают реальное барическое поле, т. е. наиболее полно отражают его характерные особенности (распределение областей повышенного и пониженного давления, интенсивность и т. д.). Другими словами, необходимо, чтобы ряд быстро сходился. Тогда коэффициенты разложения рядов можно использовать в качестве аргументов при разработке прогностических зависимостей. Как показали исследования, для этой цели удобно применять ортогональные алгебраические многочлены (полиномы), вычисляемые с помощью интерполяционного ряда Чебышева.

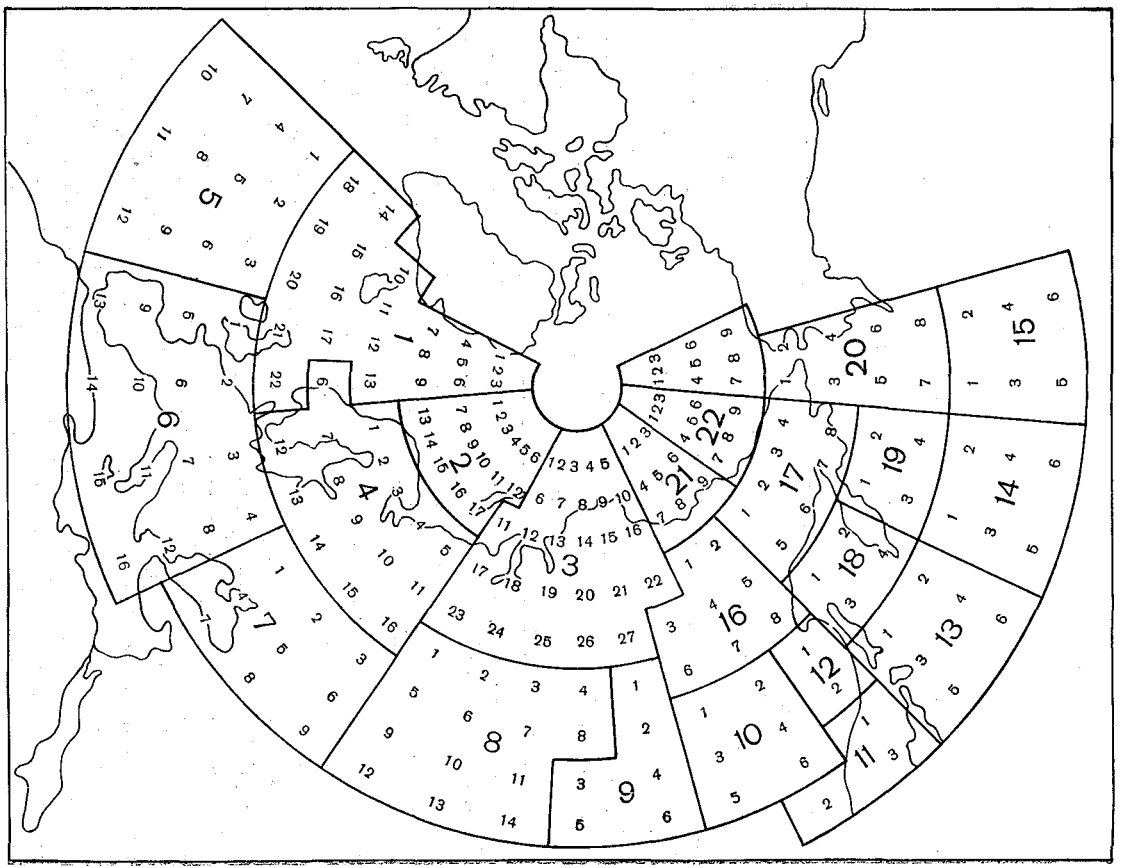


Рис. 21. Районы для снятия атмосферного давления в индексах Белинского.

Разложение функции $Z(x, y)$ от двух переменных[1] по ортогональным полиномам Чебышева записывается следующим образом:

$$Z(x, y)=A_{00}\varphi_0(x)\psi_0(y)+A_{10}\varphi_1(x)\psi_0(y)+A_{01}\varphi_0(x)\psi_1(y)+$$
$$+A_{11}\varphi_1(x)\psi_1(y)+\ldots+A_{ij}\varphi_i(x)\psi_j(y)+\ldots, \qquad (13)$$

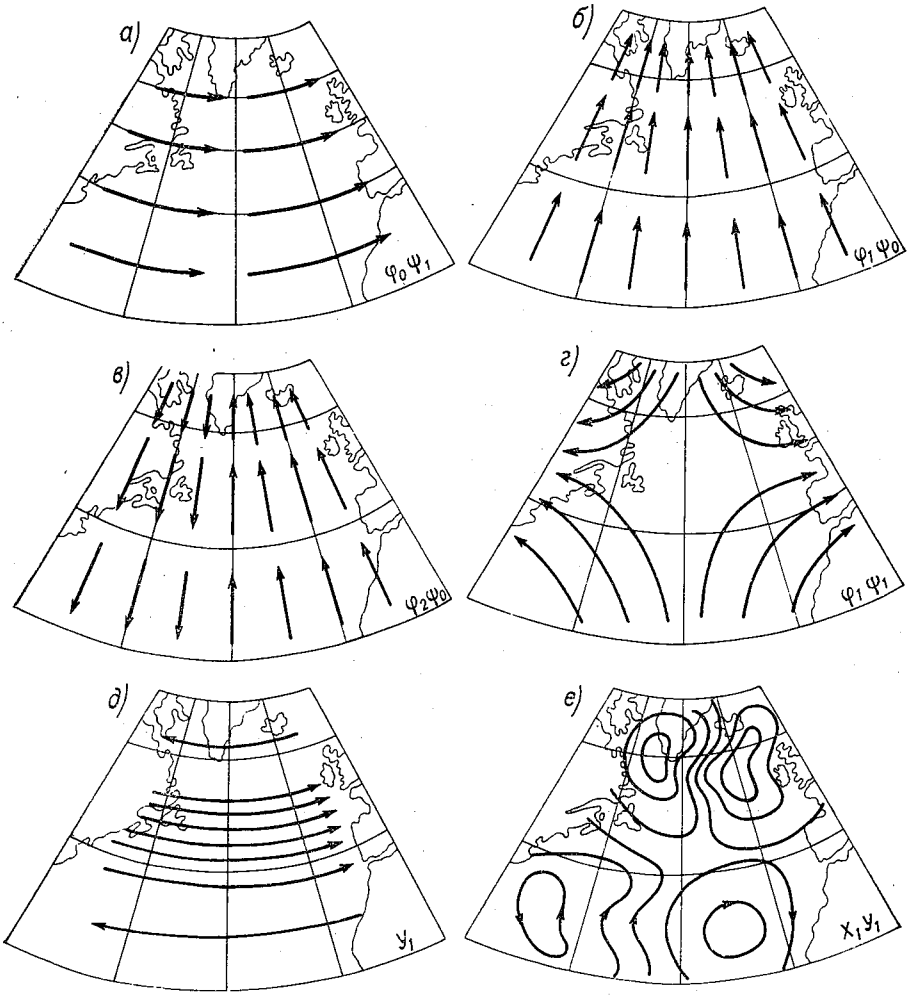


Рис. 22. Элементарные поля разложения в ряды по полиномам Чебышева (*а*, *б*, *в*, *г*) и естественным составляющим (*д*, *е*).

где A_{00}, A_{10}, A_{01}, ..., A_{ij} — коэффициенты разложения; φ_i и ψ_j — полиномы Чебышева, причем $\varphi_0(x)=\psi_0(y)=1$.

Каждое слагаемое ряда представляет собой некоторые элементарные поля (шаблоны), описываемые кривыми 1, 2, ..., n-го

[1] Ось x направлена с запада на восток, ось y — с севера на юг.

порядка. Каждое из них можно отождествить с потоками воздуха, ориентированными в пространстве. Коэффициенты разложения, определяющие градиенты элементарных полей, вычисляются по формуле

$$A_{ij}=\frac{\sum\sum Z(x,\ y)\varphi_i(x)\psi_j(y)}{\sum\varphi_i^2(x)\sum\psi_j^2(y)}. \qquad (14)$$

Знаки коэффициентов характеризуют направление градиентов. Исключение составляет первый член ряда $A_{00}\varphi_0(x)\psi_0(y)$, характеризующий среднее значение величины Z по площади. Элементарное поле $A_{01}\varphi_0(x)\psi_1(y)$ дает линейное распределение функции Z вдоль меридиана. При положительном знаке коэффициента A_{01} создается равномерный поток с запада на восток (рис. 22 *а*), при отрицательном — наоборот.

Элементарное поле $A_{10}\varphi_1(x)\psi_0(y)$ дает линейное распределение функции Z вдоль параллели. При положительном знаке коэффициента A_{10} создается равномерный поток с юга на север (рис. 22 *б*), при отрицательном — наоборот. Элементарные поля $A_{20}\varphi_2(x)\psi_0(y)$, $A_{11}\varphi_1(x)\psi_1(y)$, $A_{12}\varphi_1(x)\psi_2(y)$, $A_{21}\varphi_2(x)\psi_1(y)$ и т. д. характеризуют более сложные поля (рис. 22 *в*, *г*).

Для вычислений пользуются стандартными значениями полиномов Чебышева φ_i и ψ_j, для удобства представленными в виде таблиц.

Пример. Разложение барического поля по полиномам Чебышева.

Поле атмосферного давления над Северной Атлантикой, ограниченное на севере 80° с. ш., на юге 16° с. ш., на западе 85° в. д. и на востоке 10° в. д., задается в 99 точках (рис. 23). Для упрощения вычислений вручную давление берется в отклонениях от 1010 мб с точностью до 1 мб.

Таблица 15

Стандартные полиномы Чебышева

x, y	ψ_1	ψ_2	ψ_3	φ_1	φ_2	φ_3
	$n=9$			$n=11$		
1	−4	28	−14	−5	15	−30
2	−3	7	7	−4	6	6
3	−2	−8	13	−3	−1	22
4	−1	−17	9	−2	−6	23
5	0	−20	0	−1	−9	14
6	1	−17	−9	0	−10	0
7	2	−8	−13	1	−9	−14
8	3	7	−7	2	−6	−23
9	4	28	14	3	−1	−22
10				4	6	−6
11				5	15	30
$\sum\varphi^2$, $\sum\psi^2$	60	2772	990	110	858	4290

Начало координат помещается в верхнем левом углу области. Ось x направлена с запада на восток, ось y — с севера на юг. На оси x отложены значения от 1 до 11, на оси y — от 1 до 9, так что исходные данные представляют матрицу из 9 строк и 11 столбцов. Расчет коэффициентов ведется до полиномов третьего порядка включительно. Стандартные полиномы Чебышева для $n=9$ и $n=11$ приведены в табл. 15, исходные поля давления и предварительные вычисления, необходимые для расчетов коэффициентов разложения — в табл. 16.

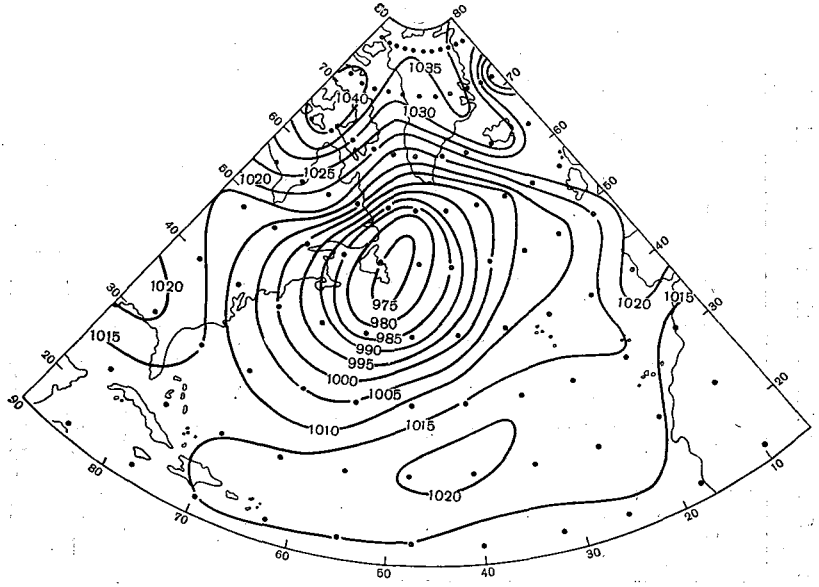


Рис. 23. Барическое поле за 15 часов 14 марта 1962 г. и сетка точек, в которых снимаются значения атмосферного давления.

Коэффициенты разложения A_{ij} рассчитываются по формуле (14):

$$A_{00}=\frac{621}{99}=6{,}273; \qquad A_{01}=\frac{-1797}{60\cdot 11}=-2{,}72;$$

$$A_{10}=\frac{-238}{110\cdot 9}=-0{,}24; \qquad A_{02}=\frac{13\,505}{2772\cdot 11}=0{,}4429;$$

$$A_{20}=\frac{3768}{858\cdot 9}=0{,}488; \qquad A_{03}=\frac{43}{990\cdot 11}=0{,}0039;$$

$$A_{30}=\frac{-3238}{4290\cdot 9}=-0{,}0838; \qquad A_{21}=\frac{-1923}{858\cdot 60}=-0{,}0374;$$

$$A_{11}=\frac{1241}{110\cdot 60}=0{,}188; \qquad A_{22}=\frac{-75\,849}{858\cdot 2772}=-0{,}0319;$$

$$A_{12}=\frac{-4861}{110\cdot 2772}=-0{,}0159; \qquad A_{23}=\frac{6657}{858\cdot 990}=0{,}0078;$$

$$A_{13}=\frac{-5129}{110\cdot 990}=-0{,}0471; \qquad A_{32}=\frac{18\,359}{4290\cdot 2772}=0{,}00154;$$

$$A_{31}=\frac{131}{4290\cdot 60}=0{,}000509; \qquad A_{33}=\frac{9986}{-4290\cdot 990}=0{,}00235.$$

Таблица 16

Разложение поля атмосферного давления над Северной Атлантикой за 15 часов 14 марта 1962 г.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	ΣP	$\Sigma P\psi_1$	$\Sigma P\psi_2$	$\Sigma P\psi_3$
1	28	26	26	26	25	25	24	25	24	23	22	274	—1096	7 672	—3836
2	31	31	27	24	20	23	25	26	24	15	5	251	—753	1 757	1757
3	30	30	23	13	3	0	8	14	20	21	14	176	—352	—1 408	2288
4	17	13	8	—1	—23	—30	—15	—12	—6	7	13	—29	29	493	—261
5	3	—2	—12	—26	—33	—33	—23	—9	—3	—2	5	—135	0	2 700	0
6	6	0	—7	—17	—27	—24	—11	0	2	5	12	—61	—61	1 038	549
7	10	5	—2	—5	—3	2	5	9	6	5	4	36	72	—288	—468
8	4	4	5	6	8	11	10	7	8	6	3	72	216	504	—504
9	2	3	5	5	5	5	4	3	5	2	—2	37	148	1 037	518
$\sum P$	131	110	73	25	—25	—21	27	63	80	82	76	621	—1797	13 505	43
$\sum P\varphi_1$	—655	—440	—219	—50	25	0	27	126	240	328	380	—238			
$\sum P\varphi_2$	1965	660	—73	—150	225	210	—243	—378	—80	492	1140	3768			
$\sum P\varphi_3$	—3930	660	1606	—575	—350	0	—378	—1449	—1760	—492	2280	—3238			

Таким образом получаем

$$P(x, y)=6{,}273-0{,}24\ \varphi_1-2{,}72\ \psi_1+0{,}188\ \varphi_1\psi_1+0{,}488\ \varphi_2+0{,}443\ \psi_2-0{,}0374\ \varphi_2\psi_1-$$
$$-0{,}0159\ \varphi_1\psi_2-0{,}0319\ \varphi_2\psi_2-0{,}0839\ \varphi_3+0{,}00395\ \psi_3+0{,}000509\ \varphi_3\psi_1-0{,}0471\ \varphi_1\psi_3+$$
$$+0{,}00154\ \varphi_3\psi_2+0{,}0078\ \varphi_2\psi_3+0{,}00235\ \varphi_3\psi_3. \qquad (15)$$

Ввиду трудоемкости расчета коэффициентов разложения ручным способом в настоящее время составлена программа для их вычислений на ЭВМ.

Способ аналитического представления полей гидрометеорологических элементов с помощью полиномов Чебышева сравнительно прост и удобен в практической работе.

Числа Чебышева будут одинаковыми при определенном значении n, независимо от того, какой элемент рассматривается. Они не зависят от пространственной структуры и физических особенностей поля распределения гидрометеорологического элемента. В этом кроется некоторая искусственность, формальность такого способа разложения.

Недостаток этого способа заключается в том, что он ограничивает выбор формы области, в пределах которой производится разложение поля гидрометеорологического элемента по полиномам Чебышева. Это связано с тем, что точки, в которых снимаются исходные данные, должны располагаться на одинаковом расстоянии друг от друга, т. е. рассматриваемая область обязательно должна иметь форму квадрата или прямоугольника.

Указанные недостатки устраняются, если поля распределения гидрометеорологических элементов разложить в ряд по так называемым естественным составляющим, которые отражают характерные особенности распределения рассматриваемого элемента. Разложение поля по естественным составляющим записывается в следующем виде:

$$P(x, y)=B_{00}+B_{10}X_1(x)+B_{01}Y(y)+B_{11}X(x)Y(y)+\ldots$$
$$\ldots+B_{ij}X_i(x)Y_j(y)+\ldots, \qquad (16)$$

где $X_i(x)$ — естественные составляющие для оси x; $Y_j(y)$ — естественные составляющие для оси y; B_{ij} — коэффициенты разложения.

Коэффициенты разложения B_{ij} вычисляются по формуле

$$B_{ij}=\frac{\sum P(x, y)X_i(x)Y(y)}{\sum X_i^2 \sum Y_j^2}. \qquad (17)$$

Поскольку $\sum X_i^2=\sum Y_j^2=1$, то при $i\neq 0$, $j\neq 0$

$$B_{ij}=\sum P(x, y)X_i(x)Y_j(y). \qquad (18)$$

Если полиномы Чебышева являются стандартными, т. е. они одни и те же в пределах заданной сетки, то естественные составляющие для любого гидрометеорологического элемента должны вычисляться отдельно. Для того чтобы естественные составляю-

щие наилучшим образом описывали поле распределения рассматриваемого элемента, при их определении должно быть учтено по возможности все разнообразие типов распределения этого элемента. Следовательно, определению естественных составляющих должна предшествовать работа по типизации гидрометеорологических процессов. Так, например, для определения естественных составляющих для аналитического представления полей атмосферного давления над Северной Атлантикой использовалась типизация, разработанная А. И. Соркиной.

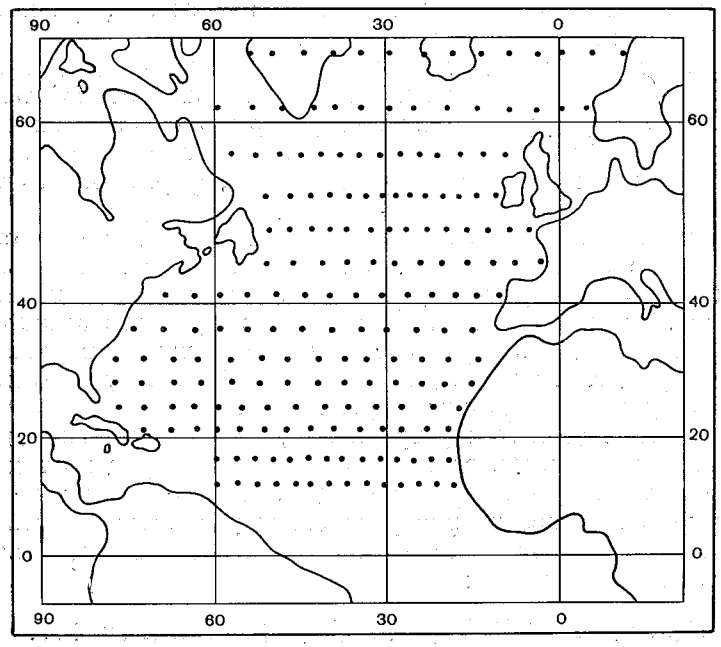


Рис. 24. Сетка точек для снятия атмосферного давления над Северной Атлантикой при разложении его в ряд по естественным составляющим.

На рис. 22 *д*, *е* показаны элементарные поля атмосферного давления над Северной Атлантикой, соответствующие естественным составляющим Y_1 и X_1Y_1. Как видно из рисунков, эти поля отличаются от аналогичных элементарных полей, соответствующих полиномам Чебышева. Особенностью этих полей является то, что интенсивность переноса воздушных масс различна в разных районах океана. Там, где преобладает интенсивная циклоническая деятельность (северные районы), градиенты больше; там же, где циклоническая деятельность ослаблена (южные районы), градиенты меньше.

В элементарных полях, соответствующих полиномам Чебышева, потоки равномерны по всей области, что далеко от реальной действительности (см. рис. 22 *б*, *г*).

Таким образом, при разложении полей гидрометеорологических элементов по естественным составляющим можно учитывать меньшее количество членов ряда (примерно в два раза), чем при разложении полей по полиномам Чебышева. Другим важным преимуществом этого способа разложения является то, что можно выбирать произвольную форму области и произвольное расположение точек в пределах этой области для аналитического представления полей (рис. 24).

§ 6. РАСЧЕТЫ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА НАД МОРЯМИ

При расчетах волнения, течений, дрейфа льда, сгонно-нагонных явлений на морях приходится уделять большое внимание расчетам ветра. Поле ветра рассчитывается по полю атмосферного давления. Для того чтобы перейти от поля атмосферного давления к полю ветра, необходимо выполнить целый ряд последовательных операций:

1) снять с карты изобар горизонтальные градиенты в определенных точках моря;

2) рассчитать скорость градиентного ветра;

3) перейти от градиентного ветра к ветру, дующему в непосредственной близости от поверхности моря;

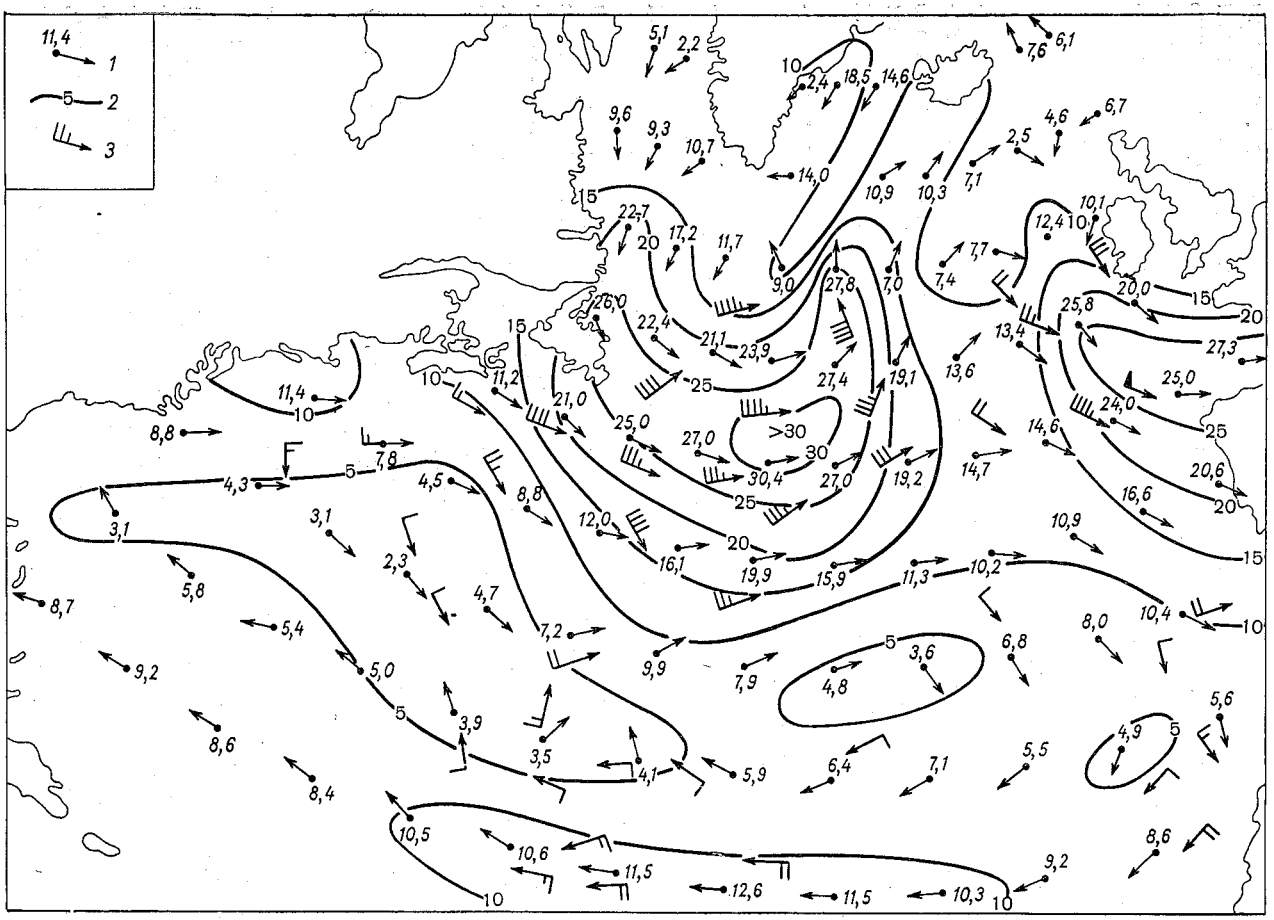
4) определить ветровые условия в прибрежных районах моря.

Основой для получения характеристик ветра расчетным путем является методика расчета скорости и направления ветра в точке по градиентам атмосферного давления, разработанная А. И. Соркиной. При расчете скорости и направления ветра у поверхности океана необходимо сначала определить скорость и направление градиентного ветра по формуле

$$V_{\text{г}} = \frac{4{,}84}{\sin\varphi}\frac{\Delta P}{\Delta n}, \qquad (19)$$

где φ — широта места, $\frac{\Delta P}{\Delta n}$ — горизонтальный градиент атмосферного давления.

Чтобы снять с синоптической карты горизонтальные градиенты атмосферного давления, предварительно вычерчивают сетку градусных или километровых квадратов на прозрачной бумаге (восковке). Накладывая ее на карту, определяют значения атмосферного давления в заранее намеченных точках путем интерполяции. По снятым значениям атмосферного давления легко рассчитать величины широтной $\frac{\Delta P}{\Delta x}$ и меридиональной $\frac{\Delta P}{\Delta y}$ компонент горизонтального градиента давления. Величина полного горизонтального


11,4
1
5
2
3
5,1
2,2
10
2,4
18,5
14,6
7,6
6,1
9,6
9,3
10,7
14,0
10,9
10,3
7,1
2,5
4,6
6,7
15
22,7
20
17,2
11,7
9,0
27,8
7,0
7,4
7,7
12,4
10,1
10
20,0
15
20
26,0
22,4
21,1
23,9
27,4
19,1
13,6
13,4
25,8
27,3
25,0
11,4
10
11,2
21,0
25,0
27,0
>30
30
30,4
27,0
19,2
14,7
14,6
24,0
25
8,8
7,8
4,3
5
4,5
8,8
12,0
25
20,6
16,6
20
3,1
3,1
2,3
16,1
19,9
15,9
11,3
10,2
10,9
15
8,7
5,8
4,7
7,2
10,4
10
5,4
9,9
7,9
4,8
3,6
6,8
8,0
9,2
5,0
5
3,9
3,5
4,1
5,9
6,4
7,1
5,5
4,9
5
5,6
8,6
8,4
10,5
10,6
11,5
12,6
11,5
10,3
10
9,2
8,6
10

градиента атмосферного давления и его направление находятся по формулам:

$$\frac{\Delta P}{\Delta n}=\sqrt{\left(\frac{\Delta P}{\Delta x}\right)^2+\left(\frac{\Delta P}{\Delta y}\right)^2}, \tag{20}$$

$$\operatorname{tg}\alpha=\frac{\Delta P}{\Delta x}\Big/\frac{\Delta P}{\Delta y}, \tag{21}$$

$$\alpha=\operatorname{arctg}\left(\frac{\Delta P}{\Delta x}\Big/\frac{\Delta P}{\Delta y}\right), \tag{22}$$

где α — угол между направлением горизонтального градиента атмосферного давления и меридианом (отсчитывается от севера по часовой стрелке). Если положительные проекции градиента $\frac{\Delta P}{\Delta x}$ и $\frac{\Delta P}{\Delta y}$ соответственно направлены на запад и юг, а отрицательные — на восток и север, то направление градиентного ветра легко найти по табл. 17.

Таблица 17

Соотношение между знаками проекций градиента давления и направлением градиентного ветра

Знак	$\frac{\Delta P}{\Delta x}$	+	+	−	−
Знак	$\frac{\Delta P}{\Delta y}$	+	−	−	+
Направление	$\frac{\Delta P}{\Delta n}$	α	$180°-\alpha$	$180°+\alpha$	$360°-\alpha$

Для перехода от градиентного ветра к ветру непосредственно над морем необходимо знать распределение характеристик турбулентного обмена по высоте. Однако такая информация не всегда имеется. Об устойчивости стратификации атмосферы можно судить по разности температур воды и воздуха (табл. 18).

Таблица 18

Соотношение разности температур и состояния атмосферы

Состояние атмосферы	t_w-t_a
Устойчивое	$<-0,5$
Слабо устойчивое	$-0,5,\ -0,1$
Равновесное или слабо неустойчивое	$0,0-2,0$
Неустойчивое	$>2,0$

Рис. 25. Карта поля ветра, рассчитанного на ЭВМ и фактически наблюденного.
1 — рассчитанные скорость и направление ветра, *2* — изолинии равных рассчитанных скоростей ветра, *3* — фактический ветер (одно длинное перо соответствует 5 м/с).

Далее, из отношения скорости ветра на высоте 10 м над морем V_{10} к скорости градиентного ветра $V_г$ легко можно определить скорость ветра над морем. Направление его определяется по углу отклонения ветра от изобары в сторону меньшего давления β (табл. 19).

Таблица 19

Соотношение между градиентным ветром и ветром над морем при различном состоянии атмосферы

Состояние атмосферы	$V_{10}/V_г$		$\beta°$	
	Скорость градиентного ветра, м/с			
	10—20	20—60	10—20	20—60
Устойчивое	0,56	0,45	20—25	15
Слабо устойчивое	0,64	0,58	15	10
Равновесное	0,73	0,68	10	5
Неустойчивое	0,83	0,78	5	5

Пример расчета поля ветра приведен на рис. 25.

§ 7. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МЕТОДОВ И ОПРАВДЫВАЕМОСТИ МОРСКИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

Как уже отмечалось, больший или меньший разброс точек на графике связи зависит от точности наблюдений, от того, насколько полно учтены факторы, влияющие на изменение данного элемента режима моря, и т. д. Естественно, чем больше разброс точек, тем хуже связь, тем вероятность ошибок в прогнозах увеличивается. В некоторых случаях полученные связи вообще могут быть непригодны для практического использования.

Для того чтобы оценить пригодность метода для использования в практической деятельности, разработаны достаточно объективные критерии. Такими критериями являются коэффициент корреляции R, среднеквадратичная ошибка прогноза S и среднеквадратичное отклонение предсказываемого явления от нормы σ.

Среднеквадратичная ошибка прогноза вычисляется по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum (z_ф - z_р)^2}{n - m}}, \qquad (23)$$

где $z_ф$ — фактическое (наблюдаемое) значение явления, $z_р$ — расчетное (вычисленное) значение прогнозируемого явления, n — число членов ряда, m — число постоянных величин в прогностических зависимостях.

Среднеквадратичное отклонение явления от нормы (от среднего значения за весь ряд наблюдений) вычисляется по формуле

$$\sigma=\sqrt{\frac{\sum(z_\phi-\bar{z})^2}{n-1}}, \tag{24}$$

где $\bar{z}$ — среднее значение явления за весь ряд наблюдений.

При длине ряда 20 лет и более в знаменатель можно подставлять не $n-1$, а n. Значение σ при этом практически одинаково.

Величины S, σ, R связаны между собой следующим соотношением:

$$S=\sigma\sqrt{1-R^2}. \tag{25}$$

Отношение $\frac{S}{\sigma}$ характеризует надежность метода прогноза. Чем меньше величина этого отношения, тем надежнее метод. Для функциональной зависимости $\frac{S}{\sigma}=0$, а при $\frac{S}{\sigma}=1$ связь между переменными отсутствует.

Проверка методов прогнозов заключается в сопоставлении фактической величины в ряду наблюдений z_ϕ с расчетной величиной прогнозируемого элемента $z_р$. Ошибка расчета определяется как разность между фактической величиной элемента режима моря и величиной, рассчитанной по прогностической зависимости:

$$\delta=z_\phi-z_р. \tag{26}$$

Для проверки точности метода и оценки оправдываемости прогнозов устанавливается допустимая ошибка, которая дает то предельное значение погрешности расчета или прогноза, при котором последний считается оправдавшимся. Так, например, для большинства методов гидрологических прогнозов при заблаговременности прогнозов до двух месяцев за критерий допустимой погрешности принимается погрешность $0{,}674\sigma$, при заблаговременности от двух до шести месяцев — погрешность $0{,}8\sigma$ и при заблаговременности более шести месяцев — погрешность σ.

Прогноз считается оправдавшимся, если его ошибка равна или меньше допустимой ошибки. После того как по прогностическому уравнению произведены расчеты для всего ряда и выявлены ошибки, подсчитывается обеспеченность метода, которая затем сравнивается с природной или с инерционной обеспеченностью, взятой в качестве эталона.

Обеспеченность метода определяется отношением оправдавшихся прогнозов к общему числу прогнозов и выражается в процентах.

Эффективностью метода называется превышение обеспеченности метода по сравнению с природной или инерционной обеспеченностью.

Таблица 20

Расчет обеспеченности метода долгосрочного прогноза ледовитости на Балтийском море и природной обеспеченности

n	Год	$z_ф$	$z_ф - \bar{z}$	$(z_ф - \bar{z})^2$	$z_р$	$z_ф - z_р$	Природная обеспеченность			Обеспеченность метода		
							градация	повторяемость, число случаев	обеспеченность, %	градация	повторяемость, число случаев	обеспеченность, %
1	1948	10	12	144	12	−2	0—5	5	23	0—5	11	50
2	1949	−24	−22	484	−38	14	0—10	8	36	0—10	17	77
3	1950	−2	0	0	−15	13	0—20	15	68	0—20	21	95
4	1951	10	12	144	4	6	0—30	20	91	0—30	22	100
5	1952	−10	−8	64	−14	4	0—40	21	95			
6	1953	2	4	16	15	−13	0—50	21	95			
7	1954	5	7	49	11	−6	0—60	22	100			
8	1955	−31	−29	841	−39	−1						
9	1956	33	35	1225	32	1						
10	1957	−9	−7	49	−14	5						
11	1958	12	14	196	10	2						
12	1959	−30	−28	184	−24	−6						
13	1960	51	53	2809	29	22						
14	1961	−27	−25	625	29	1						
15	1962	−22	−20	400	−12	−10						
16	1963	16	18	324	16	0						
17	1964	−5	−3	9	1	−6						
18	1965	−17	−15	225	−5	−12						
19	1966	23	25	625	18	5						
20	1967	3	5	25	−1	4						
21	1968	−20	−18	324	26	6						
22	1969	−2	0	0	−6	4						

$\sum z_ф = -34$

$n = 22$

$\bar{z} = -2$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (z_ф - \bar{z})^2}{n}} = \sqrt{\frac{9362}{22}} = 20{,}7; \quad 0{,}8\sigma = 16{,}5$$

Природной обеспеченностью называется обеспеченность климатологических прогнозов, т. е. прогнозов, в которых в качестве прогнозируемой величины дается среднее многолетнее значение явления (норма).

Инерционной обеспеченностью называется обеспеченность инерционных прогнозов, т. е. прогнозов, в которых в качестве прогнозируемой величины дается наблюдаемое в данный момент значение явления.

Для оценки эффективности метода строят графики обеспеченности метода и природной (или инерционной) обеспеченности. Для определения эффективности метода краткосрочных прогнозов обеспеченность метода сравнивается с обеспеченностью инерционных прогнозов, а при долгосрочных прогнозах обеспеченность метода сравнивается с природной обеспеченностью.

Применение того или иного метода прогноза на практике целесообразно лишь в том случае, когда обеспеченность метода не менее чем на 18% превышает природную обеспеченность при допустимой ошибке 0,674σ и не менее чем на 10% при допустимой ошибке 0,8σ.

В табл. 20 показан пример расчета обеспеченности метода долгосрочного прогноза ледовитости и природной обеспеченности. Прогностическое уравнение, по которому производились расчеты, имеет вид

$$z = -1{,}22x - 1{,}93y - 3{,}2,$$

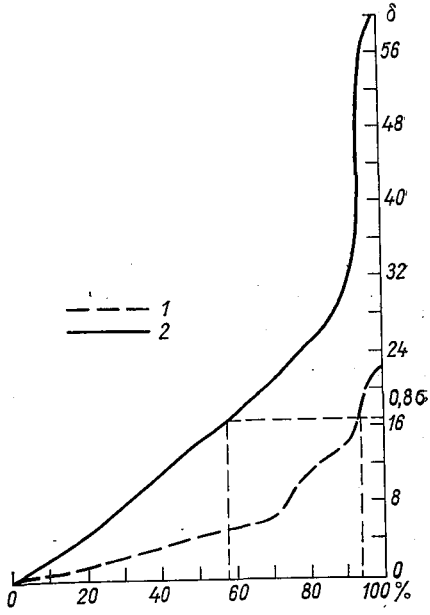


Рис. 26. Кривые обеспеченности метода (*1*) и природной обеспеченности (*2*).

где z — ледовитость Финского залива (в условных единицах), x — коэффициенты разложения полей атмосферного давления, y — разность между температурой воды и воздуха.

Более полные данные о приведенном уравнении приведены в табл. 13. Допустимая погрешность метода составила 16,5. Расчет обеспеченности производился по градациям через 5 и 10 условных единиц ледовитости.

По рис. 26 можно определить обеспеченность метода и природную обеспеченность. Как видно из рисунка, обеспеченность метода при ошибке 16,5 составляет 93%, а природная обеспеченность при той же ошибке равна 58%. Таким образом, эффективность данного метода равна 35%.

ВОПРОСЫ

1. На каких основных закономерностях основываются морские гидрологические прогнозы?
2. Как классифицируются морские гидрологические прогнозы по заблаговременности?
3. Какие существуют подходы при разработке морских гидрологических прогнозов?
4. Чем выражается теснота связи между прогнозируемым элементом и факторами его обусловливающими?
5. Что выражают индексы атмосферной циркуляции?
6. В чем заключается способ проверки методов морских прогнозов?

Литература: [5, 7, 24, 27, 32, 34, 45, 49, 50, 65].

ГЛАВА II

ПРОГНОЗЫ ВОЛНЕНИЯ И ИХ ОЦЕНКА

§ 1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Наиболее выразительной и удобной формой представления прогнозов волнения являются карты волнения. Прогностические карты волнения в СССР и за рубежом стали составлять сравнительно недавно в связи с выбором наивыгоднейших курсов плавания судов в океане. В настоящее время такие карты составляются в целом ряде стран и передаются в эфир по факсимиле.

При расчете и прогнозе элементов волн учитывается распределение ветра над морем и влияние дна в мелководных районах. Поскольку прогноз волнения основывается на прогнозе ветра, то его точность в значительной степени зависит от точности прогноза ветра.

Основными параметрами волн являются: высота h, длина L, период T, фазовая скорость C. Эти параметры волн связаны между собой строгими математическими соотношениями, выведенными в классической гидродинамике:

$$C=\frac{L}{T}=\sqrt{\frac{g}{2\pi}L}=\frac{g}{2\pi}T;$$

$$L=\frac{2\pi}{g}C^2=\frac{g}{2\pi}T^2;$$

$$T=\sqrt{\frac{2\pi}{g}l}=\frac{2\pi}{g}C. \qquad (27)$$

Различают волны на глубокой воде и волны на мелководье. Море считается глубоким, если его глубина больше половины длины волны. В этом случае при расчетах и прогнозах параметров

волн влияние дна не учитывается. Если же глубина моря меньше половины длины волны, то при прогнозах волнения необходимо учитывать глубину моря.

Волны в море отличаются большим разнообразием. Для количественного описания разнообразия волн пользуются функциями обеспеченности, определяющими связь между значениями элемента

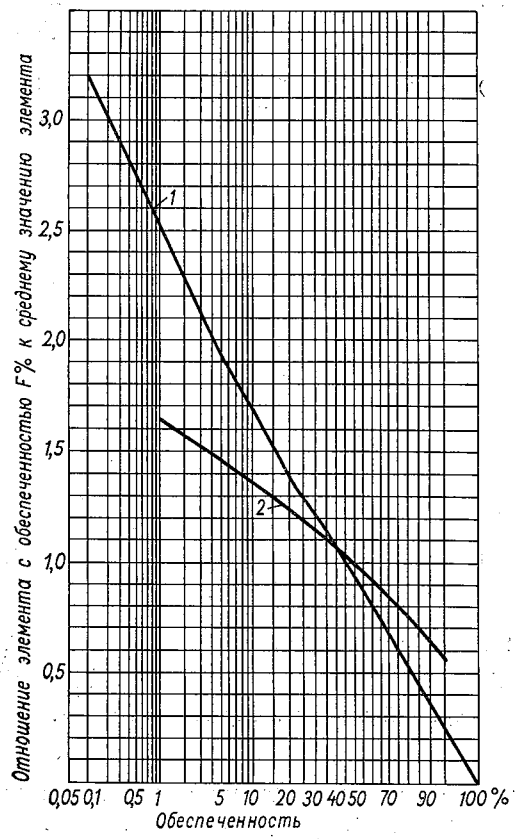


Рис. 27. Безразмерные функции распределения элементов волн на глубокой воде.

1 — функция обеспеченности высот волновых колебаний в точке, отнесенной к средней высоте волновых колебаний; *2* — функция обеспеченности периодов, отнесенных к среднему периоду.

волны и вероятностью превышения этих значений. Обобщенные безразмерные кривые обеспеченности высот и периодов волн на глубокой воде приведены на рис. 27.

Характерной величиной, определяющей вид безразмерной функции обеспеченности высот или длин волн на мелководье, является отношение средней высоты $\overline{h}$ или средней длины $\overline{L}$ к глубине

места H. Функции обеспеченности высот волн для различных отношений $\frac{\overline{h}}{H}$ показаны на рис. 28.

Для того чтобы определить значение элемента волны заданной обеспеченности, необходимо знать среднее значение этого элемента. Тогда по заданному значению обеспеченности по безразмерной кривой на рис. 27 определяют соответствующую ординату. Умножив среднее значение элемента на эту ординату, получают искомое значение элемента.

Если необходимо определить обеспеченность заданного значения элемента при известном среднем его значении, то нужно задан-

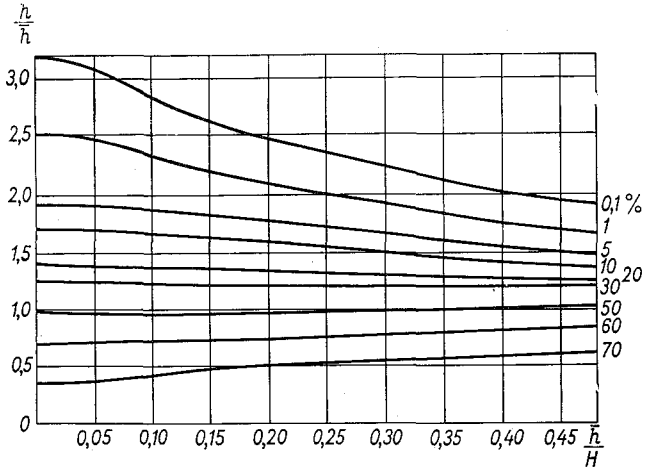


Рис. 28. Относительные высоты волновых колебаний различной обеспеченности (%) в зависимости от отношения средней высоты к глубине места $\frac{\overline{h}}{H}$.

ное значение элемента разделить на среднее его значение. Полученный результат определяется по ординате рис. 27. Затем по безразмерной кривой на оси абсцисс находится величина искомой обеспеченности.

§ 2. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАЗВИТИЕ ВОЛН

Основными факторами, определяющими развитие волн на поверхности моря, являются скорость ветра, продолжительность его действия и разгон. В мелком море существенную роль в развитии волн играет также глубина моря.

Под продолжительностью действия ветра понимается время, в течение которого ветер с постоянной средней скоростью и направлением воздействует на поверхность моря.

Под разгоном ветра понимается прямолинейное расстояние, на котором ветер с постоянной средней скоростью воздействует на поверхность моря.

Если ветер с постоянной средней скоростью и направлением начинает дуть над ранее спокойной поверхностью воды, высота и период волн начинают расти с течением времени.

На достаточно большом расстоянии от берега или тылового края области шторма по истечении достаточно продолжительного времени элементы волн достигают своего предельного развития, когда ни разгон, ни продолжительность действия ветра уже не оказывают влияния на их развитие. Рост волн зависит только от скорости ветра. Причем чем больше скорость ветра, тем больше времени необходимо для того, чтобы параметры волн достигли своих предельных размеров. По этой причине при очень больших скоростях ветра волны редко достигают полностью развитого состояния, так как сильные ветры, как правило, бывают непродолжительными.

По В. В. Шулейкину, зависимости предельной высоты и периода волн 5%-ной обеспеченности от скорости ветра имеют вид:

$$h_{\infty}=0{,}0205V^2; \tag{28}$$

$$T_{\infty}=0{,}526V. \tag{29}$$

Если же волны не достигли своего предельного развития, их рост будет зависеть либо от продолжительности действия ветра, либо от размеров области, над которой ветер эффективно воздействует на водную поверхность.

В первом случае ветер дует с постоянной скоростью над неограниченной площадью воды. Тогда всюду поступает одно и то же количество энергии и волны растут во времени по всей площади одинаково. В этом случае рост волн зависит только от продолжительности действия ветра. Во втором случае ветер дует достаточно долго над ограниченной площадью. При этом рост волн зависит только от расстояния до наветренного края области шторма. Вообще говоря, существует некоторая минимальная продолжительность действия ветра и минимальное расстояние от точки, для которой дается прогноз, до наветренного края области шторма, при которых волны достигают установившегося состояния. Если же и продолжительность действия ветра и расстояние меньше определенного минимума, то при прогнозе волн необходимо учитывать тот фактор, который ограничивает развитие волн.

При расчетах и прогнозах элементов волн необходимо различать чисто ветровые волны и волны зыби. Зыбь, которая образовалась после ослабления ветра в области шторма, называют штормовой зыбью. В отличие от нее, зыбь, пришедшая в штилевую область из других районов, называется мертвой зыбью. В каждом случае используются различные приемы расчетов.

В море и особенно в океане редко встречаются простые условия волнообразования, когда ветер, устойчивый по силе и направле-

нию, сохраняется достаточно продолжительное время. Как правило, ветер непрерывно меняется во времени и пространстве, усиливаясь в одном месте и ослабевая в другом, тем самым создавая сложную картину волнения.

Учет при расчетах и прогнозах взаимодействия различных систем волн при меняющихся ветровых ситуациях является трудной задачей. Прогнозисты должны обладать достаточным опытом, чтобы быстро и правильно разобраться в ситуации и эффективно использовать имеющиеся в их распоряжении средства и приемы.

§ 3. МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ И ПРОГНОЗОВ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЛН ГЛУБОКОГО МОРЯ

Энергетические методы, основанные на решении уравнения энергетического баланса волн, для глубокого моря были предложены В. М. Маккавеевым, В. В. Шулейкиным, И. С. Бровиковым, Ю. М. Крыловым, Свердрупом и Манком, Брайшнайдером и др., для мелкого моря — А. П. Браславским, А. П. Хваном и др. Результаты расчетов этими методами в той или иной степени различаются между собой. Это обусловлено тем, что для расчетов используются данные, полученные путем применения различных методов наблюдений и обработки (например, ветер берется на различных уровнях). Кроме того, еще недостаточно изучен механизм питания волн энергией ветра, в особенности на малых разгонах.

Оценка энергетических методов показала, что наиболее точный из них — теоретический метод Шулейкина. Физической основой этого метода является теория поля ветровых волн, разработанная Шулейкиным. Сложная формула энергетического баланса волн дается в виде простого дифференциального уравнения поля ветровых волн в безразмерной форме:

$$\frac{\partial \eta}{\partial \tau} = 1 - \eta - \eta^{1/2} \frac{\partial \eta}{\partial \xi}, \qquad (30)$$

где η — безразмерная высота волны, равная h/h_∞; ξ — безразмерное расстояние, равное x/VT_∞; τ — безразмерное время, равное t/T_∞.

Найден точный интеграл этого уравнения отдельно для развивающихся волн и для установившихся волн. Получено выражение, характеризующее границу перехода от развивающихся волн к установившимся. Для перехода от безразмерных аргументов к заданным величинам были получены постоянные масштабные соотношения. В результате чего выведены расчетные формулы и построены рабочие диаграммы, приведенные в приложении 4.

Пример. Определить параметры волн по диаграммам приложения 4. Пусть заданы скорость ветра $V=16$ м/с, продолжительность его действия $t=5$ ч и расстояние от наветренной границы области шторма $x=150$ км. Найти высоту волны h, длину L и период T.

По заданной скорости V на диаграмме *а* находим предельно возможные период $T_\infty = 8{,}4$ с и высоту $h_\infty = 4{,}8$ м, которые соответствуют этому ветру;

затем, подставляя найденные значения T_∞ и заданные значения t и x в формулы $\xi = \frac{x}{VT_\infty}$ и $\tau = \frac{t}{T_\infty}$, вычислим безразмерное время $\tau = 0{,}6$ и безразмерное расстояние $\xi = 1{,}11$. По значениям τ и ξ на диаграмме *б* определяем характер волнения: если точка с координатами τ и ξ попала ниже кривой, то волнение развивается, если выше — волнение установившееся. В нашем случае характеристическая точка P_1 легла ниже кривой, следовательно, волнение развивается, т. е. зависит от времени. Поэтому по значению $\tau = 0{,}6$ на диаграмме *в* по нулевой кривой, соответствующей глубокому морю, находим значение $\eta = 0{,}61$. Если бы на диаграмме *б* точка с координатами τ и ξ легла выше кривой, то волнение было бы установившееся, тогда соответствующее значение η следовало бы определять по диаграмме *г*.

Искомая высота волны определяется умножением η на h_∞ при заданной скорости ветра. В нашем примере $h = 0{,}61 \times 4{,}8 = 2{,}93$ м. По этому же значению $\eta = 0{,}61$ на диаграмме *д* находим отношение длины волны к ее высоте $L/h = 19{,}8$. Умножив его на h, получаем искомую длину волны $L = 2{,}93 \times 19{,}8 = 58{,}0$ м. По этой же диаграмме *д* находим отношение $\frac{T}{T_\infty} = 0{,}76$ и далее, умножив его на T_∞, получаем $T = 0{,}76 \times 8{,}4 = 6{,}4$ с.

Диаграммы приложения 4 позволяют предвычислять элементы ветровых волн при усиливающемся ветре. Кривая хода скорости ветра во времени или по разгону разбивается на отрезки, в пределах которых средняя скорость и направление ветра считаются неизменными, т. е. непрерывная кривая заменяется ступенчатой. Расчет ведется «шагами» последовательно от ступеньки к ступеньке. На каждом новом шаге учитывается рассчитанное значение элемента волны предыдущего шага.

Метод Шулейкина был положен в основу численной схемы прогноза полей волнения, разработанной в Гидрометцентре СССР З. К. Абузяровым с некоторыми упрощениями. По этой схеме расчет развития и затухания волнения производится только в зависимости от времени действия ветра, при этом предполагается, что большие пространства океана, для которых этот метод разработан, не ограничивают развитие волн за счет разгона, за исключением точек, находящихся вблизи берега.

На основе численных прогнозов полей атмосферного давления на уровне моря, взятых через 6 часов, рассчитываются соответственно прогностические карты распределения ветра по методике, описанной в § 6, гл. I.

Расчет элементов волн (высота и направление распространения) в каждой точке расчетной области ведется шагами. Для удобства счета на ЭВМ зависимости безразмерной высоты волны от безразмерного разгона и времени для развивающегося волнения, найденные В. В. Шулейкиным, приведены к размерному виду:

$$h = 0{,}0205 V^2 \left\{1 - \exp\left[-1{,}30\left(\frac{t}{0{,}526 V}\right)^{0{,}6}\right]\right\}, \qquad (31)$$

где V — скорость ветра в м/с, t — продолжительность действия ветра в часах.

Уменьшение высоты волн при ослаблении скорости ветра рассчитывалось по формуле, предложенной К. М. Сиротовым:

$$h = 1{,}6 h_0 \exp\left(- \frac{t}{14{,}7 + \frac{3{,}78}{\left| - \frac{\Delta V}{\Delta t} \right|}} \right), \qquad (32)$$

где h — высота волны в конце рассматриваемого периода затухания, h_0 — высота волны в начале периода затухания, t — время в часах, $\left| - \frac{\Delta V}{\Delta t} \right|$ — абсолютное значение отрицательного ускорения ветра в м/с.

На первом шаге в качестве исходных данных используются фактические наблюдения за ветром и волнением. В дальнейшем используются прогностические карты ветра. При этом вычисленное поле волнения после каждого шага принимается за исходное для расчета поля волнения следующего шага. Количество шагов определяется заблаговременностью прогноза полей атмосферного давления.

Эквивалентная продолжительность действия ветра для перехода к следующему шагу рассчитывалась по формуле

$$t_{\text{экв}} = 0{,}526 V \left[- \frac{\ln\left(1 - \frac{h}{0{,}0205 V^2}\right)}{1{,}3} \right]^{1{,}66}. \qquad (33)$$

На каждом шаге исходными данными для прогноза волнения являются: h_t — высота волны в момент времени t; $(h_\infty)_{t+\Delta t}$ — предельная высота волны в момент времени $t+\Delta t$; V_t — скорость ветра в момент времени t; $V_{t+\Delta t}$ — скорость ветра в момент времени $t+\Delta t$.

На рис. 29 приведена карта численного прогноза поля волнения для Северной Атлантики. Время счета прогноза волн на трое суток (при $\Delta t = 12$ ч) занимает около 5 минут машинного времени.

Численный метод прогноза полей волнения предусматривает расчет только высот волн и направления их распространения, так как именно эти элементы представляют наибольший интерес для мореплавателей при выборе рекомендуемых курсов плавания. По номограмме (рис. 30), построенной З. К. Абузяровым по данным наблюдений за ветром и волнением, проводимых на кораблях погоды в Северной Атлантике, можно определить период волны, а затем по формуле (27) вычислить длину волны.

Эмпирические методы основываются на статистической обработке большого числа натурных наблюдений, как инструментальных, так и визуальных. В результате строятся зависимости элементов волн от волнообразующих факторов. При этом существует различный подход. В одних случаях зависимости строятся по данным

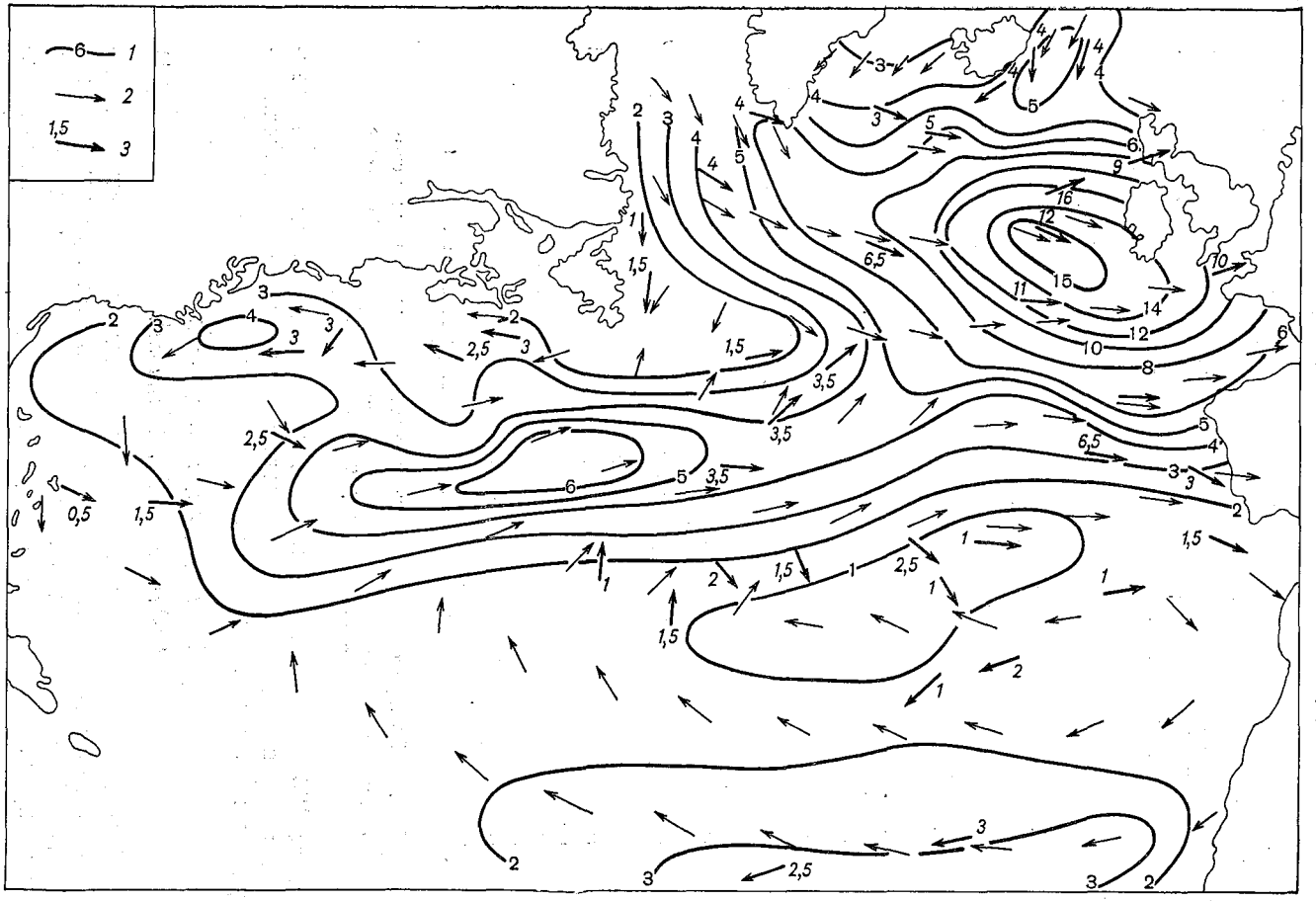


Рис. 29. Карта поля волнения, рассчитанная на 15 часов 17 января 1965 г.

1 — изолинии рассчитанных высот волн, *2* — направление распространения рассчитанных волн, *3* — высота и направление наблюденных волн.

наблюдений за ветром и волнами в точке, в других случаях в качестве аргументов, определяющих развитие волн в точке, берутся поля ветра или непосредственно поля атмосферного давления, представляемые аналитически путем разложения в ряды по ортогональным функциям. Так, З. К. Абузяров в Гидрометцентре разработал физико-статистический метод прогноза полей волнения по полям атмосферного давления.

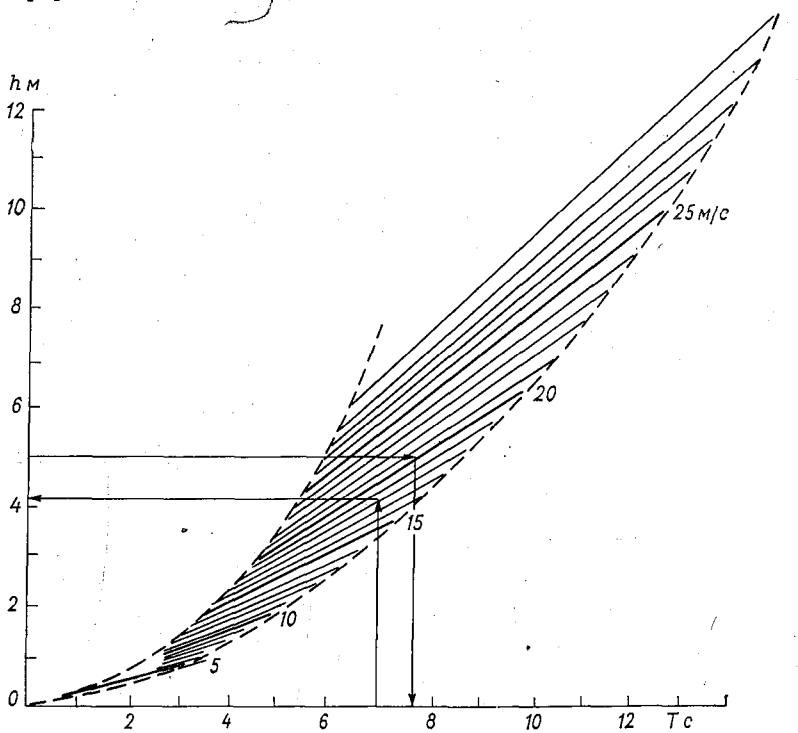


Рис. 30. Эмпирическая связь между высотой, периодом волн и скоростью ветра (по данным визуальных наблюдений кораблей погоды в Северной Атлантике).

Для 130 точек, равномерно расположенных в Северной Атлантике, по способу наименьших квадратов с помощью ЭВМ были построены прогностические зависимости вида:

$$(h_x)_t = f_1[(A_{ij})_t,\ (B_{ij})_{t-\Delta t}];$$
$$(h_y)_t = f_2[(A_{ij})_t,\ (B_{ij})_{t-\Delta t}], \qquad (34)$$

где $(h_x)_t$ и $(h_y)_t$ — проекция высот волн, взятых с учетом направления, на момент прогноза; $(A_{ij})_t$ — коэффициенты разложения полей атмосферного давления до третьего порядка включительно на момент прогноза; $(B_{ij})_{t-\Delta t}$ — коэффициенты разложения поля волнения до третьего порядка включительно, взятые за 6 часов до прогноза ($\Delta t = 6$ ч).

Для составления прогноза поля волнения по методу Абузярова на определенные моменты времени (например, 6 часов) необходимо иметь фактическую карту волнения и прогнозы полей атмосферного давления через 6 часов. На рис. 31 показаны фактические и вычисленные значения высот волн по данным корабля погоды А.

В оперативной практике необходимость снимать данные о давлении с прогностических карт отпадает, так как прогнозы атмосферного давления вычисляются на ЭВМ и запоминаются в ее памяти.

В результате при счете прогноза волнения данные о давлении непосредственно вызываются из памяти ЭВМ. Это делает метод оперативным и удобным в практической работе.

В оперативной работе для корректировки численных прогнозов волнения необходимо дополнять гидрометеорологические карты недостающими данными о ветре и волнении. В Гидрометцентре для расчета скорости ветра и высоты волн используется простая и удобная номограмма, предложенная В. С. Красюком (см. приложение 5). В ее основу положена зависимость между средней высотой визуально наблюдаемых волн и средней скоростью ветра, разработанная К. М. Сиротовым. Эта номограмма применима только для расчетов волн в штормовых районах.

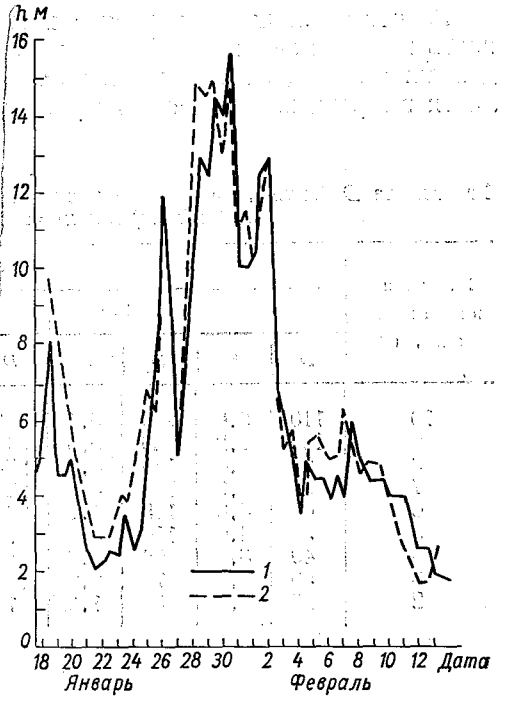


Рис. 31. Вычисленные (*1*) и фактические (*2*) высоты волн (корабль погоды А).

Расчет по номограмме ведется в следующей последовательности.

1. В намеченной точке определяется радиус кривизны (для циклона) как расстояние от точки прогноза до центра циклона. Он выражается в градусах меридиана.

2. Измерителем определяют расстояние между изобарами, проведенными через 5 мб, между которыми находится прогнозируемая точка.

3. Полученное расстояние между изобарами откладывают от оси ординат на горизонтальную линию номограммы I, соответствующую широте точки.

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

5. Из этой точки опускаются вниз до оси абсцисс, на которой определяют значение скорости ветра. Продолжая движение вниз до пересечения с кривой h, от точки пересечения перемещаются вправо до пересечения с осью ординат, с которой снимают искомую высоту волны.

Расчет зыби производится с помощью табл. 21 и 22. Возможность прихода зыби из области шторма в точку, лежащую за пределами шторма, определяется по табл. 21. Зная высоту волн в области шторма, направление их распространения и промежуток вре-

Таблица 21

Расстояние D (мили), на которое распространяется зыбь за время t и высота зыби h (м) в конце этого расстояния

Начальная высота волн зыби, м	t часы									
	6		12		18		24		30	
	D	h	D	h	D	h	D	h	D	h
10	110	8,0	220	6,4	350	5,2	475	4,4	600	4,0
9	100	7,2	200	5,8	310	4,9	430	4,1	560	3,4
8	90	6,4	180	5,2	275	4,6	380	3,8	495	3,3
7	80	5,6	160	4,6	240	4,2	335	3,5	420	3,2
6	65	4,8	135	4,1	205	3,7	290	3,2	370	2,8
5	50	4,0	110	3,5	170	3,1	240	2,9	300	2,5
4	40	3,2	90	2,8	140	2,6	190	2,3	240	1,9
3	30	2,3	70	2,0	110	1,7	150	1,5	180	1,3
2	20	1,5	50	1,3	75	0,8	100	0,7	—	—

Таблица 22

Наиболее вероятные значения высот затухающих волн (м) в точке через различные промежутки времени

Начальная высота волн, м	t часы				
	6	12	18	24	30
10	8,3	6,8	5,9	5,2	4,6
9	7,5	6,2	5,5	4,7	3,9
8	6,7	5,6	5,1	4,3	3,6
7	5,9	5,1	4,4	3,7	3,0
6	5,1	4,4	4,0	3,2	2,8
5	4,3	3,6	3,2	2,8	2,4
4	3,3	2,9	2,6	2,4	2,2
3	2,4	2,2	2,1	2,0	1,9
2	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3

мени, на которой дается прогноз, находят расстояние, которое пройдут волны зыби, и высоту их в конце этого расстояния. Зная путь, проходимый зыбью, судят о возможности ее прихода в точку прогноза.

Если в районе, для которого дается прогноз, ожидается ослабление ветра и затухание штормовых волн, то их высота определяется по табл. 22. Эта таблица составлена для наиболее вероятных условий, характеризуемых некоторой средней величиной ослабления ветра со временем.

Ю. М. Крылов, Г. В. Ржеплинский и др. разработали новый эмпирический метод расчета элементов волн на основе статистического анализа большого числа волнографных записей. Основные зависимости этого метода имеют следующий вид:

для глубокого моря

$$\frac{g\bar{h}_x}{V^2}=0{,}0042\left(\frac{gx}{V^2}\right)^{1/3} \text{ или } \bar{h}_x=0{,}00091x^{1/3}V^{4/3}, \tag{35}$$

$$\frac{g\bar{h}_t}{V^2}=0{,}0013\left(\frac{gt}{V}\right)^{5/12} \text{ или } \bar{h}_t=0{,}0034t^{5/12}V^{10/12}, \tag{36}$$

$$\frac{g\overline{T}_x}{V}=0{,}70\left(\frac{gx}{V^2}\right)^{1/3}, \quad \frac{g\overline{T}_t}{V}=0{,}34\left(\frac{gt}{V}\right)^{1/4}; \tag{37}$$

для мелкого моря

$$\frac{g\bar{h}_H}{V^2}=0{,}07\left(\frac{gH}{V^2}\right)^{3/5}, \tag{38}$$

$$\frac{g\overline{T}}{V}=18{,}7\left(\frac{g\bar{h}}{V^2}\right)^{3/5}, \tag{39}$$

где $\bar{h}_x$ — средняя высота волны при заданном разгоне и скорости ветра; $\bar{h}_t$ — средняя высота волны при заданной продолжительности действия ветра и скорости ветра, $\overline{T}_x$ — средний период при заданном разгоне и скорости ветра, $\overline{T}_t$ — средний период при заданной продолжительности ветра и скорости ветра, x — разгон в км, t — продолжительность действия ветра в часах, V — скорость ветра в м/с, H — глубина моря в м, g — ускорение силы тяжести, $\bar{h}_H$ — средняя высота волны на мелководье.

В приложении 6 приведена номограмма, построенная по этим зависимостям. Зависимость для глубокого моря на этой номограмме представлена верхней кривой. Кривые зависимости для мелкого моря лежат ниже нее.

Пример. По приложению 6 определить элементы волн в прогнозируемой точке P в глубоком море. Заданы: скорость ветра $V=15$ м/с, разгон $x=300$ км и продолжительность действия ветра $t_1=6$ ч и $t_2=15$ ч.

Вычисляем прежде всего безразмерный разгон $(x/V^2)\cdot 10^3=1333$ и отношения $t_1/V=0{,}4$ и $t_2/V=1{,}0$.

По номограмме находим, что величина t_1/V расположена левее значения $(x/V^2)\cdot 10^3$, а величина t_2/V — правее. Следовательно, в первом случае волнение развивающееся, а во втором установившееся.

По значению $\frac{t_1}{V}=0{,}4$ с верхней кривой снимаем значение относительной высоты волны $\overline{h}_1/V^2=0{,}0069$, откуда $\overline{h}_1=1{,}55$ м. Затем по значению $(x/V^2)\cdot 10^3=1333$ с графика можно снять относительную высоту волн. В случае установившегося волнения $\frac{\overline{h}_2}{V_2}=0{,}0099$, откуда $\overline{h}_2=2{,}2$ м.

Чтобы определить средний период и среднюю длину волны, следует, пользуясь величинами относительных высот $\frac{\overline{h}_1}{V^2}$ и $\frac{\overline{h}_2}{V^2}$, по номограмме приложения 6 найти соответствующие значения $\overline{T}_1/V=0{,}38$ и $\overline{T}_2/V=0{,}48$, откуда $\overline{T}_1=5{,}7$ с, $\overline{T}_2=7{,}2$ с. Аналогично $\overline{L}_1/V^2=0{,}23$, $\overline{L}_2/V^2=0{,}35$, следовательно $\overline{L}_1=47$ м и $\overline{L}_2=79$ м.

При расчетах и прогнозах волн зыби различают два случая. В первом случае рассматриваются волны зыби при ослаблении скорости ветра во времени в точке прогноза. Во втором случае рассматриваются волны зыби, возникшие в результате ослабления скорости ветра по пространству; в этом случае параметры волн зыби рассчитываются с учетом их уменьшения от границы области шторма до точки прогноза. Если в точке прогноза наблюдается местный ветер, создающий систему местных ветровых волн, то волнение будет смешанным. Высоту смешанного волнения можно определить по формуле

$$h=\sqrt{\overline{h}_з^2+\overline{h}_в^2}, \tag{40}$$

если направления распространения зыби и местного волнения не отличаются более чем на 45°. При этом параметры ветровых волн определяются методами, изложенными выше, а параметры волн зыби определяются по номограмме приложения 7.

Пример 1. Рассчитать по приложению 7 параметры смешанного волнения при уменьшении скорости ветра со временем. Пусть в начале ослабления ветра в качестве исходных данных будут следующие величины элементов ветровых волн: $\overline{h}_в=3{,}5$ м и $\overline{T}_в=9$ с. Промежуток времени Δt, в течение которого формировалась зыбь, равен 10 часам. Средняя скорость ветра $V_{\Delta t}$ на этом отрезке времени равна 14 м/с.

Расчет ведется в следующем порядке. Вычисляется коэффициент $K=\frac{\Delta t}{\overline{T}_в}=\frac{10}{9}=1{,}01$. Затем от значения $K=1{,}01$ (нижняя горизонтальная ось) поднимаемся до пересечения с кривыми I и II, по которым определяем коэффициенты уменьшения высоты $\overline{h}_з/\overline{h}_в=0{,}82$ и увеличения периода $\overline{T}_з/\overline{T}_в=1{,}08$. Далее, находим $\overline{h}_з=3{,}5\cdot 0{,}82=2{,}9$ м, $\overline{T}_з=9{,}0\cdot 1{,}08=10$ с и $\overline{L}_з=1{,}56\cdot 10^2=156$ м (по формуле (27)).

Параметры местного волнения определяются следующим образом:

$$\frac{\Delta t}{\overline{V}_{\Delta t}}=\frac{10}{14}=0{,}7.$$

По этому значению по номограмме приложения 7 находим $\overline{h}_в'=0{,}76$ м, $\overline{T}_в'=3{,}5$ с, $\overline{L}_в'=20$ м. Тогда высота смешанного волнения определяется по формуле

$$\overline{h}=\sqrt{(2{,}9)^2+(0{,}76)^2}=3{,}0 \text{ м}.$$

В качестве расчетных параметров можно брать параметры преобладающей системы волн, т. е. зыби. Тогда $\overline{T}_з=10$ с, $\overline{L}_з=156$ м.

Пример 2. Рассчитать по приложению 7 параметры зыби и смешанного волнения при ослаблении скорости ветра по разгону. Пусть в качестве исходных данных для расчетов параметров зыби будут элементы ветровых волн в начале разгона: $\overline{h}_в=4{,}0$ м и $\overline{T}_в=9$ с. Длина разгона x, на котором происходит формирование зыби, равна 300 км. Средняя скорость ветра на этом разгоне 12 м/с.

По величинам $x=300$ км и $\overline{T}_в=9$ с по номограмме приложения 7 и находим коэффициент уменьшения высоты волны $\overline{h}_з/\overline{h}_в=0{,}84$, $h_з=4{,}0\cdot 0{,}84=3{,}4$ м. Коэффициент увеличения периода $\overline{T}_з/\overline{T}_в=1{,}08$, откуда $T_з=9\cdot 1{,}08=9{,}7$ с, $L_з=1{,}56\cdot 9{,}8^2=150$ м.

Для определения элементов местного волнения находим отношение $\frac{x}{V_x^2}\cdot 10^3=\frac{300\cdot 10^3}{144}=2083$ и по номограмме приложения 7 определяем $\frac{\overline{h}_в'}{V^2}=0{,}011$, откуда $\overline{h}_в'=1{,}6$ м, $\overline{T}_в'=6{,}1$ с, $\overline{L}_в'=58$ м. Тогда высота волн смешанного волнения определяется по формуле

$$\overline{h}=\sqrt{(3{,}4)^2+(1{,}6)^2}=3{,}7 \text{ м}.$$

Параметры преобладающей системы волн будут: $\overline{T}_з=9{,}8$ с и $\overline{L}_з=150$ м.

§ 4. ПРОГНОЗЫ ВОЛН В МЕЛКОМ МОРЕ

Учет влияния дна при расчетах и прогнозах элементов волн ведется в тех районах, где глубина моря становится меньше половины видимой длины волны. Характер изменения волн на мелководье определяется характером изменения глубины моря.

Исходными данными для расчета элементов волн на мелком море служат: 1) параметры волн в прилегающем глубоководном районе, 2) продолжительность действия ветра, разгон от берега до точки прогноза и скорость ветра, 3) батиметрия прибрежного района моря.

Для расчета параметров волн на мелком море по методу В. В. Шулейкина используется приложение 4, в котором семейство линий, лежащих ниже верхней жирной кривой (глубокая вода), построены с учетом критерия мелководности $V/\sqrt{gH}$ при фиксированных значениях x/VT_∞ и t/T_∞.

Пример. Определить по диаграммам приложения 4 параметры волн (h, T и L) в мелком море.

Пусть заданы глубина моря $H=60$ м, скорость ветра $V=18$ м/с, продолжительность действия ветра $t=18$ ч и разгон $x=300$ км. По диаграмме *а* определяем $h_\infty=6{,}4$ м и $T_\infty=9{,}8$ с. Затем находим $\tau=\frac{t}{T_\infty}=1{,}84$ и $\xi=\frac{x}{VT_\infty}=1{,}7$. По диаграмме *б* определяем характер волнения (установившееся или развиваю-

щееся). Точка P_2 с координатами $\tau=1{,}84$ и $\xi=1{,}7$ находится выше кривой, следовательно, волнение установившееся.

Определим теперь критерий мелководности $\frac{V}{\sqrt{gH}}=\frac{18}{\sqrt{9{,}81\cdot 60}}=0{,}74$. Далее, по диаграмме *г* находим $\eta=0{,}68$ и вычисляем $h=\eta h_{\infty}=0{,}68\cdot 6{,}4=4{,}3$ м. По значению $\eta=0{,}68$ на диаграмме *д* находим $\frac{L}{h}=20{,}1$ и $\frac{T}{T_{\infty}}=0{,}63$ и вычисляем $L=20{,}1\cdot 4{,}3=86$ м; $T=0{,}63\cdot 9{,}8=6{,}2$ с.

§ 5. ОФОРМЛЕНИЕ И ПРОВЕРКА ПРОГНОЗОВ ВОЛНЕНИЯ

После того как вычислены в определенных точках с помощью ЭВМ или графически ожидаемые значения высот волн и направления их распространения, результаты этих вычислений наносятся на карту и проводятся линии равных значений высот волн с интервалом 1 м. В центре области наибольшего волнения пишется слово «максимум». Стрелками указывают преобладающее направление распространения волн. В районе преобладания волн зыби пишется слово «зыбь». Для анализов и прогнозов волнения используются однотипные карты, для того чтобы их можно было накладывать друг на друга и данные о волнении сопоставлять, пользуясь светокопировальным столом.

Для оценки оправдываемости прогнозов волнения по Северной Атлантике намечено 40 контрольных точек, в число которых входят и корабли погоды. На прогностической карте волнения в выбранных контрольных точках записываются фактически наблюдавшиеся высоты волн и направления их распространения, которые снимаются с проанализированных карт волнения, составленных на тот же час, что и прогноз. Прогноз в данной точке считается оправдавшимся, если предсказанная высота волны отличалась от фактической не более чем на 30% независимо от знака отклонения, т. е. должно удовлетворяться условие

$$\frac{h_{\text{ф}}-h_{\text{прогн}}}{h_{\text{ф}}}100\leqslant 30. \tag{41}$$

Общая оправдываемость прогноза по океану определяется процентным отношением числа точек, в которых прогноз оправдался, к общему числу контрольных точек, принятых для оценки прогнозов, т. е.

$$P=\frac{m}{n}100. \tag{42}$$

Прогноз считается удовлетворительным, если $P\geqslant 68\%$.

Прогноз направления распространения волны в точке считается оправдавшимся, если угол между предсказанным и фактическим направлением не превышает 45°.

Оценивая таким образом ежедневные прогнозы полей волнения в течение месяца или года, можно определить средний процент

оправдываемости прогнозов волнения за месяц, сезон, год и т. д.

Следует отметить, что прогноз волнения полностью основывается на метеорологическом прогнозе и его оправдываемость находится в прямой зависимости от точности прогноза поля атмосферного давления или поля ветра. Этим же определяется и заблаговременность прогноза волнения: с какой заблаговременностью при требуемой надежности будет дан прогноз ветра, с такой же заблаговременностью и надежностью может быть дан прогноз волнения.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие факторы определяют развитие волнения в океане?
2. На чем основываются методы расчетов и прогнозов элементов волн на глубокой воде и на мелководье?
3. Как оценивается оправдываемость прогнозов высот волн в океане?
4. Определить параметры волн, пользуясь номограммами приложения 5, если заданы скорость ветра $V=15$ м/с, продолжительность действия ветра $t=5$ ч, разгон $x=200$ км.
5. Определить параметры волн на мелководье, пользуясь номограммами приложения 5, если заданы глубина моря 10 м, скорость ветра 12 м/с, продолжительность действия ветра 7 ч, разгон 150 км.

Литература: [2, 3, 4, 27, 42, 58, 60, 77].

ГЛАВА III

ПРОГНОЗЫ ТЕЧЕНИЙ

§ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Расчет и прогноз течений связаны с учетом приливных и сгонно-нагонных явлений, процессов перемешивания, влияния рельефа дна, поперечной неравномерности в поле ветра и многих других факторов. Трудность прогноза течений состоит в том, что течения, вызванные какой-либо одной силой, в чистом виде не встречаются. Течения, наблюдаемые в море, представляют собой суммарные течения, обусловленные действием различных факторов: ветра, приливов, стока рек и т. д.

Разработка методов прогноза течений ведется по двум направлениям: 1) использование результатов теоретических исследований, основанных на решении уравнений гидродинамики, и 2) построение эмпирических зависимостей между течениями и факторами, их обусловливающими.

Трудности доведения гидродинамических моделей расчета течений до прогноза обусловлены громоздкостью математических выкладок, а также отсутствием необходимых материалов наблюдений. В настоящее время гидродинамические схемы расчета течений невозможно проверить, так как не проводится одновременных наблюдений за течениями на значительных акваториях морей и океанов.

В последние годы понимание природы океанических течений значительно углубилось благодаря фундаментальным исследованиям В. Б. Штокмана, П. С. Линейкина, А. С. Саркисяна и других ученых.

В. Б. Штокман установил, что поперечная неравномерность в поле скорости ветра является важным фактором в формировании ветровых течений в море. Это положение сыграло решающую роль при разработке методов прогнозов течений. Стало очевидным, что при разработке прогнозов течений, вызванных ветром, необходимо учитывать влияние не только местного ветра, но и распределение ветра и атмосферного давления над большими районами морей и океанов. Начало новому направлению в развитии теории морских течений, так называемой теории бароклинного океана, положил П. С. Линейкин. В его работах исследуется вертикальная структура течений, вызванных ветром, с учетом распределения плотности.

Дальнейшее развитие теории бароклинного (неоднородного по плотности) океана дается в работах А. С. Саркисяна. Им разработаны численные схемы расчета течений по заданному полю атмосферного давления на уровне моря и по пространственному распределению плотности морской воды с учетом рельефа дна. В связи с тем, что результаты теоретических работ пока еще не находят должного применения в оперативной практике по составлению прогнозов морских течений по причинам, указанным выше, возникла необходимость в разработке эмпирических методов. В прогностические уравнения вводятся такие определяющие факторы, как ветер, градиент атмосферного давления, численные показатели полей атмосферного давления, предшествующие значения скорости течений и т. д.

§ 2. ПРОГНОЗЫ ВЕТРОВЫХ ТЕЧЕНИЙ ПО ЭМПИРИЧЕСКИМ ЗАВИСИМОСТЯМ

Установлено, что основным фактором, вызывающим поверхностные течения в море, является ветер. Было предпринято множество попыток получить эмпирические зависимости между скоростью поверхностных течений и ветром. Для этого использовались данные как непосредственных наблюдений за течениями (приборы), так и наблюдений косвенными методами (бутылочная почта, буи и т. д.). В общем виде эта зависимость имеет следующий вид:

$$U_0 = \frac{A}{\sqrt{\sin\varphi}} V, \qquad (43)$$

где U_0 — скорость поверхностного течения, V — скорость ветра, φ — широта места, A — так называемый ветровой коэффициент, характеризующий отношение поверхностного дрейфового течения к силе ветра.

Величину ветрового коэффициента пытались определить многие исследователи (Экман, Пальмен, Мон, Н. Н. Зубов, Н. Н. Струй-

ский, В. А. Зенин и др.), но каждый раз получалась новая величина коэффициента. По Экману ветровой коэффициент равен 0,0127, по Зенину 0,02. В процентном отношении значения ветрового коэффициента у различных исследователей колеблются примерно от 1 до 5%. Причины такого расхождения кроются как в методике наблюдений, так и в методике обработки данных.

В море, как известно, имеют место суммарные течения. Чтобы выделить из них чисто ветровые течения, следует исключить плот-

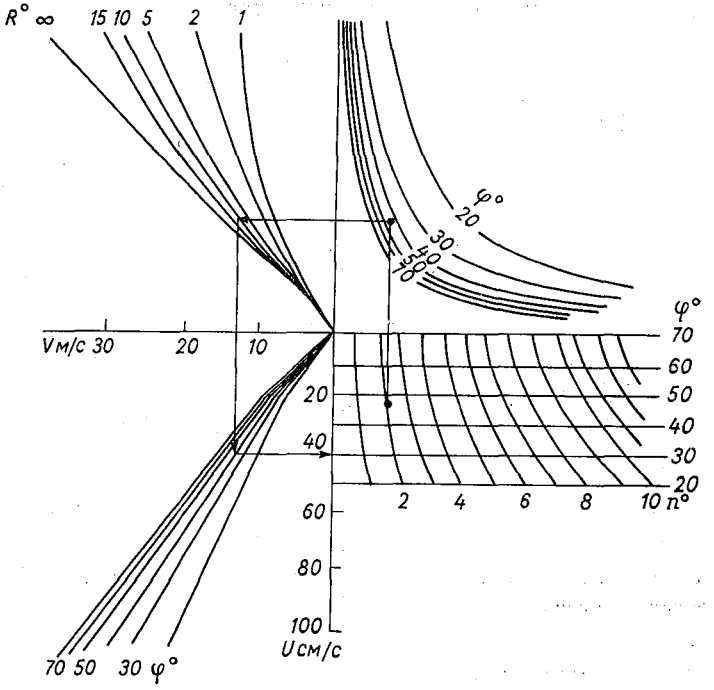


Рис. 32. Номограмма для расчета дрейфовых течений.

ностные, приливные и инерционные течения. Чаще всего это достигается путем формального осреднения по времени большого количества наблюдений. Однако такой подход не всегда приводит к желаемым результатам. Кроме того, для определения ветрового коэффициента используются данные наблюдений за ветром и течением в точке. Однако известно, что течения в точке определяются ветром не в данной точке, а над значительным пространством.

При определении эмпирических коэффициентов не всегда учитываются также физико-географические условия района, рельеф дна, конфигурация берегов, глубина места наблюдений, расстояния от берега.

При определении ветрового коэффициента не всегда учитывается физика взаимосвязи ветра и течений. Тораде, Лоуфорд и др. установили, что зависимость ветрового коэффициента от скорости ветра

является нелинейной. При этом существует «критическое» значение скорости ветра (около 7 м/с), при переходе через которое ветровой коэффициент меняется скачкообразно от 0,0175 до 0,0210. Затем он постепенно увеличивается до 0,0270 при возрастании скорости ветра до 20 м/с.

Е. М. Саускан и В. С. Красюк предложили способ расчета ветровых течений в океане, в котором были учтены описанные выше факторы. Для удобства расчетов ими была построена номограмма (рис. 32). При этом ветер рассчитывается по градиенту давления атмосферы в точке. Такой подход в известной степени позволяет получить осредненную характеристику ветровых условий над определенной площадью. Ветровой коэффициент меняется в зависимости от широты места и скорости ветра — он уменьшается при увеличении широты и скорости ветра.

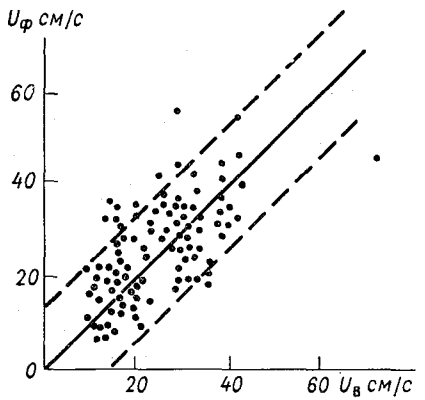


Рис. 33. Фактические и вычисленные скорости дрейфового течения.

Для определения скорости дрейфового течения U по номограмме необходимо найти радиус кривизны R и определить расстояние n между изобарами в данной точке аналогично тому, как описано в § 3 гл. II.

Пример. Рассчитать по номограмме (рис. 32) скорость дрейфового течения в точке с координатами 46° с. ш., 169° з. д. на 3 часа мск 3 августа 1966 г. По синоптической карте за этот срок определяется расстояние между изобарами 1015 и 1020 мб. Это расстояние для данной точки (46° с. ш.) соответствует 2° по меридиану, т. е. $n=2$. Затем определяется радиус кривизны R, который равен 15°.

Скорость течения определяется так же, как и высоты волн (см. приложение 5 и § 3 гл. II). В данном случае скорость течения составляет 40 см/с. Направление течения определяется по направлению изобар (область пониженного давления при этом должна оставаться слева) и составляет 155°. Измеренная в этой же точке в этот же срок скорость дрейфового течения составила 35 см/с, а направление 144°.

На рис. 33 приведен график сравнения измеренных и рассчитанных по номограмме скоростей течения. Описанная номограмма неприменима в районах размытого поля давления атмосферы и в центрах циклонов и антициклонов.

Способ, предложенный В. С. Красюком и Е. М. Саускан, позволяет определять только установившиеся дрейфовые течения.

Джеймс предложил способ расчета неустановившихся дрейфовых течений с учетом продолжительности действия ветра и разгона (рис. 34). При этом из двух влияющих факторов (продолжительности и разгона ветра) выбирается тот, который ограничивает развитие течения, т. е. даст меньшее значение течения. Таким образом,

методика расчета течений в данном случае аналогична методике расчета элементов ветровых волн. При этом расчет можно вести, когда течения отсутствуют (от нуля) и когда течения развились к моменту наблюдения.

Пример 1. Расчет дрейфовых течений для случая, когда в начальный момент в точке *P* течение отсутствовало. Начиная с этого момента возник ветер со скоростью 24 узла и дул с постоянной скоростью 6 часов на разгоне 50 миль. Следует определить скорость течения.

По номограмме определяем, что скорость дрейфового течения с учетом продолжительности (6 часов) составляет 0,32 узла, а с учетом разгона 0,40 узла. В данном случае развитие течения ограничивается продолжительностью действия ветра, поэтому выбираем скорость течения 0,32 узла.

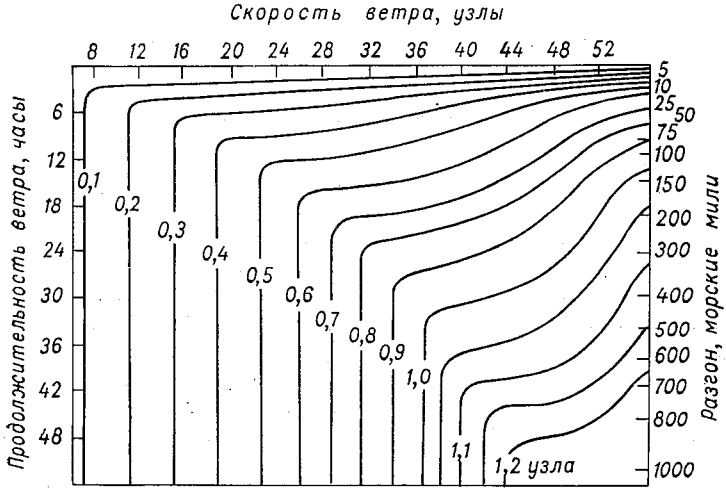


Рис. 34. Номограмма для расчета дрейфовых течений (по Джеймсу).

Пример 2. Расчет дрейфовых течений для случая, когда в начальный момент в точке *P* скорость течения составила 0,25 узла. Такое течение за 6 часов вызвал ветер со скоростью 14 узлов.

В следующие 6 часов скорость ветра была 28 узлов. По номограмме определяем, что течение со скоростью 0,25 узла при ветре 28 узлов установится за 4 часа. Следовательно, 4 часа — это эквивалентная продолжительность, т. е. одна и та же скорость течения создается ветром 14 узлов за 6 часов, а ветром 28 узлов за 4 часа. Таким образом, эффективная продолжительность будет равна 6+4=10 ч. Эффективная продолжительность и используется для прогноза. Вычисленная по графику скорость течения равна 0,43 узла.

§ 3. МЕТОДЫ ПРОГНОЗА СУММАРНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ПРОЛИВАХ

Течения в проливах с целью их прогнозирования изучались многими учеными. Первая попытка прогнозировать эти течения была сделана Лоидисом в 1901 г. Он связывал проекции градиентов атмосферного давления над Азовским морем на меридиан с течениями в Керченском проливе. Позднее такие разработки проводились

Ю. В. Визе, Т. М. Марютиным, К. П. Васильевым, А. А. Теодоровичем и др. Все разработки сводились к поискам связей между показателями атмосферной циркуляции и течениями в проливе. Так, К. П. Васильев в 1949 г. сопоставлял проекции течений на параллель и меридиан с проекциями градиента давления на эффективное направление (49—229°). Скорости и направление суммарных течений получались простым геометрическим сложением вычисленных проекций. Ошибки по скорости составляли 50 см/с, а по направлению 10°. С. И. Кан и Б. Л. Лагутин, кроме разностей давления, в качестве второго аргумента брали разность уровней между Таганрогом и Жуковкой. Сопоставление изменения течений с каждым из аргументов показало, что изменения течений запаздывают по сравнению с изменением аргументов примерно на 12 часов. Таким образом, было построено уравнение регрессии

$$U = 7\Delta P + 0{,}3\Delta h - 99, \tag{44}$$

где U — скорость течения в см/с, ΔP и Δh — градиенты давления и разности уровней, снятых за 12 часов до измерения уровня. Коэффициент корреляции составил 0,96. Средняя ошибка по скорости ± 21 см/с. Обеспеченность метода 90%.

А. А. Теодорович проверил методы вышеназванных авторов и показал, что ошибки связаны с недостаточно объективной оценкой показателей атмосферного давления, так как они не отражали всех ситуаций. Автор использовал те же аргументы, однако в таком виде, чтобы они полнее отражали синоптические условия, определяющие устойчивые азовские и черноморские течения. Определялась разность давления в пяти пунктах: 1) Геническ, 2) Осипенко, 3) Таганрог, 4) Феодосия, 5) Анапа, расположенных на побережьях Черного и Азовского морей

$$\Delta P = \frac{1}{3}(P_1 + P_2 + P_3) - \frac{1}{2}(P_4 + P_5). \tag{45}$$

Уравнения регрессии для устойчивых азовских и черноморских течений имеют вид:

$$U_{аз} = 3\Delta P - 0{,}3\Delta h + 35; \tag{46}$$

$$U_{черн} = 17\Delta P - 0{,}2\Delta h - 15, \tag{47}$$

где Δh — разность уровней между северным и южным побережьем моря.

§ 4. ПРОГНОЗЫ ТЕЧЕНИЙ, ОСНОВАННЫЕ НА УЧЕТЕ ПОЛЕЙ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Метод прогноза течений на основе связи их с барическими полями, разложенными в ряды по полиномам Чебышева, впервые был разработан Н. А. Белинским и М. Г. Глаголевой для Черного моря в 1960 г.

В 1958—1959 гг. была организована междуведомственная экспе-

диция на Черном и Азовском морях, которая провела наблюдения за течениями на многосуточных станциях, а также выполнила несколько повторяющихся через 3—5 дней пятидесятимильных разрезов с измерениями течений электронно-магнитными измерителями течений (ЭМИТ).

Полученные данные позволили проанализировать изменения течений во времени не только по глубине, но и по площади, а также сопоставить эти изменения с полем распределения атмосферного давления, которое разлагалось в ряды по полиномам Чебышева.

Область аппроксимации полей атмосферного давления, взятых за основные синоптические сроки (3, 9, 15 и 21 час мск), ограничивалась 41 и 45° с. ш. и 29 и 41° в. д. Значения давления в отклонениях от 1010 мб снимались в 35 точках, расположенных в узлах пересечений параллелей и меридианов, проведенных через 1 и 2° соответственно.

Так как над Черным морем имеют место сравнительно простые барические ситуации вследствие его небольших размеров, то для их характеристики оказалось достаточным вычислить лишь шесть первых коэффициентов разложения: A_{00}, A_{10}, A_{01}, A_{11}, A_{20}, A_{02}. При этом коэффициент A_{00} представляет собой среднее отклонение атмосферного давления над морем; коэффициенты A_{01} и A_{02} определяют потоки воздуха вдоль параллели, направленные в зависимости от знаков с запада на восток или с востока на запад; коэффициенты A_{10}, A_{20} определяют потоки воздуха вдоль меридианов, направленные с юга на север или с севера на юг, а коэффициент A_{11} учитывает сходимость или расходимость потоков воздуха.

Нетрудно видеть, что наибольший удельный вес будут давать коэффициенты, которые более соответствуют реальной барической ситуации. Например, при равномерном меридиональном потоке воздуха решающую роль будут играть коэффициенты A_{10} и A_{20}. Однако если барическая ситуация сложна, развитие течений будет в основном определяться тем коэффициентом, в поле влияния которого находится данная точка.

Было показано, что течения не зависят от местного ветра, а формируются под влиянием ветрового режима над всем морем. Поэтому, казалось бы, поле течений должно вполне соответствовать полю ветра над морем. Однако в действительности течения по-разному изменялись как по скорости, так и по направлению в различных точках моря. Это объясняется тем, что поле ветра и поле течений имеют неустановившийся характер, т. е. они непрерывно меняют свою интенсивность и направление, вследствие чего поле течений не успевает приспособиться к полю ветра. Кроме того, накладываются и локальные особенности физико-географических условий. Из сказанного следует, что для учета влияния барического поля на развитие течений в каждой конкретной точке характер барического поля должен рассматриваться специально. Поэтому, для отдельных точек были построены зависимости вида

$$u,\ v = f\left(\sum A_{ij}\right), \tag{48}$$

где u и v — проекции течений на генеральное направление берега и перпендикулярное ему направление, $\sum A_{ij}$ — сумма коэффициентов разложения, взятая с соответствующим весом.

Коэффициенты корреляции между u и $\sum A_{ij}$ оказались в пределах 0,72—0,91. Несколько меньшие значения коэффициентов корреляции (0,65—0,86) получились для случая связи v и $\sum A_{ij}$.

На рис. 35 приведена зависимость между u и $\sum A_{ij}$. Коэффициент корреляции в этом случае равен 0,85. С помощью таких зависимостей, построенных для точек, в которых проводились наблюдения за течениями, были рассчитаны поля скоростей течений и оценены их изменения во времени. При этом получилось хорошее соответствие между фактическими и вычисленными течениями.

В дальнейшем рассмотренный выше метод нашел применение при получении зависимостей для прогнозов течений в других районах.

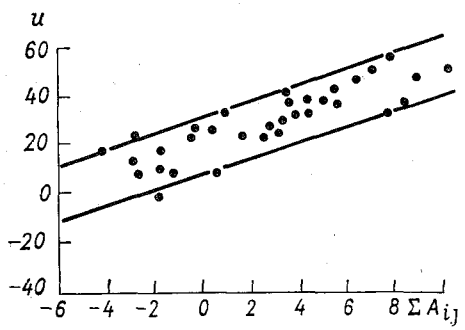


Рис. 35. Зависимость проекции скорости течения от суммы коэффициентов ряда Чебышева (восточный район Черного моря).

С. И. Кан получила прогностические зависимости для Керченского пролива.

Е. М. Саускан разработала метод краткосрочного прогноза течений для районов Северной Атлантики. В результате того, что время, проходящее между изменениями барического поля в атмосфере и течений в океане составляет 12 часов для слоя 0—25 м и 24 часа на глубинных горизонтах, оказалось возможным прогнозировать течения на 12 часов вперед в поверхностном слое и на 24 часа — на глубине.

Уравнения для прогноза течений были получены для районов с различной изменчивостью течений. В районах, где отсутствует постоянное течение и наблюдаются вихреобразные движения воды, прогнозируются проекции течения на меридиан и параллель, что дает возможность получить величину скорости и направление течения. В районах относительно постоянного потока типа струи Гольфстрима, где направление за сутки меняется мало, прогнозируется только величина скорости без учета направления.

Общий вид уравнений

$$u(\varphi, \lambda) = f(u_{\text{нач}}, A_{ij}),$$

где $u_{\text{нач}}$ — начальная скорость (или проекция скорости); u — прогнозируемая скорость течения (или проекция скорости); A_{ij} — коэффициенты разложения поля атмосферного давления по ортогональным функциям. Такие уравнения получены для горизонтов от 25 до 1000 м. По ним можно последовательно рассчитывать течения в отдельных точках на 3—5 суток вперед.

Е. М. Саускан разработала также метод, позволяющий по полю атмосферного давления прогнозировать распределение течений по площади для района, расположенного вдоль восточного побережья японских островов и охватывающего поток Куросио. Для этого поля проекций течений на параллель и меридиан и поля атмосферного давления были представлены в виде рядов разложения по ортогональным функциям.

В качестве начального условия при прогнозе принималась среднесезонная величина проекций скорости течения, характеризующая поток Куросио. Короткопериодные изменения течений рассматривались на фоне среднесезонных течений.

Уравнения составлены для прогноза коэффициентов разложения проекций течения на параллель и меридиан.

Общий вид уравнений

$$B_{ij}=f(\overline{u}_{\text{сез}},\ A_{ij}),$$

где B_{ij} — прогнозируемые коэффициенты разложения проекций течения; $\overline{u}_{\text{сез}}$ — среднесезонная величина проекций скорости течения; A_{ij} — коэффициенты разложения полей атмосферного давления. Заблаговременность прогноза равна пяти дням.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие факторы определяют развитие течений в океане?
2. Что характеризует ветровой коэффициент?
3. На чем основаны эмпирические методы прогноза течений?
4. Определить скорость дрейфового течения по номограмме рис. 32, если известны градиент давления $n=1{,}5$ на широте 45° с. ш., радиус кривизны $R=12$.

Литература: [5, 9, 10, 17, 18, 27, 36, 37, 43, 67, 77].

ГЛАВА IV

ПРОГНОЗЫ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ

§ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Колебания уровня моря по своей природе тесно связаны с течениями и представляют собой сложный процесс. Происхождение колебаний обусловлено гидрометеорологическим режимом моря, его физико-географическими и морфологическими особенностями. Обычно колебания подразделяются на периодические и непериодические. К периодическим относятся приливо-отливные колебания уровня моря. Эти колебания достаточно хорошо изучены, и прогнозируют их достаточно успешно. Непериодические колебания, обусловленные главным образом метеорологическими факторами,

изучены недостаточно, и прогнозирование их представляет собой наиболее трудную и актуальную проблему.

Для народного хозяйства одинаково важны как прогнозы кратковременных колебаний, обусловленных прохождением над морем барических систем, вызывающих сгонно-нагонные явления, так и прогнозы долгопериодных колебаний уровня в течение месяца, сезона, года и нескольких лет. Последние учитывают при перспективном планировании развития прибрежного гидротехнического строительства, судоходства и т. д.

При построении прогностических зависимостей для морей, где существенную роль играют приливо-отливные колебания, правильные периодические изменения уровня исключаются с помощью метода гармонического анализа. Оставшиеся непериодические колебания обрабатываются обычным способом, как для морей без приливов. Предсказанные величины непериодических изменений уровня в морях с приливами алгебраически суммируются с данными, взятыми из Таблиц приливов.

Методы прогнозов колебаний уровня моря, применяемые в практике, основываются на установлении эмпирических связей между уровнем моря и главными факторами, определяющими колебания уровня. Такими факторами являются характеристики атмосферных процессов (непосредственно ветер или градиенты давления). В последние годы в качестве показателей атмосферных процессов стали использовать коэффициенты разложения барического поля по полиномам Чебышева или естественным составляющим.

§ 2. ЭМПИРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗА КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ, ОСНОВАННЫЕ НА УЧЕТЕ ГРАДИЕНТОВ ДАВЛЕНИЯ

Один из первых методов краткосрочного прогноза изменений уровня принадлежит А. И. Каракашу. Для Каспийского моря им была предложена прогностическая зависимость следующего вида:

$$\Delta H = a\,\Delta P + b\,\Delta V, \tag{49}$$

где ΔH — изменения уровня за 12 часов в см, ΔV — изменение силы ветра за тот же период в м/с, ΔP — изменение давления в мм, a и b — коэффициенты, определяемые эмпирическим путем.

Для Черного и Азовского морей зависимость для прогноза изменений уровня имеет несколько другой вид:

$$\Delta H = a'\,\Delta h + b'V, \tag{50}$$

где ΔH — величина изменения уровня на данной станции через 6 часов в см, Δh — разность между уровнем открытого моря и уровнем на станции в срок составления прогноза, V — скорость ветра в м/с за этот же срок.

Уровень в открытой части моря определяется следующим образом. Выбирается несколько станций, для которых вычисляется уровень (в срок составления прогноза) относительно среднего многолетнего. Осреднив результат по всем станциям, получают уровень

открытого моря. Зная же величину и направление вектора горизонтального давления воды и вектора силы трения, нетрудно определить результирующую потока, а следовательно, и изменение уровня.

Т. М. Марютин в 1941 г. разработал зависимости для краткосрочных прогнозов непериодических колебаний уровня в устье Северной Двины. Им были предложены 32 уравнения прогноза уровня полных и малых вод (при сгонах и нагонах) в навигационный и зимний периоды по водомерному посту Соломбала с заблаговременностью 6 и 12 часов. Аргументами этих уравнений были взяты величины эффективных градиентов давления между пунктами Цып-Наволок и Канин Нос, Соловки и маяк Зимнегорский. Направление эффективного градиента между пунктами Цып-Наволок и Канин Нос определялось по ветру, создающему нагонную волну, распространяющуюся из Баренцева моря в Белое при положительном значении градиента, и сгонную волну, распространяющуюся при отрицательном значении градиента. Направление эффективного градиента между станциями Соловки и маяк Зимнегорский определялось по местному ветру, который перераспределяет массы воды в Белом море в широтном направлении. Кроме того, в расчет уровня берутся величины полной и малой воды, которые предшествуют прогнозируемым.

Уравнения Марютина используются для практических расчетов и в настоящее время. Однако прогнозы, составленные по этим уравнениям имеют малую заблаговременность и применимы они только для случаев сгонов и нагонов. При синоптических ситуациях, когда эффективные градиенты непоказательны, метод Марютина дает существенные ошибки.

Эти недостатки в известной степени были учтены В. П. Поповым при разработке метода прогноза непериодических колебаний уровня моря для любых гидросиноптических условий, имеющего большую заблаговременность. При построении прогностических зависимостей он использовал не только характеристики давления, но и непосредственно ветер.

Прогноз уровня в Архангельске сводится к прогнозу моментов наступления величин полных и малых вод. Все зависимости строились для водпоста Соломбала.

Основными факторами, влияющими на изменение уровня, являются:

1) синоптические условия (атмосферное давление, скорость и направление ветра),

2) речной сток,

3) астрономические условия (величины фазового и суточного неравенств прилива).

В зимний период режим уровня в Архангельске усложняется ледоставом на р. Северной Двине и наличием дрейфующих льдов.

Ветер является важнейшим фактором, определяющим положение уровня в Архангельске. При построении прогностических зависимостей ветер учитывался в двух районах; в Двинском заливе и Воронке Белого моря. Направление и скорость ветра брались

средними для каждого района за 12-часовой период, предшествующий наступлению расчетной полной и малой воды. Перед тем как строить зависимости между уровнем и ветром в Белом море, высоты полных и малых вод приводились к средним астрономическим условиям и атмосферному давлению 1010 мб.

Строились связи приведенных высот полных и малых вод водпоста Соломбала с проекциями вектора (среднего за 12 часов) ветра на ось Двинского залива для различных значений уровня в Усть-Пинеге. При этом положительный знак проекции соответствует нагонному ветру, отрицательный — сгонному. Для нахождения проекции вектора ветра на ось залива достаточно скорость ветра V

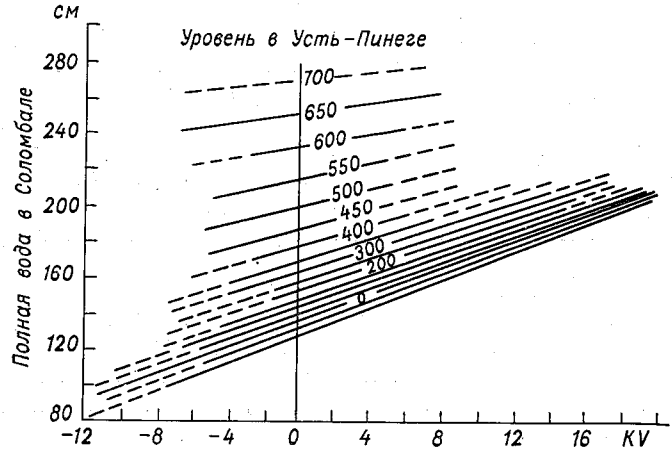


Рис. 36. Зависимость полной воды в Соломбале от KV и уровня в Усть-Пинеге.

умножить на коэффициент K, соответствующий определенному направлению ветра:

Направление ветра, румбы	СЗ	ССЗ	С	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ
K	1,0	0,95	0,75	0,40	0,15	—0,35	—0,70	—0,90

Направление ветра, румбы	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ
K	—1,0	—0,95	—0,75	—0,45	—0,25	0,30	0,70	0,90

Для удобства расчетов связи представлены в виде номограмм (рис. 36). Для того чтобы определить величину полной воды по номограмме, достаточно по известному значению уровня в Усть-Пинеге и величине KV снять на оси ординат искомое значение уровня в Соломбале.

Далее определялась связь отклонения уровня, вычисленного по номограммам (для полной и малой воды), от уровня, приведенного к средним астрономическим условиям и атмосферному давлению 1010 мб, со скоростью ветра (при различных его направлениях)

в Воронке Белого моря (рис. 37). Таким образом были получены поправки уровня на ветер в Воронке.

Номограммы построены при допущении, что уровень займет свое среднее положение при данном стоке, если в течение 12 часов был полный штиль.

Прогностические уравнения для высоты уровня имеют следующий вид:

для полной воды

$$H_{\text{ПВ}_\text{р}} = H'_{\text{ПВ}} + h_{\text{фаз}} + \frac{1}{2} h_{\text{сут}} + h_P; \qquad (51)$$

для малой воды

$$H_{\text{МВ}_\text{р}} = (H_{\text{МВ}} + \Delta H) + h_P, \qquad (52)$$

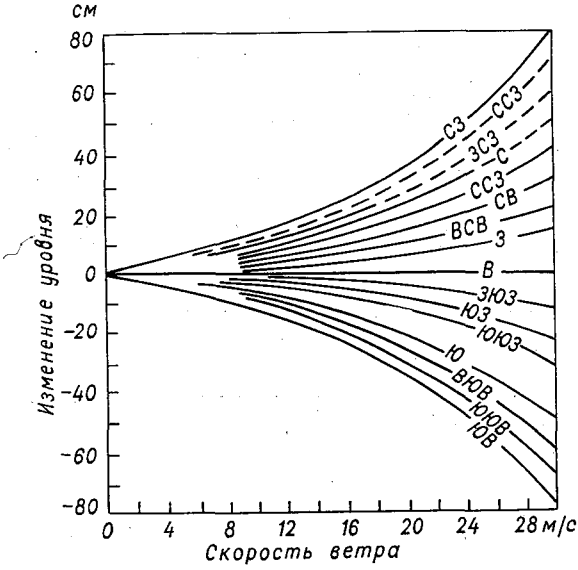


Рис. 37. Зависимость изменения полных и малых вод в Соломбале от ветра на севере Белого моря.

где $H_{\text{ПВ}_\text{р}}$ и $H_{\text{МВ}_\text{р}}$ — полная и малая вода расчетная, $H'_{\text{ПВ}} = H_{\text{ПВ}} + \Delta H$ — расчетная приведенная полная вода, $H_{\text{ПВ}}$ — полная вода, определяемая по номограмме (рис. 36), ΔH — поправка на ветер в Воронке Белого моря, определяемая по номограмме (рис. 37); $h_{\text{фаз}}$ и $h_{\text{сут}}$ — величины фазового и суточного неравенств на моменты наступления полной воды; h_P — поправка на прогностическое давление воздуха в Архангельске на момент наступления полной воды (давление берется в отклонениях от 1010 мб).

Заблаговременность прогноза достигает 36 часов. Точность прогноза зависит от качества прогноза ветра. Высоту уровня в других

пунктах можно получить по перекидным зависимостям однофазовых уровней. При этом в качестве опорного пункта берется водпост Соломбала.

Прогностические зависимости для краткосрочных прогнозов непериодических колебаний уровня, также основанные на учете градиентного ветра над большими пространствами морей и исходного состояния уровня, разрабатывались С. И. Кан для ряда пунктов Каспийского, Азовского, Японского, Охотского морей и Авачинской губы. Эти зависимости имеют следующий вид:

$$H=\overline{H}+a\,(H_{\text{срочн}}-\overline{H})+b\,(\Delta\Gamma_{\text{прогн}}-\Delta\overline{\Gamma}), \qquad (53)$$

где H — предсказываемый среднесуточный уровень на сутки, начинающиеся через 6 часов после того, как взят отсчет $H_{\text{срочн}}$; $H_{\text{срочн}}$ — уровень, отсчитанный по футштоку в ближайший срок к моменту составления прогноза; $\overline{H}$ — скользящий среднедекадный уровень за предшествующую декаду; $\Delta\overline{\Gamma}$ — скользящий среднедекадный градиент давления; $\Delta\Gamma_{\text{прогн}}$ — градиент давления, вычисленный по прогнозу давления на 12 часов вперед, считая от момента, за который взято $H_{\text{срочн}}$; a и b — коэффициенты, определяемые для каждого пункта.

Если предположить, что $H_{\text{срочн}}-\overline{H}=0$ и $\Delta\Gamma_{\text{прогн}}-\Delta\overline{\Gamma}=0$, то $H=\overline{H}$. Это значит, что этим уравнением можно пользоваться, не зная абсолютной отметки футштока. Это представляет существенное удобство в практической работе.

Для обслуживания судоходства в навигационный период в арктических морях Б. А. Крутских и Н. В. Мустафин разработали методики прогноза непериодических колебаний уровня.

Б. А. Крутских при анализе хода уровня и синоптических условий в районе устьевого бара р. Колымы обнаружил естественные периоды в ходе уровня, обусловленные соответствующими синоптическими периодами. Прогностические формулы для расчета продолжительности стадий изменения уровня, величины сгона и нагона, а также ожидаемой скорости сгона и нагона выведены на основе учета одних и тех же факторов, а именно: градиентов давления над обширными территориями, атмосферного давления в северной части Восточно-Сибирского моря и условной площади, занятой полем ветра «сгонного» направления. Прогноз этих характеристик уровня дается на основе фактических данных, характеризующих атмосферные процессы. Построены также уравнения с теми же исходными данными для прогноза среднедекадного и среднемесячного уровней и продолжительности положения уровня ниже среднего значения в течение декады и месяца на основе прогноза давления на соответствующий период.

Н. В. Мустафин, на основании анализа синоптических карт и материалов наблюдений за уровнем в море Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского моря, установил, что в 80% случаев барические образования, вызывающие наиболее значительные коле-

бания уровня, перемещаются с запада на восток. Поэтому в преобладающем большинстве случаев сгонно-нагонная волна проходит вдоль побережья с запада на восток. Это обстоятельство дает возможность предсказывать уровень в восточных районах по колебаниям атмосферного давления и уровня на станциях, расположенных западнее. Было также обнаружено запаздывание хода уровня по сравнению с соответствующим ходом эффективных градиентов атмосферного давления. На основе этого была разработана методика прогноза колебаний уровня с заблаговременностью до 24—27 часов по фактическим исходным данным без учета метеорологического прогноза. Подобные методики прогноза непериодических колебаний уровня с различной заблаговременностью были разработаны и для других районов Арктики.

§ 3. МЕТОДЫ ПРОГНОЗА КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ, ОСНОВАННЫЕ НА УЧЕТЕ ПОЛЕЙ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Методы прогноза уровня моря по эффективному градиенту, описанные в предыдущем параграфе, имеют локальное значение, так как для каждого конкретного района моря требуется отыскивать свои эффективные градиенты.

О. И. Шереметевская предложила метод прогноза, который позволяет по фактическому полю атмосферного давления над морем предвычислять ход уровня в течение суток одновременно на многих станциях Каспийского моря. При этом поле атмосферного давления представлялось аналитически при помощи полиномов Чебышева. Вычислялись коэффициенты A_{00}, A_{10}, A_{01}, A_{20}, A_{02}, A_{11}. При разработке метода Шереметевская исходила из того, что главным фактором, определяющим непериодические колебания уровня в каждой точке моря, являются течения, вызванные ветром. Поле дрейфовых течений зависит от особенностей циркуляции воздуха над морем. По коэффициентам разложения поля атмосферного давления можно определить направление и интенсивность ветровых потоков, что позволяет косвенно учесть изменение полей скорости течений, а также статический эффект в колебаниях уровня. Область, в которой снималось давление, была выбрана таким образом, чтобы охватить всю акваторию моря и косвенно учесть орографический эффект западного побережья. Для каждого выбранного пункта устанавливались зависимости для предвычисления уровня на 6, 12, 18 и 24 часа по значениям поля давления в данный момент и результатам предшествующих наблюдений за уровнем:

$$H_n - \overline{H}_{n-1} = f\left[\Delta h_{n-1};\ \sum A_{ij\,n-1};\ (H - \overline{H})_{n-1}\right],$$

где H_n — предвычисленный уровень; $\overline{H}_{n-1}$ — среднедекадный уровень за предшествующую декаду; $H - \overline{H}$ — разность уровней, позволяющая исключить влияние годового хода уровня; n и $n-1$ — заблаговременность прогноза (различается на 6, 12, 18 и 24 часа); Δh_{n-1} — разность уровней в данном пункте и у о. Артема;

$\sum A_{ij}{}_{n-1}$ — коэффициенты разложения поля давления в ряд по полиномам Чебышева.

Наиболее тесные зависимости оказались при заблаговременности 6 и 12 часов. Метод используется в оперативной практике Астраханской гидрометеорологической обсерватории и Бакинском бюро погоды.

В. А. Зорина для прогноза уровня у юго-восточного побережья Балтийского моря (порты Балтийск, Клайпеда, Пионерск, Калининград) применила метод аналитического представления полей атмосферного давления над морем путем разложения в ряды по естественным составляющим. Коэффициенты разложения были использованы в качестве аргументов при построении прогностических зависимостей, которые имеют вид

$$H_\tau = f\left(H_0, \sum_{i=0}^{i=5} B_i\right), \tag{54}$$

где H_τ — прогнозируемый уровень с заблаговременностью τ, H_0 — уровень в момент составления прогноза, $\sum_{i=0}^{i=5} B_i$ — сумма коэффициентов разложения по естественным составляющим, взятых в момент составления прогноза.

В результате анализа исходного материала (полей атмосферного давления и уровней) все прогностические зависимости были разбиты на три группы в зависимости от сезона года и характера колебания уровня. Так, уравнения первой группы используются для прогноза изменений уровня в летнее время с заблаговременностью 24 часа. Для порта Балтийск уравнение имеет вид

$$H_{\tau=24} = 2{,}38 + 0{,}55H_0 - 0{,}55B_0 - 0{,}62B_1 + 0{,}31B_2 - \\ - 0{,}78B_3 + 0{,}23B_4 + 0{,}74B_5. \tag{55}$$

Уравнения второй группы применяются в холодную половину года. Для порта Балтийск уравнение имеет вид

$$H_{\tau=48} = 10{,}25 + 0{,}64H_0 - 0{,}30B_0 - 0{,}20B_1 + 1{,}1B_2 + \\ + 0{,}14B_3 - 0{,}69B_4 - 0{,}84B_5. \tag{56}$$

Уравнения третьей группы применяются для прогноза уровня при устойчивом сгоне, который наблюдается в южной части Балтийского моря обычно на фоне общего понижения уровня на всем море.

В. А. Зорина, анализируя причины изменения колебания уровня в устьевой части р. Преголи, показала, что величина сгонов и нагонов зависит от водообмена с морем, местного ветра и речного стока. При этом наименьшую роль играет речной сток (около 10 см общей величины изменения уровня). Изменения уровня в результате водообмена составляют около 50—70 см. Колебания уровня воды в ре-

зультате действия местного ветра составляют около 150 см. Таким образом, величина сгона и нагона определяется главным образом водообменом и местным ветром.

На основании анализа условий, при которых происходят сгоны и нагоны, Зорина выделила четыре типа синоптической обстановки с подтипами и подсчитала их повторяемость, продолжительность сгона или нагона при различных типах. После определения типа рассчитываются величины сгона или нагона по прогностической зависимости, основанной на связи между приращением уровня и изменением местного ветра, с заблаговременностью 6 часов. В целях увеличения заблаговременности прогноза уровня для лета и в ледовый период, когда местный ветер почти не оказывает влияния на изменения уровня, Зорина рассмотрела распределение ветра над большим районом. Для этого она применила метод аналитического представления поля атмосферного давления. Таким образом, в прогностические зависимости вошли в качестве аргументов начальный уровень и коэффициенты разложения. Для летнего периода, кроме того, в прогностические зависимости была введена проекция ветра на продольную ось залива (юго-запад — северо-восток). В результате заблаговременность прогноза для зимы увеличилась с 6 до 72 часов, а для лета — с 6 до 24 часов.

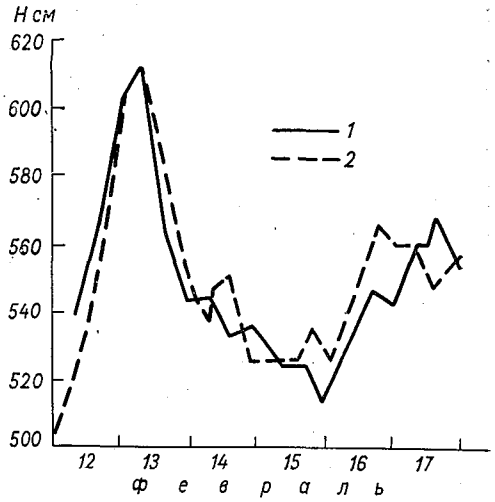


Рис. 38. Наблюденные (*1*) и предвычисленные за 12 часов (*2*) уровни моря в Скулте 12—17 февраля 1962 г.

Метод краткосрочного прогноза уровня моря на юго-востоке Балтийского моря и в Рижском заливе разработан О. И. Шереметевской. Метод основан на статистической связи между уровнем моря и полями атмосферного давления. Коэффициенты разложения поля атмосферного давления являются комплексной характеристикой полей дрейфовых течений, водообмена и статического эффекта, которые определяют колебания уровня в отдельных пунктах моря.

Величина среднего уровня моря H в первом приближении характеризует степень наполнения моря, а изменения среднего уровня моря отражают колебания объема воды в море. Характер влияния поля атмосферного давления на изменение уровенной поверхности моря зависит от положения уровня в начальный момент. На то, что все перечисленные факторы играют важную роль, указывают высокие коэффициенты корреляции.

В результате для отдельных пунктов моря были получены прогностические зависимости, учитывающие все эти факторы:

$$H_t^k = f\left(H_0^k,\ \overline{H}_0,\ \sum_{i=0}^{i=5} A_i\right), \tag{57}$$

где H_t^k — прогнозируемый уровень моря на момент t в пункте k; H_0^k — исходный уровень в момент составления прогноза ($t=0$) в пункте k; $\overline{H}_0$ — средний уровень моря, вычисленный по девяти пунктам восточного побережья; $\sum_{i=0}^{i=5} A_i$ — сумма шести коэффициентов разложения полей атмосферного давления в ряды по естественным составляющим.

На основании уравнений (57) был составлен алгоритм и программа для счета прогноза на ЭВМ. Метод был испытан на ст. Скулте за время нагонов 12—19 февраля 1962 г., 4—6 января 1965 г. и в Риге при катастрофическом сгоне 6—9 декабря 1959 г. Результаты оказались удовлетворительными. На рис. 38 показан ход вычисленного и наблюденного уровней 12—17 февраля 1962 г. на ст. Скулте.

§ 4. ДОЛГОСРОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ ХОДА УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Прогнозы уровня Каспийского моря на длительное время (от нескольких месяцев до нескольких лет) приобрели актуальное значение в связи с резким падением уровня моря. Только в течение последних 25 лет уровень Каспия понизился почти на 2 м.

Многолетний ход уровня моря определяется изменениями элементов его водного баланса, приходная часть которого включает сток рек, осадки, приток грунтовых вод, а расходная — испарение и сток в Кара-Богаз-Гол. Изучению водного баланса было посвящено большое количество работ (Ленц, А. А. Каминский, Б. А. Аполлов, Г. Р. Брегман, Б. Д. Зайков, Н. А. Белинский, Г. П. Калинин и др.).

Г. П. Калининым была впервые установлена возможность прогноза колебаний уровня Каспийского моря на несколько месяцев и один год. При прогнозе весенне-летнего подъема уровня Каспия он использовал количество осадков, выпадающих в бассейне Волги с сентября по март ($x_{\text{IX–III}}$), т. е. формирующих весенний сток, и осенние и весенние температуры воздуха (сентябрь—ноябрь, март) в бассейне, отражающие потери осадков на испарение ($t_{\text{IX–XI, III}}$). При этом общее прогностическое уравнение имеет вид

$$\Delta H = 0{,}17x_{\text{IX–III}} - 0{,}73t_{\text{IX–XI, III}} - 4, \tag{58}$$

где ΔH — весенне-летний подъем уровня Каспийского моря. Общий коэффициент корреляции $R = 0{,}84 \pm 0{,}05$.

Годовые изменения уровня подсчитывались по уравнению

$$\pm \Delta h = 1{,}90\,(\Delta H - 36) \qquad (59)$$

при коэффициенте корреляции $r = 0{,}89 \pm 0{,}02$.

В 1946 г. Н. А. Белинский и Г. П. Калинин разработали метод прогноза среднегодовых уровней моря с заблаговременностью 5—6 лет. Увеличение заблаговременности было достигнуто за счет учета крупномасштабных атмосферных процессов над Атлантикой, Европой и Западной Сибирью. Была установлена связь между цик-

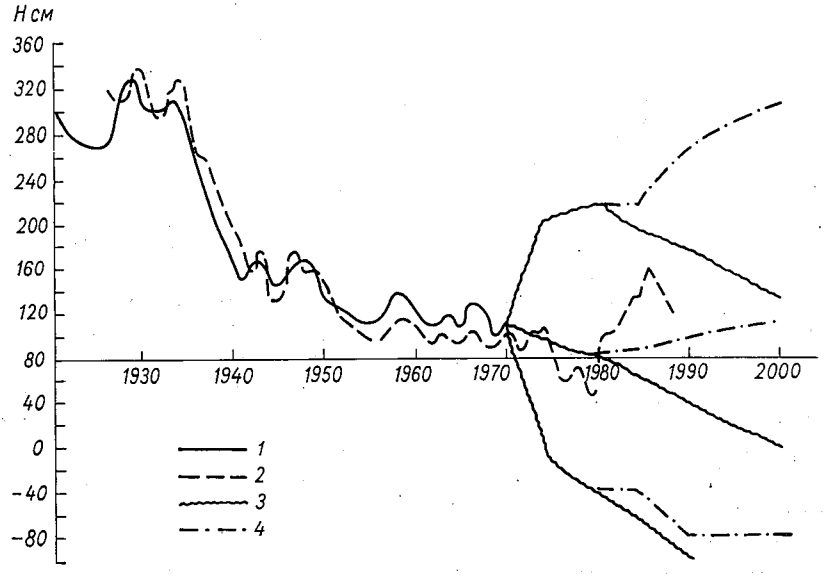


Рис. 39. Годовой ход и прогноз уровня Каспийского моря.

1 — наблюденный уровень, *2* — рассчитанный уровень 50%-ной обеспеченности, *3* — уровень с учетом возрастающего потребления воды в народном хозяйстве, *4* — уровень с учетом переброски стока северных рек.

лонической и антициклонической деятельностью над этими районами и количеством осадков, выпадающих в бассейне р. Волги. В качестве показателя атмосферных процессов был использован индекс циркуляции Белинского.

В то время, когда над Атлантическим океаном развивается циклоническая деятельность, над материком, и в частности над бассейном р. Волги, преобладает антициклоническая деятельность, вследствие чего осадков выпадает мало. Сток р. Волги в Каспийское море уменьшается, что приводит к понижению его уровня. И наоборот, когда над океаном отмечается антициклоническая деятельность, то в это же время над материком, включая бассейн

р. Волги, наблюдается циклоническая деятельность. Вследствие этого количество осадков в бассейне р. Волги увеличивается, что приводит к увеличению стока р. Волги в Каспийское море и повышению его уровня. Была найдена достаточно тесная связь между индексом Белинского и стоком р. Волги ($r = -0{,}84 \pm 0{,}05$). При этом выявилось, что индекс циркуляции Белинского опережает по времени сток р. Волги на 5—6 лет, т. е. составляет как раз половину ранее установленного и четко выраженного 12-летнего цикла в ходе колебания атмосферных процессов. Это обстоятельство дало возможность предсказывать сток р. Волги на 5—6 лет вперед, а следовательно, и ход колебания уровня Каспийского моря.

По методу, разработанному Н. А. Белинским и Г. П. Калининым в Гидрометцентре СССР, ежегодно с заблаговременностью 5 лет составляются прогнозы среднегодового уровня Каспийского моря.

В последние годы значительное влияние на водный баланс моря оказывает хозяйственная деятельность человека, например строительство гидростанций на Волге и других реках, впадающих в Каспийское море. В связи с этим при расчетах и прогнозах уровня Каспийского моря необходимо учитывать зарегулированный режим стока рек.

Исследования по уточнению методов прогноза колебаний уровня моря при зарегулированном стоке рек, впадающих в Каспийское море, были проведены Г. П. Калининым, К. И. Смирновой и О. И. Шереметевской. С учетом зарегулированного стока рек этими авторами предсказаны будущие уровни Каспийского моря при стоке 5, 50 и 95%-ной обеспеченности до 2000 г. (рис. 39).

При средних условиях стока к концу расчетного периода уровень моря понизится на 110 см. При неблагоприятных условиях стока и осуществлении плана изъятия воды понижение уровня может составить 300 см. При стоке 5%-ной обеспеченности уровень моря мало изменится.

Если будет осуществлен проект переброски вод северных рек (1980 г.), то в Каспий ежегодно будет поступать дополнительно 40 км³ при тех же величинах изъятия стока на хозяйственные нужды. Уровень моря при средних условиях повысится на 20 см, при стоке 5%-ной обеспеченности — на 150 см, а при 95%-ной обеспеченности уровень понизится на 130 см. Учитывая приближенность расчетов, ошибки могут составить примерно 50 см.

ВОПРОСЫ

1. Какие факторы определяют колебания уровня моря?
2. Какие существуют подходы при разработке методов прогноза колебаний уровня моря?
3. Что кладется в основу метода долгосрочного прогноза хода уровня Каспийского моря?

Литература: [5, 9, 10, 12, 13, 27, 28, 29, 35, 44, 45, 46, 48, 56, 77].

ГЛАВА V

КРАТКОСРОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ

§ 1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Изменение температуры воды в море обусловлено непостоянством теплового баланса.

В связи с различием процессов распространения тепла в море в холодную и теплую части года необходим и различный подход к анализу и прогнозу температуры воды в море в эти периоды.

В холодную часть года, когда температура воды в верхнем слое моря почти одинакова по глубине (гомотермия), расчеты ее можно производить в большинстве случаев с учетом основного фактора — конвекции.

В теплую часть года вследствие больших градиентов температуры воды (как по вертикали, так и по горизонтали) необходимо учитывать все многообразие факторов, влияющих на распределение температуры воды. При этом бóльшую роль играет перенос тепла течениями (адвекция). Изменение циркуляции атмосферы ведет к перестройке поля течений, что в свою очередь приводит к изменениям горизонтального и вертикального распределения температуры воды. Естественно, чем интенсивнее атмосферные процессы, тем быстрее происходят эти изменения.

§ 2. МЕТОДЫ ПРОГНОЗА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ, ОСНОВАННЫЕ НА УЧЕТЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА

Методы прогноза температуры воды, основанные на учете теплового баланса, применяются в условиях, когда отсутствуют горизонтальный перенос тепла течениями и значительная вертикальная стратификация температуры воды. В этом случае основными факторами, определяющими изменения температуры воды, являются приток и потери тепла через поверхность моря и его глубина. Такие условия встречаются в прибрежных мелководных районах.

Я. А. Тютневым для ряда прибрежных районов Каспийского и Азовского морей были получены прогностические зависимости между изменениями среднесуточной температуры воды Δt_w и суточных сумм притока и потерь тепла поверхностью моря ΔQ вида

$$\Delta t_w = k\,\Delta Q, \tag{60}$$

где k — коэффициент, зависящий от глубины моря.

Зависимость изменения температуры воды от теплового баланса поверхности моря показана на рис. 40. На этом рисунке линии регрессии для станций Ейск и Осипенко проходят через нуль, что указывает на изменение температуры воды только за счет притока и потерь тепла через поверхность моря. Однако при этом наклон линий регрессии к оси абсцисс различен и непосредственно связан

с глубиной моря: чем больше глубина моря, тем меньше изменится температура воды при равных количествах тепла.

Интересно отметить, что линия регрессии, построенная для Астраханского рейда, не проходит через нуль графика. Оказывается, что для этого района моря при незначительном положительном тепловом балансе температура воды понижается. Это объясняется влиянием более холодных волжских вод, которые проникают в этот район. Для того чтобы определить величину этого влияния, достаточно определить отрезок по ординате между нулевой горизонтальной линией и точкой пересечения линии ординат линией регрессии, или, что то же самое, переместить линию регрессии параллельно самой себе так, чтобы она проходила через нуль графика. Тогда нетрудно видеть, что волжские воды на 0,7° холоднее вод Каспийского моря. По найденным зависимостям можно рассчитать измене-

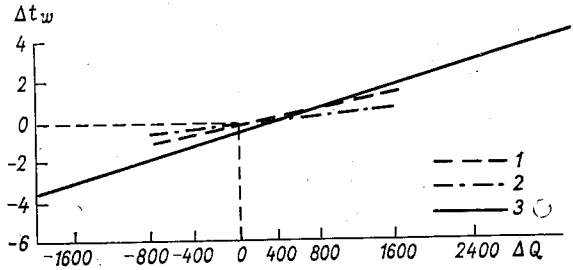


Рис. 40. Зависимость изменения температуры воды от теплового баланса поверхности моря.

1 — ст. Ейск, *2* — ст. Осипенко, *3* — Астраханский рейд (изменения температуры воды за пятидневку).

ние температуры воды от суток к суткам и дать прогноз ее на несколько дней. Причем для прогноза температуры воды на конец первых суток в качестве исходных данных используется фактическая температура воды в день составления прогноза, а для последующих суток — рассчитанная температура воды предыдущих суток.

При составлении прогноза кроме исходной температуры воды необходимо располагать прогнозами метеорологических элементов для расчета теплового баланса моря.

О. И. Шереметевская предложила метод расчета температуры воды на поверхности моря по тепловому балансу с учетом интенсивности перемешивания и адвекции. Изменения температуры воды с учетом этих факторов рассчитывались по формуле

$$\Delta t_w = \frac{0{,}68Q_0 - Q_{\text{пот}}}{L/2} + 0{,}02\,\Delta S\,\Delta t - 0{,}05, \qquad (61)$$

где Δt_w — изменение температуры воды за сутки с учетом теплового баланса, $\Delta S\,\Delta t$ — изменение теплосодержания за сутки, L — длина волны.

За толщину слоя турбулентного перемешивания принимался слой, глубина которого равна половине длины волны. Адвекция учитывалась косвенно. Использовалась характеристика теплосодержания верхнего слоя моря — сумма положительных отклонений температуры воды деятельного слоя от ее средних значений.

Г. Н. Милейко разработал метод предвычисления полей температуры воды на поверхности северных частей Атлантического и Тихого океанов в холодную часть года на основе учета изменения теплового баланса и глубины конвективного перемешивания.

В качестве исходных данных используется карта фактического поля распределения температуры воды, построенная по данным разовых наблюдений судов, плавающих в океане, к моменту составления прогноза, и среднемесячный прогноз температуры воздуха.

Расчетная схема имеет следующий вид:

$$t_{w\,n-1} \rightarrow H_{n-1} \rightarrow \frac{\Delta Q_n}{0{,}1 H_{n-1}} = \Delta t_{w_n} \rightarrow t_{w\,n-1} + \Delta t_{w_n} + \Delta t_w.$$

Здесь H — глубина конвективного перемешивания, определяемая по температуре воды на поверхности (рассчитывается заранее один раз по данным гидрологических наблюдений ряда лет методом плотностного сопоставления); ΔQ — теплопотери с поверхности океана, рассчитываемые по разности $t_w - t_a$. Применяется шаговая схема расчета. Для первого шага расчета берется фактическое значение температуры воды, а для последующих — рассчитанная. Расчеты производились на ЭВМ для 300 точек. Для каждой точки с расчетных карт через интервал, равный понижению температуры воды на 1°, снималось значение глубины конвекции, а также среднемесячное значение температуры воздуха и адвективное изменение температуры воды за декаду, полученное по многолетним данным. Долгосрочный прогноз, рассчитанный по этому методу, имеет заблаговременность 1,5 месяца. Затем он уточняется расчетами с декадной заблаговременностью и передается в виде карты (рис. 41) по фототелеграфному аппарату (ФТАК).

Л. И. Скриптуновой была предпринята попытка установить для теплой части года прогностические зависимости непосредственно между полями распределения температуры воды и полями атмосферного давления с учетом потоков тепла через поверхность океана для северо-западной части Атлантического океана (район банки Джорджес). При этом поля температуры воды и поля атмосферного давления разлагались в ряды по ортогональным функциям — поля температуры воды по естественным составляющим, а поля атмосферного давления в ряды по полиномам Чебышева. Таким образом были получены зависимости вида

$$B_{ij}(t_w)_{\tau=5} = f\left(Q_n,\ \sum A_{ij}(P)_n,\ B'_{ij}(t_w)\right), \qquad (62)$$

где $B_{ij}(t_w)_{\tau=5}$ — прогнозируемые коэффициенты ряда разложения поля температуры воды, Q_n — сумма потоков тепла через поверх-

ность океана, $A_{ij}(P)_n$ — коэффициенты разложения поля атмосферного давления, $B'_{ij}(t_w)$ — коэффициенты разложения поля температуры воды в день составления прогноза, τ — заблаговременность прогноза, равная пяти дням. Прогностические уравнения находились путем множественной корреляции на ЭВМ.

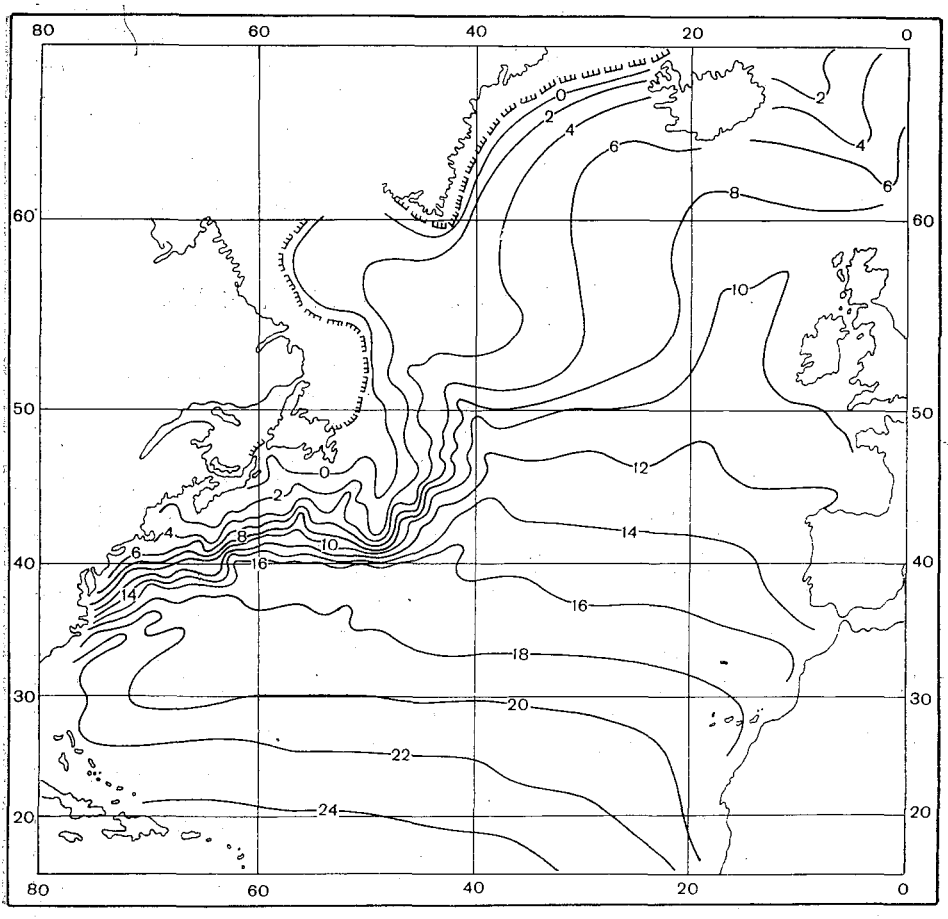


Рис. 41. Прогноз температуры поверхностного слоя воды на 11—15 марта 1972 г. Северная Атлантика.

Зависимость (62) характеризуется следующими коэффициентами корреляции:

Коэффициенты разложения . .	B_{00}	B_{10}	B_{01}	B_{11}	B_{20}	B_{02}	B_{21}	B_{12}
Коэффициенты корреляции . .	0,98	0,83	0,98	0,58	0,92	0,84	0,63	0,96
Коэффициенты разложения . .	B_{22}	B_{30}	B_{03}	B_{31}	B_{13}	B_{32}	B_{23}	B_{33}
Коэффициенты корреляции . .	0,58	0,81	0,63	0,62	0,84	0,35	0,91	0,88

Для построения прогностических уравнений использовались карты распределения температуры воды по Северной Атлантике, составляемые в Гидрометцентре, а также американские карты температуры воды, принимаемые по ФТАК. Проводилось пятидневное осреднение данных о температуре воды, т. е. строилась одна осредненная за пять дней карта. Другие данные, используемые при составлении прогноза (давление, температура воздуха), также осреднялись по пятидневкам. Тепловой баланс рассчитывался по упрощенной формуле Тютнева. Для этого использовалась прогнозируемая температура воздуха. Таким образом, при составлении пятидневного прогноза распределения температуры воды необходимо выполнить следующие операции.

1. К моменту составления прогноза за истекшую пятидневку вычислить коэффициенты разложения поля температуры воды и поля атмосферного давления.

2. На основе синоптического прогноза рассчитать тепловой баланс поверхности моря на следующую пятидневку; если синоптический прогноз отсутствует, то тепловой баланс рассчитывается по фактическим данным и экстраполируется на следующую пятидневку.

3. Полученные данные подставить в прогностическое уравнение и вычислить коэффициенты разложения температуры воды.

4. Чтобы от коэффициентов разложения перейти непосредственно к температуре воды, произвести вычисления по формуле

$$t_w = B_{00}\varphi_0(x)\psi_0(y) + B_{10}\varphi_1(x)\psi_0(y) + B_{01}\varphi_0(x)\psi_1(y) + \ldots + B_{03}\varphi_0(x)\psi_3(y), \qquad (63)$$

где t_w — прогнозируемая температура воды; B_{00}, B_{10}, B_{01}, ..., B_{03} — коэффициенты разложения поля температуры воды, вычисленные по уравнению (62); $\varphi_n(x)$, $\psi_n(y)$ — весовые функции (естественные составляющие).

5. Результаты нанести на карту и провести изотермы.

6. Произвести оценку оправдываемости прогноза. Для этого проводится сопоставление вычисленных и наблюденных температур воды в 99 точках и подсчитывается число оправдавшихся и неоправдавшихся случаев, согласно критерию оценки.

Результаты испытания метода показали, что обеспеченность невыхода ошибок за пределы σ составляет 82%.

§ 3. ПРОГНОЗ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ

Распределение температуры воды по вертикали зависит от теплового баланса поверхности моря, переноса тепла течениями в вертикальном и горизонтальном направлениях, процессов конвекции и турбулентного перемешивания, внутренних волн и других факторов. Все эти факторы находятся во взаимодействии друг с другом, что представляет большую сложность для теоретического решения задачи. Поэтому для решения практических задач ищут косвенные пути, позволяющие по известным данным с достаточной для

практики точностью рассчитывать вертикальное распределение температуры воды.

Н. А. Белинский и др., анализируя кривые распределения температуры воды, нашли, что параметрами, достаточно полно характеризующими вертикальный профиль температуры воды, являются средняя температура рассматриваемого слоя, сумма положительных отклонений от средней температуры слоя, температура поверхности моря и температура на нижней границе слоя (рис. 42). Эти параметры легко могут быть получены из батитермографных записей.

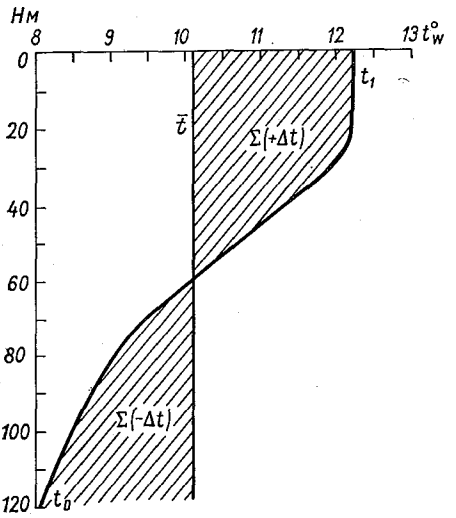


Рис. 42. Кривая вертикального распределения температуры воды в море.

Для расчета распределения температуры воды по вертикали предложена двухслойная модель. В ней рассматриваются два потока тепла, распространяющиеся по экспоненциальному закону сверху вниз и снизу вверх. Температура воды на каждом горизонте определяется суммой этих потоков:

$$t_h = \bar{t} + \Delta t_1 e^{-b\,(h-1)^n} + \\ + \Delta t_D e^{-d\,(D-h)^m}, \qquad (64)$$

где $\bar{t}$ — средняя температура слоя; Δt_1 и Δt_D — отклонения температуры воды на верхней и нижней границах слоя от средней температуры слоя; b, d, n, m — величины, зависящие от факторов, определяющих особенности распространения потоков; h — вертикальная координата; D — толщина слоя.

Пример. Расчет распределения температуры воды по вертикали и определение ошибок расчета (табл. 23).

Даны температура t на каждом горизонте слоя (графа 2) и глубина горизонта h в условных единицах (графа 1).

Рассчитать профиль температуры, пользуясь формулой (64), и определить ошибки.

1. Определяем среднюю температуру слоя

$$\bar{t} = \frac{\sum t}{13} = \frac{158{,}35}{13} = 12{,}18°,$$

отклонения температуры на каждом горизонте от средней температуры слоя (графа 3) и сумму положительных отклонений $\Sigma(+\Delta t) = 9{,}37$.

2. Находим отношения:

$$\frac{|\Delta t_D|}{\Delta t_1} = \frac{2{,}18}{2{,}03} = 1{,}07;$$

$$\frac{\sum(+\Delta t)}{\Delta t_1} = \frac{9{,}37}{2{,}03} = 4{,}62.$$

Таблица 23

Пример расчета распределения температуры воды по вертикали

h условные единицы	t	Δt	$e^{-b(h-1)^n}$	$\Delta t_1 e^{-b(h-1)^n}$	$e^{-d(D-h)^m}$	$\Delta t_D e^{-d(D-h)^m}$	$\Delta t'$	t_h	$\delta = t - t_h$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	14,21	2,03	1,00	2,03	0	0	2,03	14,21	0
2	14,21	2,03	0,98	1,99	0	0	1,99	14,17	0,04
3	14,21	2,03	0,92	1,87	0	0	1,87	14,05	0,16
4	13,90	1,72	0,79	1,60	0,01	—0,02	1,58	13,76	0,14
5	13,31	1,13	0,60	1,22	0,03	—0,06	1,16	13,34	—0,03
6	12,61	0,43	0,39	0,79	0,08	—0,17	0,62	12,80	—0,19
7	11,80	—0,38	0,22	0,45	0,17	—0,37	0,08	12,26	—0,46
8	11,19	—0,99	0,10	0,20	0,33	—0,72	—0,52	11,66	—0,47
9	11,01	—1,17	0,04	0,08	0,53	—1,16	—1,08	11,10	—0,09
10	10,79	—1,39	0,01	0,02	0,73	—1,59	—1,57	10,61	0,18
11	10,61	—1,57	0	0	0,89	—1,94	—1,94	10,24	0,37
12	10,50	—1,68	0	0	0,98	—2,14	—2,14	10,04	0,46
13	10,00	—2,18	0	0	1,00	—2,18	—2,18	10,00	0
$\sum$	158,35								
$\bar{t}$	12,18								

3. На номограмме (приложение 8) по вычисленным значениям 1,07 и 4,62 (точка С) определяем: $n=2{,}7$, $m=2{,}5$.

4. По $n=2{,}7$ и $m=2{,}5$ из приложения 9 путем интерполяции находим $e^{-b(h-1)^{2,7}}$ и $e^{-d(D-h)^{2,5}}$ соответственно значениям $h-1$ и $D-h$. Эти величины приведены в графах 4 и 6.

5. Затем вычисляем $\Delta t_1 e^{-b(h-1)^{2,7}}$ и $\Delta t_D e^{-d(D-h)^{2,5}}$ (графы 5 и 7).

6. Далее вычисляем

$$\Delta t' = e^{-b(h-1)^{2,7}} + e^{-d(D-h)^{2,5}}$$

(графа 8).

7. По формуле (64) находим значения температуры воды на каждом горизонте:

$$t_h = \bar{t} + \Delta t'$$

(графа 9).

8. Определяем ошибку расчета

$$\delta = t - t_h$$

(графа 10).

Если рассчитанные значения температуры воды t_h для соответствующих глубин h нанести на график, то линия, проведенная через полученные точки, будет характеризовать распределение температуры воды по вертикали.

Результаты расчетов показывают, что кривые распределения температуры воды по вертикали характеризуются с достаточной

для рационального использования ледоколов необходимы ледовые прогнозы большой заблаговременности. Однако важное значение имеют и прогнозы с заблаговременностью 8—10 суток. Они позволяют определить периоды максимально благоприятных условий для проведения той или иной морской операции.

По физико-географическим и климатическим особенностям все моря СССР можно разделить на две группы: 1) моря Арктического бассейна и 2) моря неарктические. В свою очередь неарктические моря разделяют на три подгруппы: а) Белое и Балтийское; б) Азовское, Черное, Каспийское и Аральское; в) Японское, Охотское, Берингово.

Такое разделение удобно для оперативной практики. Каждая подгруппа морей находится под воздействием определенных атмосферных процессов крупного масштаба, а это позволяет при разработке прогнозов для определенной группы морей использовать одни и те же данные об атмосферных процессах.

§ 2. КРАТКОСРОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ ДАТ ПЕРВОГО ПОЯВЛЕНИЯ ЛЬДА В МЕЛКОВОДНЫХ РАЙОНАХ МОРЯ

Основным условием, определяющим начало ледообразования в море, является достижение температурой воды точки замерзания. Существует достаточно тесная связь между датой первого появления льда и датой перехода температуры воды через точку замерзания. Однако прогнозы появления льда, основанные на этой связи, имеют сравнительно малую заблаговременность.

Значительно большее прогностическое значение имеет связь даты первого появления льда с датой перехода температуры воздуха через 0°. Физический смысл этой связи состоит в том, что продолжительность периода между этими двумя датами неявно связана с суммой отрицательных среднесуточных температур воздуха $\sum(-t_a)$, накопленных от дня перехода t_a через 0° до дня появления льда. Чем резче происходит понижение температуры воздуха после перехода через 0° и чем устойчивее это понижение, тем быстрее накопится необходимая для появления льда сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха. Эта связь очень простая, и прогноз первого появления льда по ней не нуждается ни в какой дополнительной информации, например в прогнозе температуры воздуха. Однако недостаток состоит в том, что эта связь не учитывает хода температуры воздуха после перехода ее через 0°. Это приводит к значительным ошибкам в прогнозе.

На рис. 44 показан ход температуры воздуха в ноябре—январе за два года. Из рисунка следует, что в 1965 г. температура воздуха перешла через 0° раньше (18 декабря), чем в 1966 г. (25 декабря), однако в связи с тем, что в 1966 г. температура воздуха после перехода через 0° понижалась более резко и более устойчиво, лед в этом году появился раньше (4 января), чем в 1965 г. (11 января). Таким образом, учет хода температуры воздуха может существенно улучшить качество прогноза.

Большое влияние на дату образования льда оказывает теплосодержание воды в день перехода температуры воздуха через 0°. Очевидно, что чем больше теплосодержание воды, тем позже (при прочих равных условиях) начнется ледообразование.

В период, предшествующий ледообразованию (когда море теряет тепло), тепловой баланс поверхности моря пропорционален разности температур воды и воздуха. Если учесть, что температура воды изменяется мало, то изменение теплового баланса определяется температурой воздуха. Таким образом, с достаточной для практики точностью можно принять, что условия, необходимые для ледообразования в мелководных, слабо стратифицированных районах моря, определяются суммой градусо-дней мороза $\sum(-t_a)$, которая накапливается от даты перехода температуры воздуха через 0° до появления льда. В свою очередь $\sum(-t_a)$ зависит от запаса тепла Q в рассматриваемом районе моря, а последний пропорционален температуре воды и глубине моря, т. е.

$$Q = cH\,(t_{w_0} - t_{w_з}), \qquad (66)$$

где t_{w_0} — температура воды в день перехода температуры воздуха через 0°; $t_{w_з}$ — температура замерзания воды.

Температура $t_{w_з}$ подвержена незначительным изменениям, поэтому можно записать

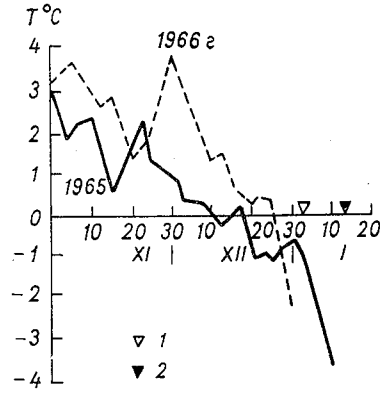


Рис. 44. Изменение среднесуточных температур воздуха с течением времени в 1965 и 1966 гг.

1 — дата образования льда в 1966 г., *2* — дата образования льда в 1965 г.

$$\sum(-t_a) = f\,(Q) = f\,(H,\ t_{w_0}). \qquad (67)$$

Таким образом, чем выше температура воды в момент перехода температуры воздуха через 0° и чем больше глубина моря, тем больше должна быть сумма отрицательных температур воздуха, чтобы началось ледообразование.

На рис. 45 *а* показана зависимость между суммой градусо-дней мороза и температурой воды для четырех пунктов, расположенных на Каспийском море, построенная Я. А. Тютневым. Наклон линий регрессии пропорционален глубине места в каждом пункте. Из рисунка следует, что чем меньше глубина моря, тем меньше нужна сумма градусо-дней мороза для появления льда, и наоборот.

Если температуру воды на графике заменить теплосодержанием с учетом глубины моря ($Q = cH$), то получается одна линейная зависимость общая для всех четырех пунктов (рис. 45 *б*).

Для прогнозов льда в Таганрогском заливе используются зависимости, построенные П. П. Никифоровым и О. Ю. Бирской на приближенном учете теплового баланса моря. Теплозапас моря

характеризуется температурой поверхности моря, а расход тепла через поверхность моря — температурой воздуха.

Уравнения, полученные Никифоровым и Бирской, имеют следующий вид:

для Таганрога

$$\sum(-t_a) = -1{,}6t_{w_0} - 2{,}2;$$

для Жданова

$$\sum(-t_a) = -2{,}5t_{w_0} - 2{,}5,$$

где t_{w_0} — температура воды в день устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°; $\sum(-t_a)$ — сумма градусо-

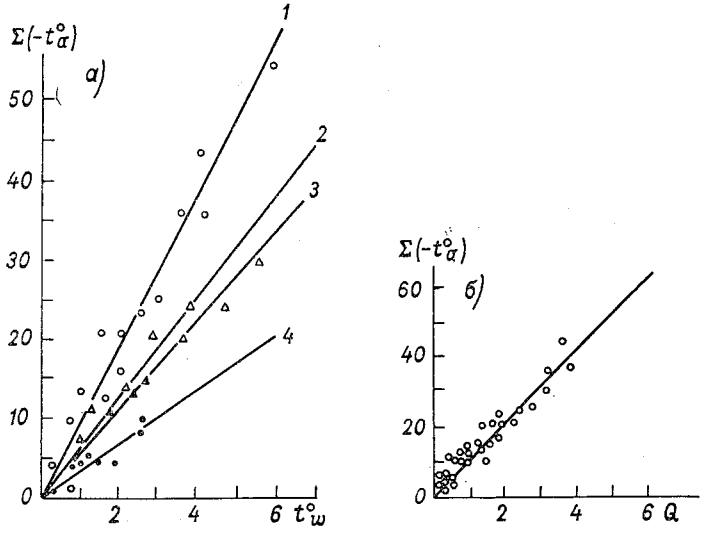


Рис. 45. Зависимость сумм отрицательных температур воздуха, необходимых для появления льда, от температуры воды t_w (*а*) и теплосодержания Q (*б*) в день перехода температуры воздуха через 0°.

1 — Астрахань, *2* — Гурьев, *3* — Зеленга, *4* — Оранжерейный промысел.

дней мороза, подсчитанная от даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0° до даты появления льда, с учетом оттепелей. Коэффициенты корреляции равны соответственно 0,90 и 0,95, а обеспеченность невыхода ошибки за пределы $\pm 0{,}67\sigma$ составляет 90—97%.

Прогноз сроков появления льда по прогнозу среднесуточных температур воздуха, данному на несколько дней, составляется следующим образом.

По графику (рис. 45 *а*) определяется, какая сумма градусо-дней мороза соответствует температуре воды, при которой произошел переход температуры воздуха через 0°, а по прогнозу среднесуточных

температур воздуха рассчитывается, к какому числу накопится соответствующая сумма отрицательных температур воздуха. Это число и принимается за дату появления льда.

§ 3. КРАТКОСРОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ ДАТ ПОЯВЛЕНИЯ ЛЬДА В ОТКРЫТОМ МОРЕ И ОБРАЗОВАНИЯ ЛЬДА ОПРЕДЕЛЕННОЙ ТОЛЩИНЫ

При прогнозах дат появления льда в прибрежных районах моря при условии мелководья, а также при температурной и солевой однородности воды от поверхности до дна температуру замерзания воды непосредственно можно не учитывать. В скрытом виде она учитывается эмпирическими коэффициентами, определяющими вид прогностической зависимости для данного района моря.

Совсем иначе обстоит дело при прогнозах дат появления льда в открытом море. Здесь температура замерзания воды (или ее показатель) является главным фактором, определяющим сроки ледообразования. Температура замерзания воды зависит от ее солености, а соленость в открытом море подвержена значительным изменениям как по вертикали, так и по горизонтали, что связано с интенсивным конвективным и ветровым перемешиванием и адвекцией.

В связи со значительной вертикальной неустойчивостью вод в период, предшествующий ледообразованию, достаточно незначительного изменения температуры или солености воды на поверхности моря, чтобы вызвать конвекцию. Например, достаточно увеличения солености на $0{,}01‰$ или уменьшения температуры воды на $0{,}01°$ С, чтобы началось перемешивание. Поэтому при прогнозе даты появления льда в районах открытого моря прежде всего необходимо определить температуру, при которой начнется ледообразование. Для этого приходится проделывать большую вычислительную работу, чтобы учесть процессы перемешивания, вызываемые зимним охлаждением поверхности моря. Для простоты вычислений предполагается, что температура и соленость изменяются по вертикали только за счет конвекции, т. е. отсутствует приток вод извне с другой температурой и соленостью.

Таким образом, задача прогноза состоит в расчете теплоотдачи с поверхности моря. При этом предполагается, что перемешивание происходит только за счет понижений температуры воды. Теплопотери рассчитываются ото дня ко дню до тех пор, пока разность между общей суммой потерь тепла и теплозапасом воды в начальный момент не станет равной нулю. День, когда эта разность становится равной нулю, и принимается за дату появления льда в рассматриваемом районе.

Для районов моря, для которых температура воздуха прибрежных станций является репрезентативной, можно использовать связи вида

$$\sum(-t_a)=f\,(H,\ t_{w\,\text{ср}}-t_{w_3}), \qquad (68)$$

где H — глубина наибольшего конвективного или ветрового перемешивания.

Метод Ю. П. Доронина и А. В. Сметанниковой для краткосрочного прогноза ледообразования и нарастания льда основан на известном положении о преобладающей роли конвекции в термическом и ледовом режимах моря. При этом учитывается влияние на конвективное перемешивание не только теплообмена верхних слоев моря с атмосферой, но и осолонение вод за счет испарения, ледообразования и адвекции. При расчете в качестве исходных данных принимается распределение температуры и солености воды по глубине, температура воздуха, радиационный баланс, скорость и направление ветра.

Применение метода Доронина и Сметанниковой ограничено пока отсутствием синхронных данных о термохалинной структуре вод арктических морей и другой информации, необходимых для прогноза начала ледообразования.

Детальный статистический анализ процессов ледообразования в арктических морях выполнил Б. А. Крутских. На обширном материале он установил основные закономерности ледообразования в арктических морях и получил типовые уравнения регрессии для пространственных рядов с целью прогноза сроков ледообразования в узлах сетки. Основными аргументами в этих уравнениях являются: теплообмен моря с атмосферой, средняя многолетняя толщина деятельного слоя моря, которая при наличии льда принимается равной нулю, сплоченность льда и др.

Аналогичный принцип положен Е. М. Гущенковым в основу прогноза сроков образования льда определенной толщины.

Процесс охлаждения моря происходит неравномерно во времени и связан с прохождением волн холода в осенний период. Ледообразование может наступить на первой, второй или третьей волне холода. Эти положения легли в основу метода прогноза ледообразования, разработанного А. Б. Савицким и Л. Г. Топорковым. Л. Г. Топорков показал, что время между прохождением волн холода и появлением льда составляет около 5 суток.

Метод прогноза начала устойчивого ледообразования, предложенный Топорковым, позволяет определять дату появления льда с заблаговременностью 4, 5 и 6 суток или утверждать, что на ближайшие 8, 10 и 12 суток ледообразования ожидать не следует. В основе метода лежат две установленные им особенности охлаждения вод осенью.

Одна особенность заключается в том, что ледообразование может произойти только в одну из дат вполне определенной для данной навигации последовательности дней наиболее вероятного ледообразования, отстоящих друг от друга на отрезки времени, равные 4, 5 или 6 суткам. Эти отрезки времени названы циклами охлаждения. Осенью в Арктике потери тепла водой определяются главным образом турбулентным теплообменом с атмосферой и испарением. В пределах каждого цикла охлаждения отчетливо проявляется максимум и минимум указанных потерь тепла. Даты, в которые отме-

чается максимум потерь тепла, и являются датами наиболее вероятного ледообразования. Определить их последовательность удается в августе.

Второй особенностью является отчетливая дискретность количеств потерь тепла за цикл охлаждения. Потери тепла за цикл охлаждения могут принимать значения, близкие к нулю, к некоторому характерному значению или к удвоенной (или утроенной) его величине. В большинстве случаев потери тепла за цикл охлаждения близки к наименьшей характерной величине, в первом приближении кратной характерной величине разности температур вода—воздух (около 3°).

Сопоставляя теплозапас воды слоя ветрового перемешивания в конце некоторого цикла охлаждения с характерной величиной потерь тепла водой, отнесенной к последующему циклу, можно определить, установится ли лед в конце следующего цикла. Если теплозапас воды больше, чем предполагаемые его потери, то в конце последующего цикла не следует ожидать ледообразования, и оно может начаться не ранее чем через два цикла. Оправдываемость прогноза значительно возрастает, если на основании синоптического прогноза можно установить, будет ли разность температур вода—воздух за последующий цикл близка к нулю, к характерной величине или к удвоенному (или утроенному) ее значению.

§ 4. КРАТКОСРОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ ВЕСЕННИХ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ

Если при разработке краткосрочных прогнозов осенних ледовых явлений существенное значение придавалось теплосодержанию моря, то при краткосрочных прогнозах весенних ледовых явлений решающим фактором является толщина льда. Чем больше толщина льда, тем большее количество тепла потребуется на его разрушение. Поэтому прогноз весенних ледовых явлений прямо или косвенно связан с прогнозом толщины льда. Значительное влияние на сроки разрушения льда оказывают также динамические факторы: ветер, течения и т. д. Роли ветра в процессе разрушения припая посвящено исследование Ю. В. Тарбеева. На рис. 46 показан график связи толщины льда со скоростью ветра, разрушающего припай. Этот график может быть использован для прогноза сроков разрушения припая с малой заблаговременностью, так как позволяет по толщине льда на любой период весны определить, какой силы должен быть ветер для того, чтобы припай данной толщины разрушился.

При построении прогностических зависимостей для прогноза весенних ледовых явлений в качестве аргументов используются даты перехода дневной температуры воздуха через 0°, максимальная толщина льда за зиму, сумма градусо-дней тепла за период от начала ледотаяния до момента вскрытия. В качестве показателя максимальной толщины льда берется сумма градусо-дней мороза за зиму.

Прогностические зависимости для прогноза вскрытия и очищения льда с учетом этих факторов были построены Е. М. Саускан для

районов Каспийского, Азовского и Черного морей. Сущность разработанной ею методики состоит в следующем.

Количество тепла, необходимое для полного разрушения льда, определялось по формуле

$$\Delta Q = 80\rho\,\Delta h, \tag{69}$$

где ΔQ — количество тепла в калориях, Δh — толщина льда в см, ρ — плотность льда.

По этой формуле, располагая данными о притоке тепла, нетрудно рассчитать количество дней, которое потребуется для полного исчезновения льда. Однако часто отсутствуют прогнозы гидрометеорологических элементов, необходимых для расчета составляющих теплового баланса. Поэтому количество тепла ΔQ заменяется суммой положительных температур воздуха $\sum(+t_a)$, полагая, что $\sum(+t_a)$ пропорционально притоку тепла на поверхность льда.

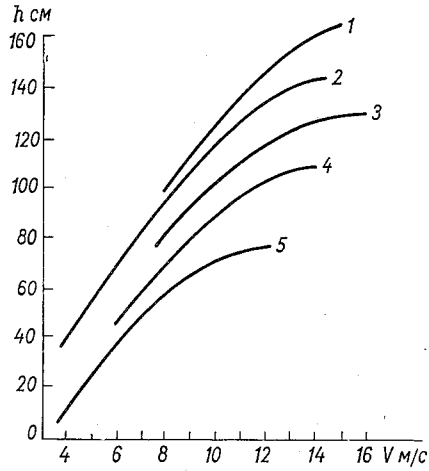


Рис. 46. Связь толщины припая h со скоростью ветра V, разрушающего припай.

1 — пролив Санникова, *2* — мыс Челюскин, *3* — мыс Биллингса, *4* — мыс Шмидта, *5* — мыс Стерлигова.

На рис. 47 показана связь сумм положительных температур воздуха и максимальной толщины льда для пяти пунктов. Из рисунка видно, что все линии связи имеют один и тот же наклон к оси абсцисс, в то время как отрезки отрицательных ординат, характеризующие свободный член, меняются от пункта к пункту. Это, вероятно обусловлено неодинаковым притоком тепла в пункты, расположенные в различных физико-географических условиях.

Однако если брать величины изменения сумм положительных температур ото дня ко дню и соответствующие им величины стаивания льда, то свободный член пропадает и связь может быть представлена в виде

$$\Delta\sum(+t_a) = 1{,}4\,\Delta h. \tag{70}$$

Решая совместно формулы (69) и (70), можно получить связь теплового баланса с суммой положительных температур:

$$\Delta Q = 53\,\Delta\sum(+t_a) \text{ при } \rho = 0{,}92. \tag{71}$$

Определим теперь зависимость количества тепла от суммы отрицательных температур воздуха, используя для этого связь между суммой градусо-дней мороза и толщиной льда:

$$\Delta\sum(-t_a) = 18\,\Delta h,$$

установленную Е. М. Саускан, и формулу (69). Решая их совместно, получим

$$\Delta Q = 4{,}1 \sum (-t_a). \qquad (72)$$

Очевидно, количество тепла, потерянное при образовании льда, должно быть равно количеству тепла, которое потребуется на разрушение того же объема льда. Тогда, приравняв правые части формул (71) и (72), получим

$$\Delta \sum (+t_a) = 0{,}08\, \Delta \sum (-t_a).$$

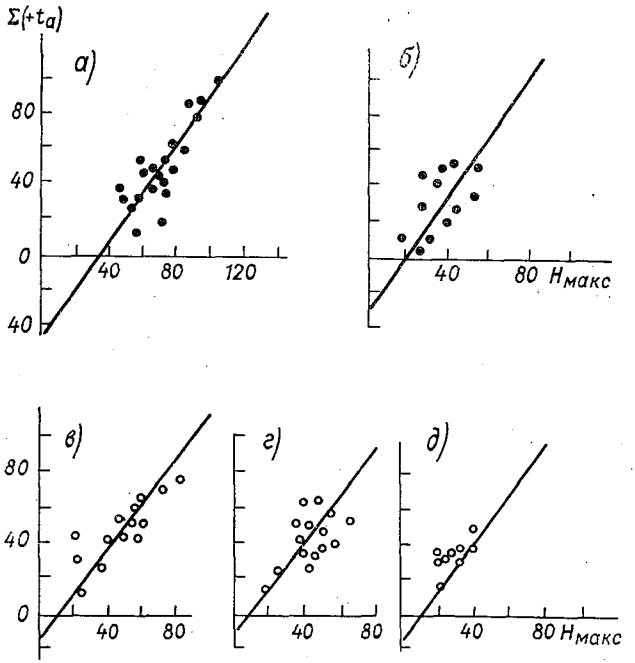


Рис. 47. Зависимость сумм положительных температур воздуха от максимальной толщины льда.

а — Гурьев, *б* — Астрахань, *в* — Таганрог, *г* — Ростов-на-Дону, *д* — Херсон.

Это равенство позволяет по сумме градусо-дней мороза за зиму найти сумму градусо-дней тепла, необходимую для полного разрушения льда, без использования данных о толщине льда.

Полученные эмпирические формулы применимы только для тех пунктов, для которых они построены. Чтобы использовать их для других пунктов, необходимо пересчитать коэффициенты пропорциональности.

§ 5. РАСЧЕТ И ПРОГНОЗ ТОЛЩИНЫ ЛЬДА

Увеличение толщины льда зависит от многих факторов: времени и характера установления ледостава, физико-географических и климатических условий моря, режима снежного покрова на льду,

метеорологических и актинометрических условий, притока тепла от воды. Все перечисленные факторы изменяются во времени и в пространстве. В результате этого нарастание льда происходит очень неравномерно, особенно в начальный период.

Существующие эмпирические и теоретические формулы позволяют с достаточной для практики точностью рассчитать толщину льда по температуре воздуха. Например, эмпирическая формула Н. Н. Зубова для расчета толщины льда имеет вид

$$h^2+50h=8\sum(-t_a), \tag{73}$$

где h — толщина льда в см, $\sum(-t_a)$ — сумма градусо-дней мороза.

В теоретической формуле А. П. Колесникова учитывается не только температура, но и высота снежного покрова на льду δ (в сантиметрах):

$$h^2+8{,}25\,\delta h=9\sum(-t_a). \tag{74}$$

Е. М. Саускан для расчета толщины льда в южных морях (Каспийское, Черное, Азовское) предложила следующую формулу:

$$\Delta h=\frac{\Delta\sum(-t_a)}{18}.$$

В связи со значительной временной изменчивостью теплообмена снежно-ледяного покрова с атмосферой целесообразно рассчитывать нарастание льда за определенные отрезки времени по методу шагов. Для расчета толщины льда таким методом удобно пользоваться формулой, записанной в дифференциальной форме:

$$\Delta h=\frac{a\,\Delta\sum(-t_a)}{h+\dfrac{b\,\delta}{\rho_0^2}}. \tag{75}$$

За начальное условие принимается толщина льда в день устойчивого ледостава, которая определяется либо по наблюдениям, либо расчетным путем. Для расчета необходимо иметь прогноз температуры воздуха и данные о высоте снежного покрова. К начальной толщине льда прибавляется рассчитанный по формуле прирост льда за первый шаг нарастания. С учетом уже новой толщины и нового прогноза температуры воздуха и данных о высоте снежного покрова находится прирост льда за второй шаг и т. д. Так расчет ведется ото дня ко дню или от декады к декаде в зависимости от того, какой интервал времени взят в качестве шага.

При разработке оперативных прогнозов толщины льда не всегда имеются данные о высоте и плотности снежного покрова на льду. В этих случаях снежный покров, как правило, не учитывается. Так, для расчета толщины льда на Азовском море Я. А. Тютнев исполь-

зовал формулу Н. Н. Зубова, уточнив по данным наблюдений в районе порта Жданов постоянные коэффициенты:

$$h=\sqrt{100+7\sum(-t_a)}-10, \tag{76}$$

или

$$\Delta h=\frac{3{,}0\,\Delta\sum(-t_a)}{h_0}, \tag{77}$$

где h — толщина льда в см, Δh — приращение толщины льда в см, h_0 — толщина льда в день расчета в см, $\sum(-t_a)$ и $\Delta\sum(-t_a)$ — сумма и приращение суммы градусо-дней мороза за период нарастания льда.

По формуле (77) был произведен расчет изменения толщины льда в Таганрогском заливе за ряд зим; ошибка в 88% случаев не превышала 5 см.

Большое значение для судоходства имеют прогнозы сроков наступления толщины льда 10, 20—25 и 50 см. Период времени наступления толщины льда 10, 20—25 см колеблется в очень больших пределах, особенно на неарктических морях. Так, например, на Азовском море в суровую зиму 1954 г. толщина ледяного покрова достигала 10 см в первой декаде ноября, а в мягкую зиму 1952 г. — лишь в первой декаде марта. Поэтому прогностические зависимости строились отдельно для мягких и суровых зим. Причем сумма градусо-дней мороза в первом случае бралась за более продолжительный период, чем во втором.

Для объективности были приняты следующие критерии: если сумма градусо-дней мороза за ноябрь—декабрь меньше 50°, то следует пользоваться зависимостью для мягкой зимы, если же она равна или превышает 50°, то следует пользоваться зависимостью для суровой зимы. Эти зависимости имеют вид:

$$D=42-0{,}16\sum_{XI}^{I}(-t_a),$$

$$D=67-0{,}15\sum_{XI}^{XII}(-t_a), \tag{78}$$

где $\sum_{XI}^{XII}(-t_a)$ — сумма градусо-дней мороза за ноябрь—декабрь, $\sum_{XI}^{I}(-t_a)$ — то же за ноябрь—январь.

Коэффициенты корреляции равны 0,88—0,89, обеспеченность невыхода ошибки за пределы ± 8 дней составляет 81%.

Прогностические зависимости для сроков наступления толщины льда 20—25 см, имеют следующий вид:

$$D = 90 - 0{,}92 \sum_{XI}^{II} (-t_a),$$

$$D = 52 - 0{,}15 \sum_{XI}^{XII} (-t_a). \qquad (79)$$

Коэффициенты корреляции равны 0,80—0,82, обеспеченность невыхода ошибки за пределы ±6 дней составляет 73 и 85%. При выборе зависимости для расчета сроков наступления толщины льда 20—25 см критерием служила сумма градусо-дней мороза в ноябре—декабре, равная 90°.

§ 6. О ПРОГНОЗЕ ДРЕЙФА ЛЬДОВ

Изучение и прогноз дрейфа льдов имеет важное значение для судоходства. Однако процесс дрейфа настолько сложен и подвержен воздействиям настолько многочисленных факторов, что до сих пор, несмотря на большое число теоретических и эмпирических исследований, его прогноз представляет большую трудность. Основными факторами, обусловливающими перенос и движение льдов, являются ветер и течения. Суммарный перенос льдов под воздействием этих факторов и называется дрейфом льдов. Основные правила дрейфа льдов сформулированы Нансеном во время дрейфа «Фрама» и Н. Н. Зубовым на основе результатов дрейфа ледокольного парохода «Седов».

В результате исключения действия постоянных течений Нансен установил следующие правила:

1) направление дрейфа льдов в Арктическом бассейне вдали от берегов над глубоким морем отклоняется от направления ветра приблизительно на 28°;

2) скорость чисто ветрового дрейфа примерно в 50 раз меньше скорости ветра, вызвавшего этот дрейф.

Н. Н. Зубов, исследуя движение льдов, внес следующие дополнения в правила Ф. Нансена:

1) дрейф льдов направлен вдоль изобар таким образом, что справа находится область повышенного давления, а слева — область пониженного давления;

2) скорость дрейфа пропорциональна градиенту атмосферного давления.

Простота расчета дрейфа льда по методу Н. Н. Зубова способствовала его широкому применению при разработке ледовых прогнозов для замерзающих морей и научно-оперативном обеспечении морских арктических операций.

Последующие исследования были направлены в основном на уточнение изобарических (или ветровых) коэффициентов и углов отклонения дрейфа льда от изобар.

В. Х. Буйницкий установил, что изобарический коэффициент и угол отклонения ветрового дрейфа льда от направления изобар меняются от сезона к сезону в связи с изменениями характера ледяного покрова. По П. А. Гордиенко, дрейф льда сплоченностью 1 балл происходит в 4 раза быстрее дрейфа льда сплоченностью 9 баллов, дрейф льда торосистостью 9 баллов почти в 10 раз быстрее дрейфа льда торосистостью 1 балл.

Е. Г. Никифоров рассмотрел влияние берега на дрейф льда. Летом, когда в ледяном покрове появляются значительные пространства свободной ото льда воды и образование нового льда прекращается, дрейф совершается лишь под воздействием ветра и течений в точке наблюдений. Однако вблизи берега при достаточно длительном дрейфе, имеющем составляющую, перпендикулярную линии берега, сплоченность льда постепенно будет увеличиваться и наконец достигнет такого предела, когда реакция берега на нажим льда будет передаваться посредством сил нормального давления внутрь области ледяного покрова, прилегающего к берегу. Следствием этого явится изменение скорости и направления дрейфа льда в указанной области — нормальная к берегу компонента дрейфа исчезает и лед начинает перемещаться только в направлении касательной к береговой черте.

Е. Г. Никифоров предложил формулы для расчета дрейфа льда вне зоны влияния берега, учитывающие только ветер и течение:

$$u = k\left(-\frac{\partial P}{\partial y} + \operatorname{tg}\alpha\,\frac{\partial P}{\partial x}\right),$$
$$v = k\left(\frac{\partial P}{\partial x} + \operatorname{tg}\alpha\,\frac{\partial P}{\partial y}\right), \qquad (80)$$

где α — угол отклонения дрейфа льда от направления изобар; P — атмосферное давление; u и v — компоненты скорости дрейфа; $k = a\frac{\partial P}{\partial n} + k_0$ — изобарический коэффициент дрейфа $\left(\frac{\partial P}{\partial n}\right.$ — градиент атмосферного давления в мб/км, a и k_0 — эмпирические параметры).

Для вычисления изменения сплоченности льда n при $0 < n < 10$ баллов можно воспользоваться уравнением

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\left(\frac{\partial n}{\partial x}\,u + \frac{\partial n}{\partial y}\,v\right). \qquad (81)$$

В зоне влияния берега следует принять, что при достижении сплоченности 10 баллов составляющая дрейфа в направлении к берегу пропадает, а в направлении же касательной к берегу она полностью сохраняется.

Алгоритм расчета дрейфа и перераспределения сплоченности льдов состоит из двух частей: аналитической и логической.

Последовательность вычислений следующая:

1) по заданной барике вычисляются компоненты скорости дрейфа u и v;

2) анализируется направление дрейфа относительно берега;

3) анализируется начальная сплоченность и устанавливается необходимость исправления компонент скорости дрейфа;

4) в случае необходимости исправляется скорость дрейфа;

5) по исправленному полю скоростей и начальной сплоченности рассчитывается прогнозируемая сплоченность льда;

6) рассчитываются траектории дрейфа льда.

Расчет ведется по квадратам сетки. Шаг сетки на контуре равен 100 км. Величины атмосферного давления снимаются с декадных синоптических карт в узлах более укрупненной сетки, шаг которой равен 200 км, а затем интерполируются в узлы мелкой сетки.

§ 7. ПРОГНОЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЬДОВ В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ

Одним из самых важных для мореплавания факторов, обусловливающих ледовый режим замерзающих морей и особенно морей Арктического бассейна, является распределение льдов. Чаще всего именно этот фактор определяет успешность морских операций в Арктике. Распределение льдов в свою очередь зависит от характеристик ветра, течений, таяния льда, очертания берегов, рельефа дна и других факторов.

Наибольшее влияние на изменение сплоченности льда оказывают ветровые потоки над акваторией моря и прилегающими к нему районами. Эти потоки обусловливают дрейф льдов, а последний определяет перераспределение льдов в навигационный период.

А. Л. Соколов и Ю. А. Горбунов в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (ААНИИ) разработали методику прогноза распределения льдов, в основу которой положили типизацию атмосферных процессов. Сопоставляя атмосферные процессы с данными ледовой разведки, они выделили шесть типов атмосферных процессов с определенным направлением воздушных потоков. Чтобы определить, каким образом реагирует ледяной покров на ту или иную ветровую ситуацию, использовались данные расчетов изобарического дрейфа. В результате статистической обработки этих расчетов и их сопоставления с различными типами атмосферных процессов были построены типовые карты-схемы, на которых четко проявляется общий характер дрейфа льдов при определенной ветровой ситуации.

Для учета локальных особенностей моря (конфигурация берега, глубина и т. д.), которые при определенных обстоятельствах существенно сказываются на изменении общей картины дрейфа, были определены углы отклонения фактического дрейфа от изобарического (на основании данных радиовех, ДАРМС, судов и т. п.) и поправочные коэффициенты, уточняющие расчеты изобарического дрейфа.

Чтобы учесть при прогнозе такие факторы, как таяние льдов и

течения, изучаемый район разбивался на квадраты, в центре которых с карт ледовых авиаразведок снимались величины смещения границ льда (в милях) от одной ледовой разведки к другой. При этом указывался период и направление смещения по одному из восьми румбов. Каждая снятая величина смещения сопоставлялась с данными изобарического дрейфа за этот же период в этом же квадрате. В тех случаях, когда направление смещения границы льда совпадало с направлением изобарического дрейфа, определялась разность между величинами фактического и изобарического смещения границ льда. Все собранные таким образом данные были обработаны и обобщены в виде схем преобладающего направления смещения при различных направлениях изобарического дрейфа и схем поправочных коэффициентов к величине изобарического смещения кромок и границ льда. В результате было составлено прогностическое пособие в виде атласов и схем.

Таким образом, путем введения дополнительных поправок в расчеты изобарического дрейфа можно прогнозировать распределение льдов на судоходной трассе с заблаговременностью до 10 дней.

Для составления прогноза сплоченности льдов необходимы следующие исходные материалы:

1) прогнозы погоды на 1, 3 и 8—10 суток;

2) обзорная карта фактического состояния льдов на день составления прогноза.

Техника составления прогноза сводится к следующему.

1. По прогностическим картам атмосферного давления определяют тип атмосферных процессов.

2. По типовой карте-схеме дрейфа определяют преобладающее направление перемещения льдов.

3. Сравнивая карту фактической ледовой обстановки с типовыми картами-схемами различных вариантов, подбирают наиболее близкий ей вариант. По найденной карте-схеме определяют возможные изменения распределения льдов, с которыми можно встретиться при данной фактической обстановке.

4. По прогностическим картам атмосферного давления рассчитывают дрейф льдов в стандартных точках. Затем, после введения соответствующих поправок исправленный дрейф наносят на карту. Положение границы сплоченных льдов на конец периода вычисляют либо по векторам дрейфа в стандартных точках, либо путем интерполяции.

5. Смещение кромок льда и границ ледяных массивов определяют также по прогностическим картам атмосферного давления с использованием схем преобладающих направлений смещения кромок льда и границ массивов при определенном направлении изобарического дрейфа и схем распределения поправочных коэффициентов.

6. Составляют прогноз и схематические карты ожидаемого распределения льда; на карты наносят положение ледяных массивов, зон разреженных льдов и чистой воды по градациям: чисто, 1—6 и 7—10 баллов.

ВОПРОСЫ

1. Какие виды краткосрочных ледовых прогнозов составляются?
2. Каковы физические основы краткосрочных ледовых прогнозов?
3. Какие факторы учитываются при прогнозе толщины льда?
4. В чем особенности методов прогноза ледовых условий в весенний и осенний периоды?
5. Каковы основные правила дрейфа льдов, сформулированные Нансеном и Зубовым?
6. Какие факторы учитываются при прогнозе распределения льдов?

Литература: [5, 15, 19, 25, 26, 27, 30, 51, 52, 64, 66, 71, 73].

ГЛАВА VII

ДОЛГОСРОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ И ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ

§ 1. ПРОГНОЗЫ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ

Изменения температуры воды в море связаны с величиной прихода и расхода тепла через поверхность моря и с количеством тепла, переносимого течениями из одного района в другой. Анализируя годовой ход составляющих теплового баланса, можно заметить, что в холодную часть года в море преобладает расход тепла над приходом за счет испарения и теплообмена. В теплую часть года наблюдается обратная картина. Наибольшее количество тепла от Солнца поглощается и сушей и океаном в теплую часть года. Что касается эффективного излучения, то в течение года оно изменяется незначительно. Таким образом, летом океан преимущественно накапливает тепло, а зимой расходует на испарение и турбулентный теплообмен. Вследствие этого летом тепловое взаимодействие океана и атмосферы проявляется слабо. С другой стороны, несомненно, что как изменения течений, так и колебания теплового баланса в течение года и от года к году обусловлены процессами, происходящими в атмосфере.

Н. А. Белинский, рассматривая изменения средних многолетних температур воздуха и воды в Атлантическом океане, пришел к выводу, что распределение температур воды и воздуха определяется влиянием материков, преобладающим западным переносом воздушных масс и большой теплоемкостью и турбулентной теплопроводностью воды.

Вследствие того что в средних широтах преобладает западный перенос воздушных масс, материки оказывают большое влияние на западные части океанов. Это влияние связано с достаточно резким различием температуры и влажности воздушных масс, формирующихся над океаном и материками.

Зимой с континента на западную часть океана приходит более охлажденный сухой воздух. Поэтому в западной части океана соз-

даются большие разности температур воды и воздуха, что приводит к усилению потерь тепла океаном через поверхность. По мере прохождения над океаном воздух трансформируется, вследствие чего в восточных районах разности температур воды и воздуха значительно уменьшаются и, естественно, потери тепла также уменьшаются. Поэтому температура воды в океане постепенно повышается с запада на восток.

Летом наблюдается иная картина. На океан поступает воздух теплее, чем водная поверхность. Благодаря большой теплоемкости и перемешиванию вод солнечное тепло, поглощаемое водной поверхностью, распределяется в сравнительно большой толще вод, а поэтому температура воды повышается медленно. По этой причине разности температур воды и воздуха оказываются отрицательными. Из-за того, что летом теплообмен между воздухом и океаном затруднен, а радиационный баланс поверхности моря от года к году меняется незначительно, аномалии температуры воды формируются главным образом под воздействием атмосферных процессов в холодную часть года.

Н. А. Белинский получил довольно высокие коэффициенты корреляции между интенсивностью циклонической и антициклонической деятельности над восточной частью Северной Америки и аномалиями температуры поверхности воды в ряде районов Северной Атлантики. Во всех рассмотренных районах усиление антициклонической циркуляции приводит к понижению температуры воды, а усиление циклонической деятельности — к ее повышению. При антициклонической циркуляции на океан приходит воздух, ранее располагавшийся над северными районами Америки, т. е. охлажденный и сухой, что должно увеличивать потери тепла океаном и приводить к образованию отрицательной аномалии температуры воды. При циклонической же циркуляции над западной частью Атлантического океана преобладают ветры с южной составляющей, следовательно, потери тепла поверхностным слоем океана уменьшаются и образуются положительные аномалии температуры воды.

Н. А. Белинским были построены зависимости для прогноза отклонений температуры воды от нормы на летний период, в которых в качестве аргументов были взяты интенсивность циклонической и антициклонической деятельности и температура воздуха за зиму.

Большие исследования по разработке долгосрочных прогнозов температуры воды были проведены А. И. Каракашем для Баренцева моря, М. Г. Глаголевой и др. для Татарского пролива, Ю. В. Истошиным и В. Ф. Шапкиной для Японского моря и М. Г. Глаголевой для Северной Атлантики.

А. И. Каракаш разработал прогностические зависимости, позволяющие в апреле давать прогнозы температуры воды по месяцам на всю теплую часть года в важнейших промысловых районах Баренцева моря. В основу зависимостей положен тот факт, что аномалии температуры воды в слое от 25 м до дна формируются в холодное время года. В теплое время года температура воды меняется в соответствии с годовым ходом, но знак и величина аномалии,

сложившейся в холодную часть года, остаются почти неизменными. Это происходит потому, что, как уже указывалось, тепловой баланс поверхности моря в теплую часть года колеблется из года в год в узких пределах и, кроме того, благодаря прослоенности летом перемешивание поверхностных вод с глубинными выражено слабо, а поэтому тепловые процессы, протекающие на поверхности моря, оказываются изолированными от нижележащих вод.

При построении прогностических зависимостей в качестве аргументов использовались интенсивность циклонической и антициклонической циркуляции (в индексах Белинского) как показатель количества тепла, приносимого в Баренцево море теплыми Атлантическими водами, и сумма средних месячных температур воздуха (о. Шпицберген), как показатель теплового баланса поверхности моря. В общем виде эти зависимости можно записать следующим образом:

$$t_w = f\left(\sum_{\text{IX–III}} t_a,\ I_{\text{IX–III}}\right), \qquad (82)$$

где t_w — среднемесячная температура воды, $\sum_{\text{IX–III}} t_a$ — сумма среднемесячной температуры воздуха за зиму, $I_{\text{IX–III}}$ — индекс атмосферной циркуляции по Северной Атлантике и Баренцеву морю за зиму (сентябрь—март).

Зависимости такого вида были построены для различных месяцев, слоев и разрезов Баренцева моря. Они позволяют прогнозировать среднемесячную температуру воды на срок от 3 до 7 месяцев с точностью 0,3—0,5° С.

Для построения зависимостей А. И. Каракаш обработал большой материал глубоководных наблюдений. В результате им впервые был составлен атлас средних многолетних значений температуры, солености и плотности воды.

В последние годы при разработке долгосрочных прогнозов температуры воды стали использовать метод разложения полей атмосферного давления в ряды по полиномам Чебышева или естественным составляющим. Коэффициенты разложения этих рядов используются в качестве аргументов при построении прогностических зависимостей и являются показателем интенсивности и направления воздушных потоков.

§ 2. ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ ПО ПЛОЩАДИ

Н. А. Белинский и А. И. Каракаш показали, что летние аномалии температуры воды на поверхности моря формируются в холодное время года, когда наблюдается наиболее интенсивный теплообмен между океаном и атмосферой. Вследствие этого температура воды в теплую часть года может быть рассчитана по значениям температуры к началу зимнего охлаждения и потерям тепла за зиму. Этот вывод был положен в основу метода долгосрочного прогноза распределения температуры воды по площади, разработан-

ного М. Г. Глаголевой. В качестве косвенного показателя потерь тепла с поверхности океана она использовала атмосферную циркуляцию.

Проводилось сопоставление полей атмосферного давления, взятых зимой, с полями распределения температуры воды в Северной Атлантике летом. Для этого указанные поля раскладывались в ряды по естественным составляющим. Предварительно были вычислены естественные составляющие аномалий среднемесячного давления над Северной Атлантикой и Северной Америкой по данным за 1931—1940 и 1958—1965 гг. и аномалий среднемесячной температуры воды поверхности океана по данным кораблей погоды за 1948—1967 гг.

По полученным естественным составляющим с помощью ЭВМ были рассчитаны коэффициенты разложения аномалий среднемесячного давления воздуха и аномалий среднемесячной температуры воды для всего имеющегося ряда лет. Затем для каждого коэффициента поля аномалий температуры воды методом множественной корреляции с помощью ЭВМ были получены уравнения вида

$$B_i(t^{\mathrm{VIII}}) = f[B_k(P^{\mathrm{I}}),\ B_i(t^{\mathrm{VI}})], \qquad (83)$$

где $B_i(t^{\mathrm{VIII}})$ — прогнозируемые коэффициенты разложения поля аномалий температуры воды в Северной Атлантике по данным кораблей погоды, $B_k(P^{\mathrm{I}})$ — коэффициенты разложения аномалий атмосферного давления в январе, $B_i(t^{\mathrm{VI}})$ — коэффициенты разложения поля аномалий температуры воды в июне.

§ 3. ДОЛГОСРОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ

Основы долгосрочных прогнозов ледовых условий заложены в трудах В. Ю. Визе, Н. Н. Зубова и В. В. Шулейкина. Ими были установлены главные факторы, формирующие ледовый режим морей. Так, Визе в 1923 г. указал на возможность долгосрочного прогноза ледовитости для арктических морей, в частности Баренцева, Гренландского, Карского и Восточно-Сибирского, на основании учета предшествующих прогнозу атмосферных процессов (давления и температуры воздуха), температуры воды вдоль Кольского меридиана и гидрологической инерции.

Н. Н. Зубов показал, что ледовитость Баренцева моря зависит от аномалий температуры воды, обусловленных влиянием атлантических вод. Количественные оценки влияния атлантических вод на арктические моря были получены В. В. Шулейкиным путем расчета теплового баланса Карского моря.

В дальнейшем исследования этих ученых были расширены и углублены на основе накопленных материалов наблюдений в морях Арктического бассейна и на неарктических морях в работах Д. Б. Карелина, М. М. Сомова, С. Д. Лаппо, Н. А. Белинского, А. И. Каракаша, А. Ф. Трешникова, П. А. Гордиенко, И. А. Волкова, Я. А. Тютнева и др. Все эти работы были направлены на установление эмпирических зависимостей между ледовыми явлениями и факторами, их обусловливающими.

В настоящее время исследования по прогнозам ледовых явлений ведутся по трем направлениям.

1. Установление несинхронных связей между ледовыми явлениями и отдельными гидрометеорологическими элементами, оказывающими воздействие (прямо или косвенно) на ледовый режим. Эти работы основаны на статистическом способе учета отклонений отдельных гидрометеорологических элементов от их средних значений за многолетний ряд наблюдений.

2. Выявление отдельных периодов в многолетнем ходе ледового режима.

3. Изучение тепловых процессов, происходящих в море, и расчет количества тепла по тепловому балансу. Это наиболее перспективный путь, но из-за недостаточно надежных долгосрочных прогнозов погоды он до сего времени не получил должного развития.

Основная идея возможности предсказания ледовых явлений на большой срок состоит в использовании преемственности атмосферных и гидрологических процессов. Наиболее отчетливо в синоптических процессах преемственность прослеживается от предзимья к зиме, что особенно важно для осенних ледовых прогнозов. Так, замечено, что меридиональным процессам в январе—феврале, обусловливающим частые вторжения холодного воздуха на Европейскую территорию СССР (ЕТС), предшествуют меридиональные процессы в октябре—ноябре.

Преемственность известна также и для процессов, обусловливающих теплые зимы на ЕТС.

Для учета типа атмосферной циркуляции над естественным синоптическим районом могут быть использованы как приземные синоптические карты, так и высотные карты барической топографии. Установлено, что теплым и холодным зимам на ЕТС соответствуют определенные высотные барические поля в предшествующие сезоны.

Например, для теплых зим на ЕТС в предзимье характерно наличие малоградиентного барического поля или слаборазвитой высотной ложбины на востоке Европы и слаборазвитого высотного гребня на западе. При такой синоптической ситуации происходит интенсивный вынос теплого воздуха с Атлантического океана на восток.

Хорошо развитые высотная ложбина над восточными районами Европы и высотный гребень над западными районами Европы или примыкающими к ней районами Атлантического океана обусловливают на ЕТС холодную зиму с преобладанием меридионального переноса в атмосфере.

В восточных районах СССР распределение давления зимой в известной мере зависит от поля давления осенью (в октябре). Для теплых зим характерно позднее развитие центров действия атмосферы, затоки теплого воздуха с Тихого океана. Перед холодными зимами обычно преобладают холодные северные потоки в октябре.

Помимо преемственности процессов, при разработке методов ледовых прогнозов используются следующие закономерности:

1) свойство инерции процессов;

2) сходство явлений после определенных ситуаций (принцип аналогичности);

3) тенденция в развитии явлений, свойство воды и воздуха переносить различные аномалии.

Инерция, в частности, широко используется при прогнозах толщины льда и ледовитости.

В зависимости от вида прогноза, определяемого сезоном, изменяются аргументирующие факторы, входящие в прогностические уравнения. Осенние процессы определяются теплонакоплением в весенне-летний период, обусловливающим нагревание вод, и теплоотдачей моря в осеннее время, обусловливающей охлаждение вод. Для весенних ледовых явлений показателями служат накопление льда к концу зимы и интенсивность процессов в атмосфере, связанная с поступлением солнечного тепла.

Прогнозы толщины льда основаны на учете нарастания сумм отрицательных температур воздуха, а прогнозы дрейфа льдов — на учете изменения скорости ветра и течений. Таким образом, выбор аргументирующих факторов в конечном счете сводится к учету динамического и теплового состояния атмосферы, моря и самого ледяного покрова.

Долгосрочные прогнозы осенних ледовых явлений. Непосредственными факторами, определяющими сроки ледообразования, являются максимальное теплосодержание вод, формирующееся в период летнего нагревания моря, и интенсивность охлаждения в период, предшествующий началу ледообразования. В связи с тем, что фактических данных, необходимых для расчета теплонакопления и теплопотерь, пока еще недостаточно, при разработке прогнозов их обычно выражают косвенно через температуру воздуха, индексы атмосферной циркуляции и т. д. Ю. П. Доронин и А. В. Сметанникова разработали также и численные методы прогноза осенних ледовых явлений, основанные на расчетах по уравнениям теплового баланса. Однако из-за отсутствия надежных долгосрочных прогнозов погоды эти методы не получили должного развития.

Применяемые в оперативной работе эмпирические методы прогноза основаны на статистической обработке материалов наблюдений и установлении асинхронных связей между сроками начала ледообразования и гидрометеорологическими элементами. Характер этих связей зависит от особенностей атмосферных процессов над морем и за его пределами, а также от физико-географических и климатических особенностей моря. При этом существенную роль играет межгодовая изменчивость наступления сроков начала ледообразования. В одних морях (например Черное, Азовское) она больше, в других (например, Белое) — меньше. Так, на Черном и Азовском морях бывают годы без появления устойчивого льда. С другой стороны, в арктических морях не вся площадь моря освобождается ото льда (эта площадь в одни годы больше, в другие меньше), что связано с характером атмосферных процессов, способствующих проникновению теплых атлантических вод в эти

районы. В связи с этим существенно изменяется характер теплообмена и величина максимального теплосодержания вод, что в конечном счете сказывается на сроках начала ледообразования.

Большую роль играет также перераспределение льда в результате дрейфа.

На дальневосточных морях существенную роль в процессах ледообразования играет муссонная циркуляция и наличие мощных течений.

В большинстве прогностических зависимостей в качестве показателей, определяющих сроки появления льда, используются предшествующая среднемесячная температура воздуха и предшествующие атмосферные процессы. Показателями атмосферных процессов служат либо индексы циркуляции Белинского или Каца, либо коэффициенты разложения полей атмосферного давления по полиномам Чебышева или естественным составляющим.

В общем виде указанные связи можно записать так:

$$D_{\text{п. л}}=f(A,\ t_a), \tag{84}$$

где A — показатель атмосферной циркуляции, t_a — температура воздуха.

Долгосрочным прогнозам ледовых явлений посвящены работы ряда авторов. Так, И. А. Бенашвили и Ю. В. Истошин при построении прогностических зависимостей важное значение придавали муссонной циркуляции и термическому состоянию водных масс. Интенсивность муссонной циркуляции Бенашвили выражал косвенно — через разность среднемесячных температур воздуха на континенте (Якутск) и на побережье (Владивосток). Термическое состояние водных масс определялось их теплонакоплением в Татарском проливе за период май—август, а также разностью среднемесячных температур воды в августе.

В качестве характеристики муссонной циркуляции Истошин использовал теплосодержание Цусимского течения за четыре летних месяца (май—август). При этом он установил, что сроки наступления ледовых фаз в лимане р. Амура находятся в обратной зависимости от величины теплосодержания Цусимского течения (чем выше теплосодержание, тем раньше начинается ледообразование). Причина такой связи состоит в том, что более высокие температуры вод океана способствуют ранней смене муссонной циркуляции. В качестве второй переменной, характеризующей интенсивность осеннего выхолаживания материка, брались сроки перехода температуры воздуха через 0° или среднемесячная температура воздуха в сентябре в Якутске. При этом чем раньше произойдет переход температуры воздуха через 0° и чем ниже будет среднемесячная температура воздуха в Якутске, тем суровее должна быть зима и тем раньше начнется ледообразование в лимане Амура. Недостатком этого метода является малый ряд наблюдений (8—12 лет), использованный для получения прогностических зависимостей.

Я. А. Тютнев при построении прогностических зависимостей для Японского моря в качестве аргумента брал индекс атмосферной цир-

куляции по Белинскому и среднемесячную температуру воздуха, косвенно характеризующую интенсивность муссонной циркуляции и время смены муссонов. Для девяти пунктов Японского моря Тютнев построил зависимости для прогноза сроков появления льда с заблаговременностью 23—50 дней. При этом прогнозы сроков появления льда 1 балл и более составлялись в октябре—ноябре, а 8 баллов и более — в ноябре—декабре.

А. И. Каракаш для прогноза сроков появления льда в отдельных пунктах Баренцева моря использовал зависимости вида

$$D_{\text{п. л}}=f(\bar{t}_a,\ I), \tag{85}$$

где $\bar{t}_a$ — среднемесячная температура воздуха, I — индекс атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой (первый район).

Для прогноза сроков полного замерзания использовались зависимости вида

$$D_{\text{п. з}}=f(\Gamma,\ I_{Az}), \tag{86}$$

где Г — тенденция температуры воздуха, I_{Az} — индекс антициклонической циркуляции в том же районе.

Прогнозы ледовитости. Одним из главных показателей ледового режима моря является ледовитость, которая определяется, как правило, в процентах покрытия льдом акватории моря или какой-то ее части. Ледовитость морей обусловливает характер почти всех ледовых процессов (положение кромки льда, толщина льда, продолжительность ледового периода и т. д.), в связи с чем предсказание ее является одной из важных и вместе с тем трудных задач.

Неоднократно предпринимались попытки установить связь ледовитости морей с солнечной активностью. В. Ю. Визе установил наличие такой связи, но она оказалась непостоянной (связь была обратной с 1896 по 1912 г., прямой — с 1913 по 1935 г., а затем снова стала обратной). В. Ю. Визе объясняет это тем, что колебания солнечной активности влияют на интенсивность атмосферной циркуляции, а не на ее тип.

Более детально этот вопрос исследовал И. М. Соскин. Он также пришел к выводу, что солнечное воздействие на гидросферу осуществляется не непосредственно, а через атмосферную циркуляцию. Вместе с тем связи, основанные на учете солнечной активности, не могут быть использованы для прогнозов, так как они ухудшаются при увеличении рядов наблюдений.

Наибольшее применение в оперативной практике получили методы долгосрочного прогноза ледовитости, основанные на учете атмосферной циркуляции. В качестве показателей атмосферной циркуляции используются градиенты давления, индексы циркуляции и др.

В. Ю. Визе прогноз ледовитости в северо-восточной части Карского моря в августе строил на учете предшествующих дрейфов льда — местного северного в самом Карском море и общего запад-

ного в Арктическом бассейне. В качестве показателя атмосферной циркуляции он использовал градиенты давления.

Сопоставляя градиенты давления за зимние (ноябрь—март) и весенние (апрель—июнь) месяцы с последующей ледовитостью в августе, Визе обнаружил, что знак этой связи изменяется от зимы к весне. В весенний период чем больше разность давления, тем интенсивнее дрейф и тем меньше ледовитость. Однако зимой эта связь становится прямой — чем сильнее дрейф льда из Карского моря, тем больше ледовитость в следующее лето. Это объясняется тем, что лед практически не выносится из Карского моря, а концентрируется на его границе. С другой стороны, на освободившихся ото льда участках моря появляется молодой лед, который также выносится. Таким образом, процесс повторяется неоднократно. В результате количество льда увеличивается. Весной такой картины не наблюдается.

На основании проведенных исследований В. Ю. Визе построил уравнения для прогноза ледовитости в северо-восточной части Карского моря в августе в зависимости от широтного и меридионального градиентов давления. Д. В. Карелин с учетом этих же факторов построил уравнения для прогноза ледовитости в море Лаптевых, В. Ю. Визе и И. Г. Овчинников — в Баренцевом море.

При разработке прогнозов ледовитости на неарктических морях в качестве основных аргументов используются поля атмосферного давления, температура воздуха и температура воды, а также предшествующая ледовитость.

А. И. Каракаш при установлении зависимостей для прогноза ледовитости использует следующие данные:

1) среднюю месячную ледовитость (в %) (величины изменения от года к году);

2) коэффициенты разложения приземного барического поля за январь—март (аномалии или величины изменения от года к году);

3) среднюю месячную температуру воздуха над морем в январе—феврале (аномалии);

4) температуру 200-метрового слоя воды на Кольском меридиане (как показатель теплового состояния атлантических вод) в феврале (величины изменения от года к году).

Для дальневосточных морей температура воздуха над морем заменена коэффициентами разложения температурного поля в феврале.

Таким образом, уравнения для предсказания ледовитости того или иного моря имеют вид

$$S=f(A_{ij},\ t_a,\ t_w). \qquad (87)$$

Уравнения составлены для прогноза среднемесячной ледовитости и средней за зиму ледовитости по всем неарктическим морям.

При наличии прогноза ледовитости можно составить прогноз положения кромки льда по заранее установленной связи

$$L=f(S) \quad (r=-0{,}80,\ -0{,}90).$$

Зная положение кромки льда, можно определить протяженность ледовой трассы, а располагая прогнозом температуры воздуха над морем (на зиму) и ледовитости, можно дать прогноз толщины льда и продолжительности ледового периода.

С. И. Кан и Я. А. Тютнев исследовали влияние температурного поля океана на ледовитость Азовского и Каспийского морей. Они получили достаточно тесную связь между средней ледовитостью на Азовском и Каспийском морях в январе—феврале и суммой аномалий температуры воды в августе, по данным кораблей погоды A, B, C, D, E, M в Атлантическом океане. Эта связь имеет следующий вид:

$$S_1 = -13{,}5 \sum \Delta t_w + 54,$$
$$S_2 = -2{,}5 \sum \Delta t_w + 78, \qquad (88)$$

где S_1 и S_2 — средняя ледовитость на Азовском и Каспийском морях, $\sum \Delta t_w$ — сумма аномалий температуры воды. Коэффициенты корреляции составляют 0,78 и 0,74.

Зависимость аналогичного вида была получена для прогноза ледовитости в Охотском море:

$$S_{XII} = -6{,}64A_{00} - 20{,}2A_{10} - 35{,}62A_{20} + 21{,}58, \qquad (89)$$

где S_{XII} — ледовитость Охотского моря в декабре (в %); A_{00}, A_{10}, A_{20} — коэффициенты разложения поля температуры воды в августе по полиномам Чебышева. Общий коэффициент корреляции R равен 0,74, обеспеченность невыхода ошибок за пределы 0,67 σ равна 88%.

Таким образом, по распределению температуры воды в океане уже в августе можно судить о том, какая будет ледовитость моря в начале или середине зимы.

Прогнозы весенних ледовых явлений. Весенние ледовые явления (таяние льдов, вскрытие и окончательное очищение моря ото льда) в отличие от осенних наступают дружнее. Для весенних ледовых явлений наиболее важными факторами являются толщина льда на конец зимы, сроки начала таяния его весной, ледовитость, скорость стаивания и интенсивность весенних процессов в атмосфере, связанных с увеличением поступления солнечного тепла.

В. В. Тимонов и К. И. Кудрявая при разработке прогнозов весенних ледовых явлений на Белом море исследовали несколько типов связей. Они получили достаточно тесную связь между аномалиями сроков очищения моря ото льда и аномалиями ледовитости в марте.

Первым весенним месяцем, в котором происходит заметное повышение температуры воздуха и уменьшение ледовитости, является апрель. Построенная связь между аномалиями температуры воздуха в апреле и аномалиями сроков очищения Белого моря ото льда также оказалась достаточно высокой. Поскольку очищение Белого моря ото льда происходит в мае—июне и только в отдельные годы в конце апреля, то оказалось возможным построить связь

мартовской аномалии ледовитости и апрельской аномалии температуры воздуха с аномалиями сроков очищения Белого моря ото льда.

В. В. Тимонов и К. И. Кудрявая установили также связь между сроками очищения Белого моря ото льда и переносом воздушных масс над морем в марте. На основании обобщения этих связей они разработали прогностические зависимости типа:

$$\Delta D = a\,\Delta V_{\text{III}}^{\text{WE}} + b\,\Delta V_{\text{III}}^{\text{NS}} + c\,\Delta t_a^{\text{III}},$$

$$\Delta D = a'\Delta t_a^{\text{IV}} + b'\Delta I^{\text{IV}} + c'\Delta V_{\text{III}}, \qquad (90)$$

где ΔD — аномалии сроков очищения Белого моря ото льда; ΔV_{III} — перенос воздушных масс в меридиональном (NS) и широтном направлениях (WE) в марте; Δt_a^{III} и Δt_a^{IV} — аномалии температуры воздуха в марте и апреле.

А. И. Каракаш показал, что осенне-зимняя температура воздуха в районе о. Шпицберген характеризует весенне-летний режим температуры воды и воздуха в Баренцевом и Белом морях. Это позволило с большой заблаговременностью составлять прогнозы весенних ледовых явлений по указанным морям, а также прогнозы ледовитости и положения кромки льда в Баренцевом море. При построении прогностических зависимостей сроков окончательного очищения ото льда Каракаш использовал температуру воздуха и индекс циклонической и антициклонической деятельности.

Я. И. Тютнев при разработке зависимостей для долгосрочного прогноза сроков весенних ледовых явлений для большого числа пунктов Японского моря в качестве аргументов использовал запас льда к концу зимы и интенсивность атмосферной циркуляции за зимне-весенний период. В качестве характеристики запаса льда в море он брал сумму среднемесячных температур воздуха за зимний период. Интенсивность атмосферной циркуляции учитывалась индексами Белинского (в 9, 14, 15 и 16-м естественных синоптических районах). Я. А. Тютнев получил следующие зависимости для прогнозов сроков разрушения неподвижного льда сплоченностью 7 баллов и более и очищения ото льда, составляемых в марте для Владивостока:

$$D_{\text{р}} = -35{,}7 - 0{,}9t_{\text{Вл}}^{\text{XI–II}} - 0{,}011I_{9+16}^{\text{II}} \quad \text{(разрушение льда)},$$

$$D_0 = 13{,}6 - 0{,}36t_{\text{Вл}}^{\text{XI–II}} - 0{,}0038I_{9-16}^{\text{I–II}} \quad \text{(очищение ото льда)}, \qquad (91)$$

где $t_{\text{Вл}}$ — среднемесячная температура воздуха во Владивостоке, I_{9+16}^{II} — сумма индексов антициклонической и циклонической циркуляции в 9-м и 16-м районах. Заблаговременность прогнозов 21—47 дней при обеспеченности не менее 80%.

Е. М. Саускан при разработке прогнозов весенних ледовых явлений в Беринговом море также использовала в качестве аргументов температуру воздуха на о. Беринга, индексы циклонической и антициклонической циркуляции и для некоторых пунктов темпера-

туру воды. Например, для Авачикской губы Саускан получила следующую зависимость:

$$D_0 = 0{,}16 I^{\text{X–II}}_{192–194} - 2{,}27 t^{\text{I–II}}_{\text{Б}} - 17{,}8, \qquad (92)$$

где $I^{\text{X–II}}_{192–194}$ — сумма индексов атмосферной циркуляции за октябрь—февраль; $t^{\text{I–II}}_{\text{Б}}$ — сумма среднемесячных температур воздуха на о. Беринга. Заблаговременность прогноза по этой зависимости составляет два месяца при обеспеченности 81%.

ВОПРОСЫ

1. На чем основывается метод долгосрочного прогноза распределения температуры воды по площади?
2. Какие закономерности положены в основу долгосрочных ледовых прогнозов?
3. Какие существуют подходы при прогнозе ледовитости моря?

Литература: [5, 8, 16, 21, 22, 23, 27, 38, 39, 40, 41, 45, 59, 68, 69, 70, 72, 74].

ГЛАВА VIII

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ КУРСЫ ПЛАВАНИЯ СУДОВ В ОКЕАНЕ

§ 1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Экономика морских перевозок в значительной степени зависит от гидрометеорологических условий. Штормы и ураганы, волны и течения, льды и туманы оказывают значительное сопротивление движению судна, что приводит к непроизводительным затратам времени. Выбор наивыгоднейших курсов плавания судов с учетом текущих и ожидаемых гидрометеорологических условий на переходе является одним из резервов увеличения рейсооборачиваемости судов, а следовательно, и повышения экономичности морского и рыбопромыслового флотов.

Идея выбора наивыгоднейших путей плавания с учетом погоды не нова.

Более ста лет назад было показано, какую огромную пользу для мореплавания приносят карты распределения гидрометеорологических элементов в океанах. Построенные на основании судовых наблюдений, карты ветров и течений позволили определить наиболее благоприятные пути плавания. Капитаны парусных судов, использовавшие эти карты, сокращали сроки перехода через океаны почти вдвое.

Однако и в настоящее время актуальность проблемы не снизилась, а, наоборот, возросла. Сегодня наряду с безопасностью плавания на первый план выдвигается экономичность морских перевозок, так как в современных условиях каждый час задержки в пути несет большие финансовые потери. Сейчас на суда поступает

большой поток гидрометеорологической информации. Из этого огромного потока, по-видимому, эффективно используется судоводителями только незначительная часть и то главным образом в тех случаях, когда суда оказываются в сложных гидрометеорологических условиях. На судне практически невозможно обработать и проанализировать всю информацию и извлечь из нее максимальную пользу. Положение несколько улучшилось с появлением на судах радиофаксимильной аппаратуры для приема текущих и прогностических карт погоды. Однако не на всех судах имеется такая аппаратура. Поэтому еще многие капитаны прокладывают курсы по кратчайшим или стандартным путям. Стандартные пути разработаны на основе средних статистических данных о погоде и помещены в пособии «Океанские пути мира». Вместе с тем совершенно очевидно, что плавание стандартными путями мало эффективно, так как погода непрерывно меняется, и путь следования, благоприятный сегодня, может завтра оказаться неблагоприятным. При обходе судном штормовых районов путь его удлиняется, но само плавание оказывается более безопасным и экономичным.

Состояние поверхности океана является важным фактором в эксплуатации судов. Большое волнение, например, может повредить судно, а из-за неблагоприятного направления волн может произойти значительная потеря скорости хода.

Прогнозы волнения позволили проводить суда экономически выгодными и безопасными курсами плавания.

В данной главе излагаются основные принципы, на которых основаны расчеты наивыгоднейших курсов плавания судов в океане.

§ 2. ОСНОВЫ ВЫБОРА РЕКОМЕНДУЕМЫХ КУРСОВ ПЛАВАНИЯ

При расчете рекомендуемого курса должен быть выбран критерий оптимальности, которым может быть минимальная затрата времени на переход при обеспечении безопасности плавания, экономия топлива, выдерживание заданной скорости и т. д. Выбор того или иного критерия определяется требованиями, предъявляемыми к конкретному рейсу. Практически в рейсе может быть удовлетворено одновременно несколько критериев, если они не противоречат друг другу.

Для расчета рекомендуемого курса необходимо иметь график потерь скорости хода судов, прогностические карты волнения и другие вспомогательные материалы (атласы, лоции и пр.).

Существующая практика выбора рекомендуемых курсов плавания, принятая как в СССР, так и за рубежом (США, Голландия, ФРГ), основана на комбинированном применении трехсуточных прогнозов погоды и волнения, климатических данных, краткосрочных прогнозов погоды и волнения (на сутки) и текущих условий погоды. Основные принципы выбора наивыгоднейших курсов плавания состоят в следующем. Курс рассчитывается графическим методом или на ЭВМ на основе прогностических карт волнения по дням (до трех дней) с учетом потерь скорости хода судна за счет волне-

ния, которые определяются по графикам, составленным для различных типов судов. Путь за пределами трехсуточного прогноза выбирается исходя из анализа либо климатических и режимных данных, либо полумесячных прогнозов погоды. Затем вводятся поправки, учитывающие течения, туманы, айсберги. Определенный таким образом рекомендуемый курс плавания ежедневно проверяется по последним данным о погоде и волнении и по краткосрочным прогнозам погоды и волнения, а при необходимости уточняется.

Если судну угрожает встреча с неблагоприятными условиями погоды, немедленно даются рекомендации об изменении курса с указанием причины отклонения.

В тех случаях, когда для данного типа судна отсутствует график потерь скорости хода в зависимости от высоты волн и направления их распространения, для приближенных расчетов можно воспользоваться графиком для другого типа судна, имеющего примерно такие же тактико-технические данные (техническая скорость, размеры и пр.). Если же невозможно подобрать и такой график, то выбор рекомендуемого пути осуществляется следующим образом. Изучается фактическая и ожидаемая погода и волнение вдоль локсодромии (путь при постоянном курсе), дуги большого круга (кратчайшее расстояние между двумя пунктами) и климатического пути. Для этого на последовательных прогностических картах волнения отмечается возможное положение судна вдоль каждого из названных путей, исходя из фактической скорости судна. По истечении одного-двух дней появляется возможность более точно рассчитывать курс судна, учитывая его фактические потери в первые два дня путем сопоставления фактического и рассчитанного положения судна.

После того как на картах отмечены точки возможного положения судна, оцениваются условия погоды вдоль каждого пути и решается вопрос, какой из трех путей предпочтительнее принять в качестве основы для расчета рекомендуемого курса. Очевидно, это будет тот путь, на котором судно пройдет большее расстояние. В практике выбора рекомендуемых путей часто встречается такая ситуация, когда на одном из курсов (например, на дуге большого круга) вначале погода благоприятствует плаванию, а дальше ожидаются штормовые ветры и сильное волнение, в то время как на другом курсе (например, климатическом) погода только вначале неблагоприятная. В этих случаях ищут компромиссное решение и выбирают рекомендуемый курс между этими путями.

§ 3. РАСЧЕТ ПОТЕРЬ СКОРОСТИ ХОДА СУДНА

Скорость хода судна является функцией большого числа переменных. В общем виде эту зависимость можно выразить так:

$$V = f(X, Y, Z, U),$$

где V — скорость судна, X — гидрометеорологические факторы (ветер, волнение, туман, течения и т. д.), Y — тактико-технические данные судна (размеры судна, водоизмещение, осадка, скорость и т. д.),

Z — загрузка (полностью или частично загружен, наличие палубного груза, размещение груза, вид груза и т. д.), U — аэродинамические силы, возникающие в воде при движении судна (сопротивление воды, сопротивление, обусловленное трением, волновое и вихревое сопротивление и т. д.).

Аналитическое выражение для такой зависимости теоретически получить трудно. Поэтому в практической работе при расчете рекомендуемых курсов используются эмпирические зависимости, которые косвенно учитывают эти факторы.

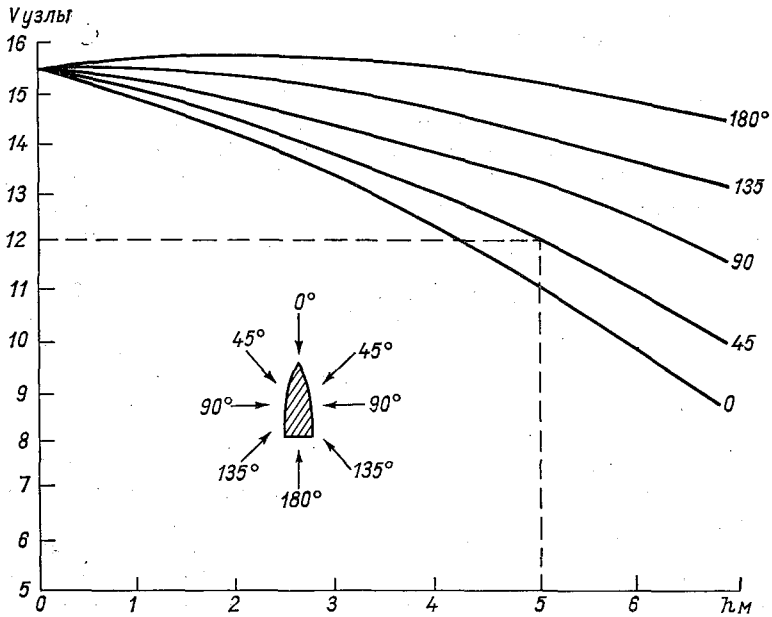


Рис. 48. Зависимость скорости хода V судов типа «Архангельск» от высоты волны h и от курсового угла q.

Из перечисленных факторов наибольшее воздействие на судно оказывает волнение, а точнее, высота волны и направление ее распространения относительно курса судна. Для построения эмпирических зависимостей потерь скорости хода судна на волнении используются данные вахтенных журналов для определенных типов судов: скорость судна по лагу и элементы волн, в частности высота волны.

Волнение классифицируется следующим образом: встречное, бортовое, попутное, встречно-бортовое и попутно-бортовое. Затем по методу наименьших квадратов вычисляются уравнения для выбранных курсовых углов.

На рис. 48 приведена зависимость скорости хода судна типа «Архангельск» от высоты волны при различных курсовых углах. Расчетная формула имеет следующий вид:

$$V = 15{,}5 - (0{,}61h + 0{,}05h^2) + 0{,}26qh, \qquad (93)$$

где V — рассчитанная скорость судна, q — угол между курсом судна и направлением распространения волн (курсовой угол), h — высота волны.

Пример. По графику (рис. 48) определить скорость судна при заданных высоте волны и направлении ее распространения.

Известно, что скорость судна типа «Архангельск» на спокойной воде составляет 15,5 узла; высота волны 5 м, а направление распространения 45°, истинный курс судна 90°. Тогда курсовой угол будет составлять 45°.

При курсовом угле 45° и высоте волны 5 м скорость хода судна типа «Архангельск» будет составлять 12 узлов.

Следует отметить, что по таким графикам можно надежно рассчитывать потери скорости хода судна только при высотах волн до 6 м. При волнах выше 6 м, как правило, следует преднамеренно снизить скорость судна, с тем чтобы уменьшить качку и силу ударов судна о волны. Преднамеренное снижение скорости определяется также мореходными качествами судна. Кроме того, оно обусловливается наличием туманов, айсбергов, большим скоплением судов по курсу плавания и т. д.

Описанные выше зависимости характеризуют только потери скорости хода судна. Вместе с тем сильная качка ведет к дополнительному снижению скорости, а также сказывается на безопасности судна и грузов. Поэтому при опасной качке следует изменять курс судна.

§ 4. МЕТОДЫ РАСЧЕТА РЕКОМЕНДУЕМЫХ КУРСОВ

Численный метод расчета. Алгоритм расчета наивыгоднейшего курса был разработан в Вычислительном центре Академии наук СССР, а впоследствии усовершенствован в Гидрометцентре СССР. Программа счета, составленная на основе этого алгоритма, позволяет рассчитывать наивыгоднейшие курсы плавания по критерию наименьшей затраты времени на переход. Программа позволяет также в случае необходимости обходить области сильного волнения, представляющие опасность для судна и грузов.

В основу алгоритма положены уравнения движения судна с учетом волнения и течения:

$$\frac{dx}{dt} = V \sin \psi + V_т \sin \psi_т,$$

$$\frac{dy}{dt} = V \cos \psi + V_т \cos \psi_т, \qquad (94)$$

где x, y — декартовы координаты, ψ — курс судна, $\psi_т$ — направление течения, $V_т$ — скорость течения, V — скорость хода судна, рассчитанная по уравнению для данного типа судна.

На рис. 49 показана схема численного расчета оптимального пути. Данные прогноза волнения фиксируются в узлах координатной сетки и затем интерполируются в любую точку. Прогностические

карты волнения сменяются через 6 часов. Поле течения принимается неизменным (статическим) в течение всего рейса.

Сначала подготавливается сетка, в пределах которой ведется расчет наивыгоднейшего пути. Для этого начальный (P_0) и конечный (P_N) пункты плавания соединяют дугой большого круга (ДБК), представляющей кратчайшее расстояние между пунктами. Таким образом, расчет ведется относительно ДБК. Есть все основания считать, что если бы не было волнения и течений, оптимальный путь совпал бы с ДБК. Однако такие идеальные случаи могут отмечаться только летом при определенных условиях. Как правило, рассчитанный курс отклоняется от ДБК, и тем дальше, чем хуже условия погоды на ДБК.

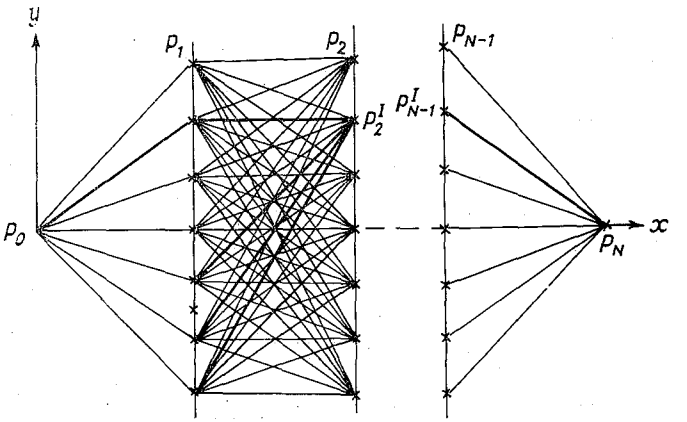


Рис. 49. Схема численного расчета оптимального курса судна на ЭВМ.

Далее, рассчитанная ДБК разбивается вертикалями на отрезки, равные приблизительно суточному переходу судна. На вертикалях к северу и югу от ДБК откладываются по три точки с шагом 3° по меридиану. Таким образом, получается совокупность точек, в пределах которой ищется путь судна. Ширина расчетной области выбирается исходя из практической целесообразности.

Расчет оптимального курса осуществляется следующим образом. Начальная точка P_0 соединяется со всеми точками первой вертикали P_1, вычисляется время перехода судна до каждой из них и запоминается. Это делается так. Вызывается из памяти ЭВМ первая прогностическая карта волнения. На каждой из линий, соединяющих первую вертикаль с начальной точкой, определяется средняя высота волны и курсовой угол. По уравнению потерь скорости для данного типа судна определяется скорость судна на каждом направлении. Затем расстояния вдоль каждого направления делят на вычисленные скорости и получают время прохождения соответствующих отрезков пути. Далее, каждая точка следующей вертикали соединяется со всеми точками предыдущей вертикали и опре-

деляется минимальное время перехода из начальной точки P_0 в точки данной вертикали. Для точек каждой вертикали запоминается минимальное время $T_{мин}$ в часах и номер точки предыдущей вертикали, путь через которую в точку данной вертикали оказался самым коротким по времени.

Процедура повторяется для всех вертикалей, только каждый раз вызывается соответствующее прогностическое поле волнения. Все точки последней вертикали P_{N-1} соединяют с конечной точкой P_N и ищут для нее $T_{мин}$. Точки вертикалей, для которых суммарное время перехода из точки P_0 получилось минимальным, определяют путь судна первого приближения. Весь расчет повторяется после деления шага по вертикали пополам (шаг 1,5°) и замены ДБК курсом первого приближения. Если разность $(T^{I}_{мин} - T^{II}_{мин})$ между первым и вторым приближением не превышает двух часов (точность расчета), решение прекращается и полученный результат (время перехода и координаты оптимального пути) печатается. В противном случае решение продолжается до тех пор, пока не достигается требуемая точность.

Графический метод расчета. На первую карту из серии прогностических карт волнения накладывается калька. На кальку наносится береговая черта и отмечаются начальный P_0 и конечный P_N пункты плавания. Расчет ведется, так же как и при численном методе, относительно ДБК.

Из точки P_0 вправо и влево от ДБК проводится веер прямых линий с более или менее одинаковыми углами между ними, как показано на рис. 50. Эти линии означают возможные курсы плавания судна в первый день. Вдоль каждой линии отмечается средняя высота волны и направление ее распространения. Затем по графику потерь скорости хода для данного типа судна или по уравнению с учетом направления и высоты волн определяются скорости хода судна вдоль каждой линии. Расстояния, которые судно пройдет вдоль каждой линии, получают умножением принятого шага по времени (например, сутки) на рассчитанные скорости и отмечают на кальке. Концы отрезков соединяют плавной линией S_1, представляющей геометрическое место точек возможного положения судна к концу первых суток.

Далее, аналогичным образом рассчитывается возможное положение судна к концу вторых суток. Для этого калька накладывается уже на прогностическую карту волнения второго дня. К огибающей S_1 восстанавливают перпендикуляры в точках, полученных для первого дня. Если расстояния между перпендикулярами оказываются сравнительно большими, проводятся промежуточные линии. Затем, так же как и в первый день, рассчитываются возможные положения судна к концу вторых суток на всех возможных курсах. Полученные точки соединяют плавной линией S_2. Расчет ведется до тех пор, пока не будет использована вся серия прогностических карт волнения.

Судно будет ближе всего находиться к пункту назначения после каждого дня пути, если оно будет передвигаться по линии, соединяющей точки касания окружности с центром в точке P_N

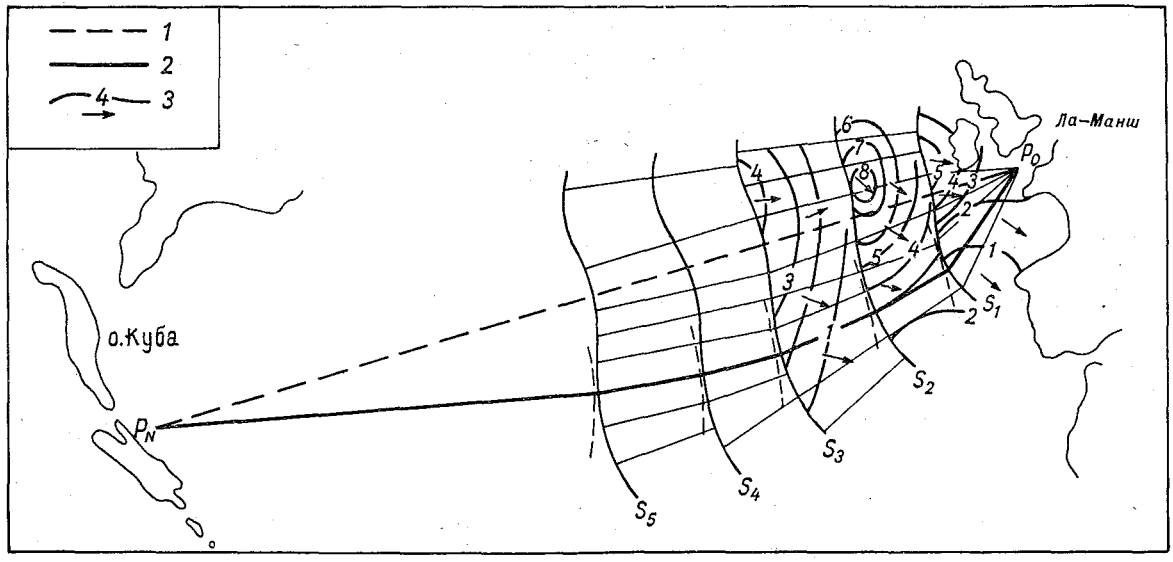


Рис. 50. Схема графического расчета оптимального курса судна.

1 — наикратчайшее расстояние, *2* — оптимальный курс, *3* — изолинии высот волн и направление их распространения.

с огибающими линиями S_1, S_2, S_3 и т. д. Эта линия и представляет собой наивыгоднейший (или оптимальный) курс плавания по критерию минимального времени.

§ 5. ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ПРИ РАСЧЕТАХ РЕКОМЕНДУЕМЫХ КУРСОВ

При расчетах рекомендуемых курсов плавания судов в океане используется обширная гидрометеорологическая информация. Ее можно разделить на три группы:

1) фактические данные наблюдений за погодой и состоянием поверхности океана. На основании этих данных составляются и анализируются синоптические карты погоды и карты состояния поверхности океанов;

2) прогнозы элементов погоды и состояния поверхности океана. Обычно это прогнозы атмосферного давления на уровне моря или ветра и прогнозы волнения;

3) климатические и режимные гидрометеорологические атласы, навигационные пособия.

В практике работы Гидрометцентра СССР используются синоптические карты погоды для северного полушария, составляемые 2 раза в сутки (3 и 15 часов мск). Эти же карты используются в качестве исходных данных при разработке численных прогнозов полей атмосферного давления для северного полушария.

Отдельно составляются гидрометеорологические карты для северных частей Атлантического и Тихого океанов 4 раза в сутки (3, 9, 15 и 21 час мск), на которые, кроме метеорологических данных, наносятся также и гидрологические данные: высота, период и направление распространения преобладающих систем ветровых волн и зыби, температура воды, сведения о льдах и айсбергах. По этим картам анализируется волнение. Данные о волнении служат исходным материалом при разработке численных прогнозов полей волнения на три дня.

Кроме этих материалов, привлекаются также фактические и прогностические карты погоды и состояния поверхности океана, передаваемые зарубежными службами погоды по фототелеграфной аппаратуре. Большую помощь оказывают спутниковые данные об облачности и границах распространения льда, особенно для обнаружения тропических циклонов. Используются также фактические и прогностические карты распределения температуры воды по северным частям Атлантического и Тихого океанов, которые нередко включают и ледовую обстановку.

Исключительно важное значение имеют данные наблюдений с судов, находящихся под проводкой. Они используются для уточнения прогноза погоды и волнения на пути следования судна и корректировки рекомендуемого курса.

Режимная информация представляет собой обобщенные и систематизированные многолетние сведения об отдельных гидрометеорологических элементах. На основании этих сведений были

разработаны так называемые климатические, или стандартные, пути судов в Мировом океане. Эти пути приведены в пособии «Океанские пути мира». Основной принцип, заложенный в основу выбора климатических путей, — оптимальный обход районов с большой повторяемостью штормов и другими неблагоприятными погодными условиями. Климатические пути используются для разработки рекомендуемого курса за пределами заблаговременности прогноза погоды и для оценки эффективности плавания судов рекомендуемыми курсами.

§ 6. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ СУДОВ РЕКОМЕНДУЕМЫМИ КУРСАМИ

Проблема оценки эффективности проводки судов рекомендуемыми курсами сложна, так как трудно учесть все факторы, которые определяют экономичность работы судна.

Эффективность плавания судов рекомендуемыми курсами оценивается по следующим показателям:

а) продолжительность плавания;
б) пройденное расстояние;
в) число штормовых дней на переходе;
г) количество израсходованного топлива;
д) скорость хода судна;
е) соблюдение графика движения.

Эффективность рекомендаций может быть оценена количественными и качественными показателями, но в конечном счете она определяется выигрышем, выраженным в рублях. Оценка эффективности плавания судов рекомендуемыми курсами показывает, что экономия от такого вида обслуживания составляет около миллиона рублей в год.

При анализе эффективности проводки применяются различные методы. Выбор метода определяется поставленными задачами и возможностями для проведения оценки, например наличием необходимых материалов (технических данных о судне, графиков потерь скорости хода судна на волнении, необходимых гидрометеорологических данных и т. д.).

Применяются следующие методы оценки эффективности:

1) сопоставление результатов плавания судна по рекомендациям и контрольного судна;

2) сравнение результатов плавания судна по рекомендациям и некоторого условного судна, якобы совершающего рейс по дуге большого круга или по климатическому пути;

3) сопоставление времени фактического прихода судна с плановым временем;

4) сопоставление средней путевой скорости хода судна с его скоростью при штилевой погоде;

5) расчет числа штормовых дней на переходе;

6) сопоставление средней протяженности путей судов, следовавших по рекомендациям и самостоятельно, по одним и тем же картам;

7) расчет убытков, причиненных судну и грузам при плавании в штормовую погоду;

8) сопоставление статистических данных плавания судов за прошлые годы (или данного года) без рекомендации и судов того же типа, совершивших плавание по рекомендациям.

В практической работе для удобства оценки эффективности плавания судов рекомендуемыми курсами предлагается завести специальный рабочий журнал, в котором в соответствующие графы следует заносить необходимые данные о проводимом судне: название судна и его тип, время выхода из порта и время прихода в порт назначения, продолжительность плавания, пройденное расстояние, средняя скорость хода и т. д.

Суда, для которых производится оценка, следует разделить на четыре группы: 1) суда, точно (или почти точно) следовавшие рекомендуемым курсом; 2) суда, частично следовавшие рекомендуемым курсом; 3) суда, учитывающие требования на ограничение по высоте волн; 4) суда, отказавшиеся следовать рекомендуемым курсом. Эти четыре группы могут быть разделены на подгруппы: суда, совершившие рейсы в западном направлении, и суда, совершившие рейсы в восточном направлении.

Далее, целесообразно предусмотреть две графы для судов, проведенных в осенне-зимний и весенне-летний периоды.

Для каждого судна, независимо от того, в какую группу оно попало, подсчитываются экономические показатели (время, расстояние, средняя скорость и т. д.) и оценивается выигрыш по отношению к показателям для судов, плавающих на других путях, принятых за эталон (климатический, кратчайший и т. д.).

Пример. Оценка эффективности обслуживания судов рекомендуемыми курсами.

1. Для анализа на карту наносятся рекомендуемый, кратчайший и сезонный пути (рис. 51).

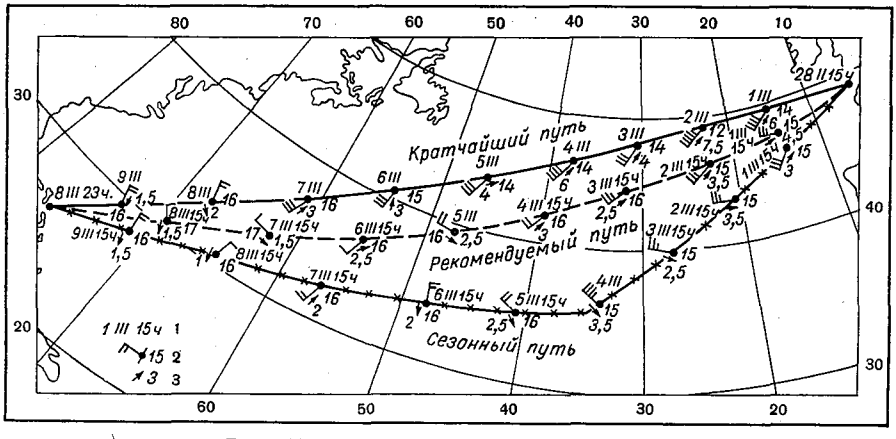


Рис. 51. Карта путей следования судов.

1 — дата и час наблюдения, *2* — скорость и направление ветра и скорость судна в узлах, *3* — высота и направление распространения волн.

Для нанесения рекомендуемого курса используются радиограммы, которые передаются на борт судна в период обслуживания, например:

ТЕПЛОХОД «ЗАРЯ» КАПИТАНУ ИВАНОВУ
РАЙОНЕ ИСЛАНДИИ ГЛУБОКИЙ ЦИКЛОН ДАВЛЕНИЕ ЦЕНТРЕ 970 МБ ЗПТ МАКСИМАЛЬНЫЕ ВОЛНЫ 8 ТИРЕ 10 М СЕВЕРНЕЕ 55 ПАРАЛЛЕЛИ ТЧК РЕКОМЕНДУЕМ ВЫХОД ОКЕАН АНГЛИЙСКИМ КАНАЛОМ ТЧК КООРДИНАТЫ РЕКОМЕНДУЕМОГО ПУТИ ШИРОТА СЕВЕРНАЯ ДОЛГОТА ЗАПАДНАЯ 4800 1600 ЗПТ 4630 2400 ЗПТ 4430 3330 ТЧК РЕКОМЕНДУЕМОМ ПУТИ ВОЛНЕНИЕ 1 МАРТА 4 ЗПТ 5 М ЮГОЗАПАДА 2 МАРТА 3 ЗПТ 5 ЮГОЮГОЗАПАДА 3 МАРТА 2 ЗПТ 5 ЮГОЮГОЗАПАДА

2. Составляется таблица экономических показателей судов, следовавших различными курсами:

Экономические показатели	Путь		
	рекомендуемый	сезонный	кратчайший
Время, часы	215	230	227
Расстояние, мили	3560	3720	3520
Средняя скорость судна, узлы	16,3	15,8	14,8

Далее, по этим данным оценивается экономическая эффективность.

По мере накопления данных производится их статистическая обработка. Подсчитываются средние статистические характеристики за месяц, сезон и год для всех групп.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие основные факторы оказывают влияние на условия плавания судов в океане?
2. Для чего нужно разрабатывать графики потерь скорости хода для различных типов судов?
3. Какие существуют подходы при расчете рекомендуемых курсов плавания?
4. Какая необходима гидрометеорологическая информация при оперативных расчетах рекомендуемых курсов плавания?
5. Какие существуют способы оценки эффективности плавания судов рекомендуемыми курсами?
6. Судно типа «Красноград» выходит в Атлантический океан из пролива Ла-Манш. Координаты точки выхода 49° с. ш. и 5° з. д. По серии прогностических (или фактических) карт волнения, взятых через сутки, пользуясь формулой $V=V_0-(0{,}56h+0{,}02h^2)+0{,}18qH$ рассчитать рекомендуемый курс плавания судна по направлению на о. Кубу.

Литература: [4, 6, 18, 54].

СОДЕРЖАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ГРУПП КОДА КН-02

Группа ddffV

dd — направление ветра, кодируется в десятках градусов по шкале 00—36. При штиле на месте dd ставится 00, при ветре переменного направления ставится 99.

ff — скорость ветра в метрах в секунду. Если скорость ветра меньше 10 м/сек, то на месте первой цифры ставится 0.

V — видимость в сторону моря, кодируется по следующей шкале:

Цифра кода	Видимость в сторону моря	Цифра кода	Видимость в сторону моря
0	0 — 50 м	5	2 — 4 км
1	50 — 200 м	6	4 — 10 км
2	200 — 500 м	7	10 — 20 км
3	500 м — 1 км	8	20 — 50 км
4	1 км — 2 км	9	50 км и более

Группа $T_wT_wT_wTT$

$T_wT_wT_w$ — температура воды поверхности моря в срок наблюдений, передается с десятыми долями градуса. При температуре ниже 0° к числу целых градусов прибавляется 50.

TT — температура воздуха в срок наблюдений, передается с точностью до целых градусов.

Группа $3\ \frac{a_h h_s h_s h_s}{G_t G_t h_s' h_s'}$

3 — постоянная отличительная цифра.

a_h — тенденция в изменении уровня на морях без приливов за последние 6 часов, кодируется так: 3 — уровень мало менялся, 4 — уровень повышался, затем падал, 8 — уровень падал, затем повышался, 9 — уровень равномерно изменялся (повышался или падал).

$h_sh_sh_s$ — высота уровня в сантиметрах относительно нуля поста (на морях без приливов).

G_tG_t — время наступления полной или малой воды с округлением до получаса (по московскому времени) по условной шкале (например, для полных вод 00 ч 30 мин — 01, 18 ч 30 мин — 37 и т. д., для малых вод — 00 ч 30 мин — 51, 18 ч 30 мин — 87 и т. д.).

$h_s'h_s'$ — высота уровня в дециметрах относительно нуля поста на морях с приливами.

Группа $4H_wH_wP_wD_w$

H_wH_w — высота преобладающих волн (ветровых или зыби) в полуметрах.

P_w — период преобладающих волн, передается с округлением до целых секунд (например, 3 секунды и менее — 3, 4 секунды — 4 и т. д.).

D_w — направление волнения, указывается направление ветровой волны или зыби в зависимости от преобладания; передается по следующей шкале:

Цифра кода	Направление волнения	Цифра кода	Направление волнения
0	Волнения нет	5	от ЮЗ
1	от СВ	6	от З
2	от В	7	от СЗ
3	от ЮВ	8	от С
4	от Ю	9	Толчея

Группа $5M_eL_eii$

5 — постоянная отличительная цифра.

M_e — количество (площадь) неподвижного льда в баллах, передается по следующей шкале:

Цифра кода	Количество неподвижного льда, баллы	Цифра кода	Количество неподвижного льда, баллы
0	0	5	6
1	1—2	6	7
2	3	7	8
3	4	8	9
4	5	9	10

L_e — ширина припая (по створу), передается по следующей шкале:

Цифра кода	Ширина припая, км	Цифра кода	Ширина припая, км
0	Неподвижного льда нет	5	2—4
		6	4—7
1	Менее 0,1	7	7—10
2	0,1—0,5	8	10—15
3	0,5—1	9	До видимого горизонта
4	1—2		

ii — толщина неподвижных льдов в сантиметрах. При толщине льда 100 см и выше число сотен отбрасывается, а вместо отличительной цифры 5 в начале группы ставятся соответственно цифры 0, 1 или 2.

Группа $6M_iC_iC_2P_i$

6 — постоянная отличительная цифра.

M_i — количество дрейфующего льда всех возрастов в баллах, передается по такой же шкале, как и количество неподвижного льда.

C_1 — преобладающая стадия развития льда, кодируется по следующей таблице:

Цифра кода	Стадия развития льда
0	Льдов нет
1	Ледяные иглы или ледяное сало
2	Снежура, шуга
3	Блинчатый лед
4	Склянка или темный нилас
5	Светлый нилас и серый лед
6	Серо-белый лед
7	Белый лед
8	Белый толстый (более 70 см) и однолетний лед
9	Двухлетний и многолетний лед

C_2 — преобладающая форма льда, кодируется по следующей шкале:

Цифра кода	Форма льда
0	Льда нет
1	Лед начальных форм (иглы, сало, снежура и т. д.)
2	Ледяная каша
3	Куски льда
4	Мелкобитый лед
5	Крупнобитый лед
6	Крупнобитый и мелкобитый лед
7	Обломки ледяных полей и малые ледяные поля
8	Большие ледяные поля
9	Обширные ледяные поля

P_i — преобладающая сплоченность дрейфующего льда всех форм в баллах, передается по такой же шкале, как и количество неподвижного льда в группе 5.

Группа $7A_1A_1A_2A_2$

Нулевой и первый десятки (00—19) — основные ледовые явления и характеристики состояния дрейфующих льдов.

Второй десяток — распределение дрейфующих льдов.

Третий десяток (30—39) — количество чистой воды (в баллах) вне площади, занятой льдом: 30 — чистой воды нет, 31 — 1—2 балла, 32 — 3 балла и т. д.

Четвертый десяток (40—49) — направление, по которому наблюдается чистая вода: 40 — чистой воды нет, 41 — чистая вода на СВ, 42 — чистая вода на В и т. д.

Пятый десяток (50—59) — направление дрейфа льда: 50 — лед не движется, 51 — лед движется на ЮЗ, 52 — лед движется на З и т. д.

Шестой десяток (60—69) — скорость дрейфа льда и балл торосистости льда: 60 — лед не движется;

61 — скорость дрейфа менее 5 км/ч
62 — скорость дрейфа 0,5—1 км/ч
63 — скорость дрейфа 1—3 км/ч
64 — скорость дрейфа более 3 км/ч
65 — торосистость льда 1 балл
66 — торосистость льда 2 балла
67 — торосистость льда 3 балла
68 — торосистость льда 4 балла
69 — торосистость льда 5 баллов

Седьмой десяток (70—79) — разрушенность льда и интенсивность таивания с поверхности (70 — разрушенность льда 1 балл, 74 — разрушенность льда 5 баллов).

Восьмой десяток (80—89) — высота снега на льду:

80 — снега нет	85 — 20—29 см
81 — до 4 см	86 — 30—39
82 — 5—9	87 — 40—49
83 — 10—14	88 — 50—69
84 — 15—19	89 — 70 см и более

Девятый десяток (90—99) — особые виды льда: айсберги, несяки, стамухи и т. д.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

СЕВЕРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
АРХАНГЕЛЬСКОЕ БЮРО ПОГОДЫ

2 апреля 1971 г.

ПРОГНОЗ

дат взлома припая и очищения ото льда районов Белого и юго-восточной части Баренцева моря весной 1971 г.

Выпуск № 2

В конце марта 1971 г. на Белом и юго-востоке Баренцева моря сложилась ледовая обстановка, характерная для мягких зим.

Граница припая соответствует среднему многолетнему положению. Кромка дрейфующего льда в Белом море проходит в обычных границах, на юго-востоке Баренцева моря — на 60—100 миль восточнее.

Мощность дрейфующих льдов на вышеуказанных акваториях меньше средней многолетней.

Анализ текущих и ожидаемых гидрометеорологических условий показывает, что взлом припая в приустьевых районах Белого и юго-восточной части Баренцева моря произойдет на 2—5 дней позже средних многолетних дат. Очищение районов бассейна Белого моря ожидается на 5—10 дней позже нормы, северной части Белого моря — около средних многолетних сроков.

Ниже указываются ожидаемые сроки взлома припая и очищения по пунктам.

№ п/п	Пункт	Фаза	Дата, ожидаемая в 1971 г.	Вероятная погрешность в днях	Дата в 1970 г.
1	2	3	4	5	6
		Белое море			
1	Архангельск	Ледоход	8 V	4	6 V
2	Северодвинск	Взлом припая	9 V	4	6 V
3	Кемь, порт	То же	17 V	5	14 V
4	Разнаволок	„	15 V	5	14 V
5	Ковда	„	15 V	5	8 V
6	Онега	Ледоход	7 V	4	2 V
7	Умба	Взлом припая	20 V	5	18 V
8	Кандалакша	То же	10 V	5	4 V
9	Мезень	Ледоход	15 V	5	17 V
		Баренцево море			
1	Бугрино	Взлом припая	10 VI	5	3 VI
2	Нарьян-Мар	Ледоход	31 V	5	4 VI
3	Индига	Взлом припая	1 VI	5	28 V
		Белое море			
1	Канин Нос	Полное очищение	28 V	5	12 V
2	Терско-Орловск	То же	25 V	5	18 V
3	Сосновец	„	30 V	5	21 V
4	Пялица	„	1 VI	5	25 V
5	Моржовец	„	30 V	5	16 V
6	Абрамовский	„	3 VI	5	20 V
7	Инцы	„	25 V	5	19 V
8	Зимнегорский	„	18 V	5	8 V
9	Жижгин	„	2 VI	5	21 V
10	Соловки	„	3 VI	5	27 V
11	Архангельск	„	12 V	4	10 V
12	Умба	„	24 V	5	20 V
13	Кемь, порт	„	24 V	5	22 V
14	Ковда	„	25 V	5	22 V
15	Кандалакша	„	15 V	5	4 V
16	Мезень	„	18 V	5	19 V
17	Шойна	„	3 VI	5	12 V
18	Разнаволок	„	22 V	5	19 V
19	Онега	„	10 V	5	6 V
		Баренцево море			
1	Тобседа	Полное очищение	22 VI	5	30 VI
2	Бугрино	То же	24 VI	5	22 VI
3	Ходовариха	„	21 VI	5	1 VII
4	Микулкин	„	3 VI	5	27 V

Примечание. Район Березового Бара и судоходный рукав Маймакса взламываются и очищаются ледоколами раньше естественных сроков. В прогнозе указывается срок подхода основного ледохода с верхних участков р. Сев. Двины в район Архангельского порта без учета возможных задержек в заторах.

Навигационные рекомендации

1. Плавание по судовой трассе Баренцево море—Архангельск под проводкой ледокола типа «Капитан» не лимитируется ледовыми условиями.

2. Оптимальный срок начала ледокольных работ в Архангельском порту с целью очищения акватории — 20 апреля.

3. Возможность начала безледокольного плавания судов в порт Нарьян-Мар ожидается в третьей декаде июня.

4. Безледокольное плавание в порты Кандалакшского залива будет определяться ледовыми условиями в открытой части залива и ожидается в третьей декаде мая.

Прогноз составили *Зотин В. С., Белоконская А. Д.*
Выпущен *2 апреля 1971 г.*

Начальник Архангельского бюро погоды *Л. КОЛЕСНИКОВ*

Начальник отдела морских и речных прогнозов *Н. МАКАРЧУК*

«УТВЕРЖДЕНО»
Руководство УГМС

ПЛАН-СХЕМА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

на 197

№ п/п	Обслуживание организации	Водный объект и районы обслуживания	Прогнозы погоды					
			месячные	периодные (на 5—7 дней)	на 3 дня	суточные (от 20 ч текущего дня до 20 ч следующего дня)	полусуточные (от 8 до 20 ч текущего дня)	маршрутные
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Метеорологиче								
		Время передачи	За 10 дней до начала действия прогноза	В день составления прогноза (15 ч)	Ежедневно в 15 ч		Ежедневно в 6 ч	По заявкам
		Способы передачи						
1	Магаданский рыбтрест (управляющему)	Северная часть Охотского моря (перечень районов в приложении 1)	Нарочным	Гидрометбюллетень				—
2	Рыбтрест (капитану флота)	То же	—	Гидрометбюллетень			Телефон 2-52-58	—
3	Радиостанция МРТ и т. д.	»	—	—	—		Телефон 2-68-53	Телефон 2-68-53
2. Гидрологиче								

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ОБРАЗЕЦ

«СОГЛАСОВАНО»

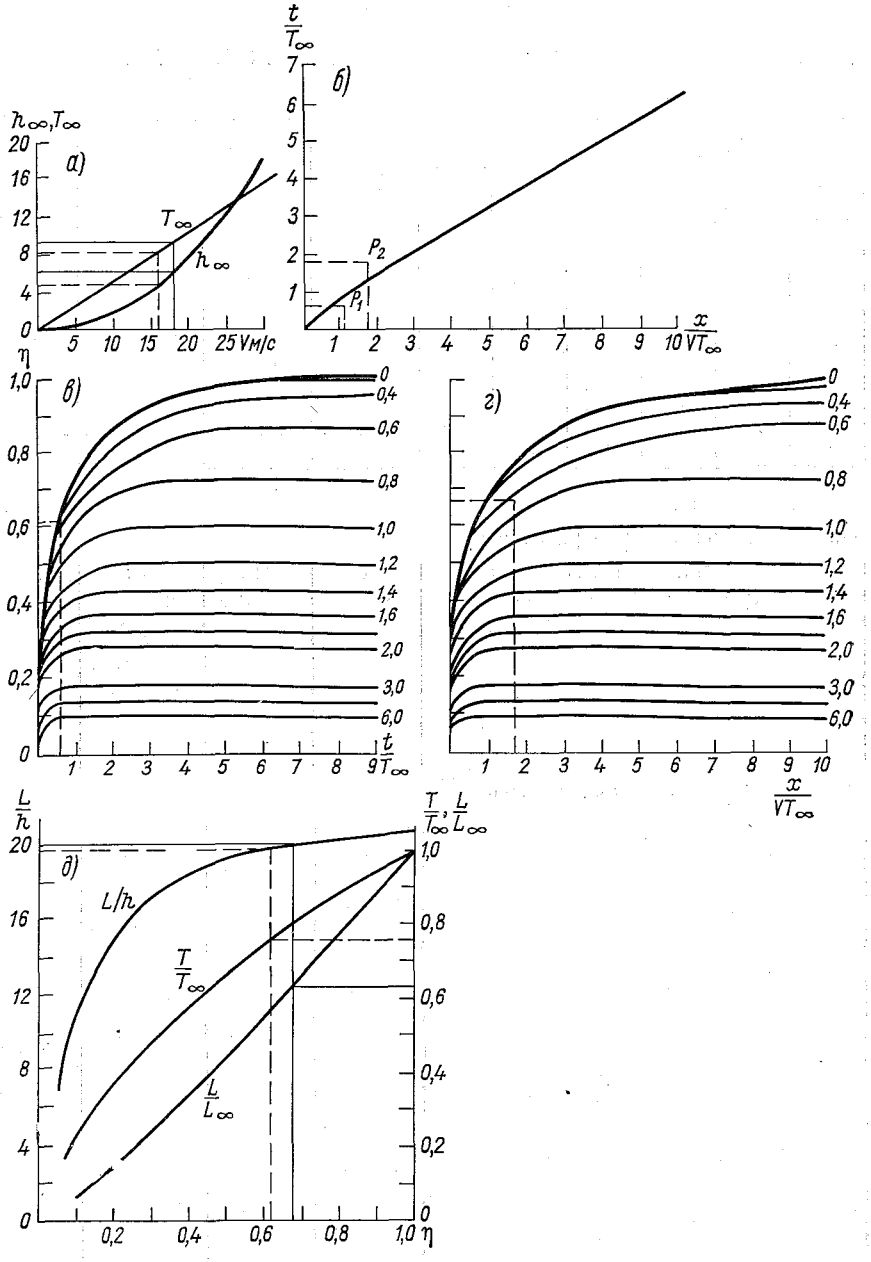
Руководство МРТ

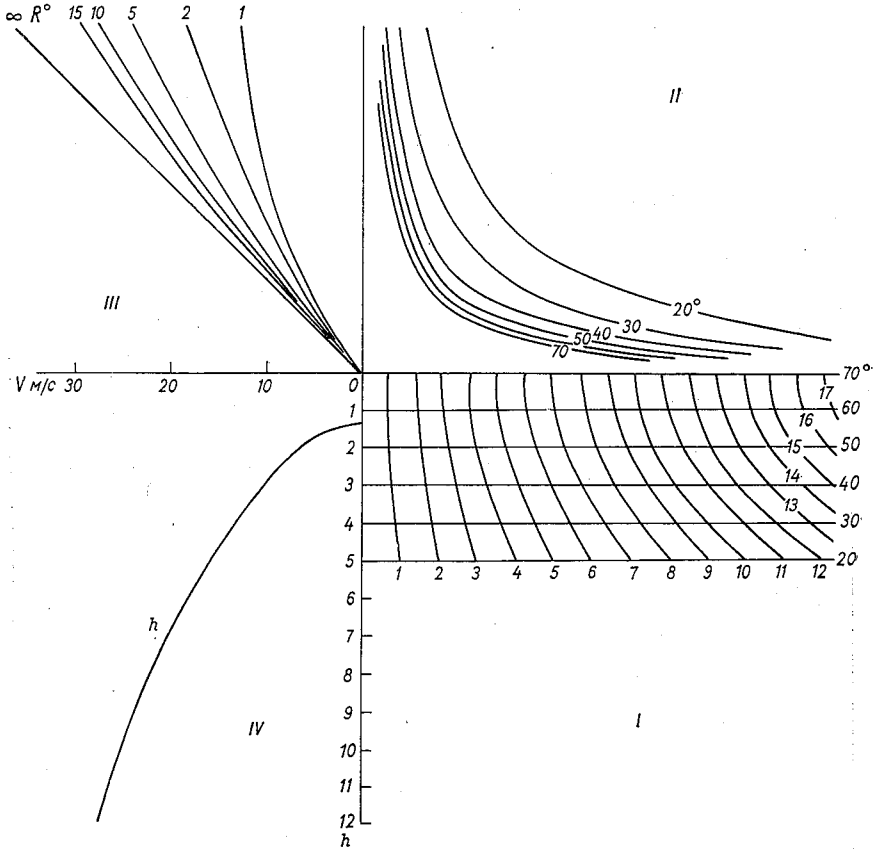
МАГАДАНСКОГО РЫБТРЕСТА КОЛЫМСКИМ БЮРО ПОГОДЫ

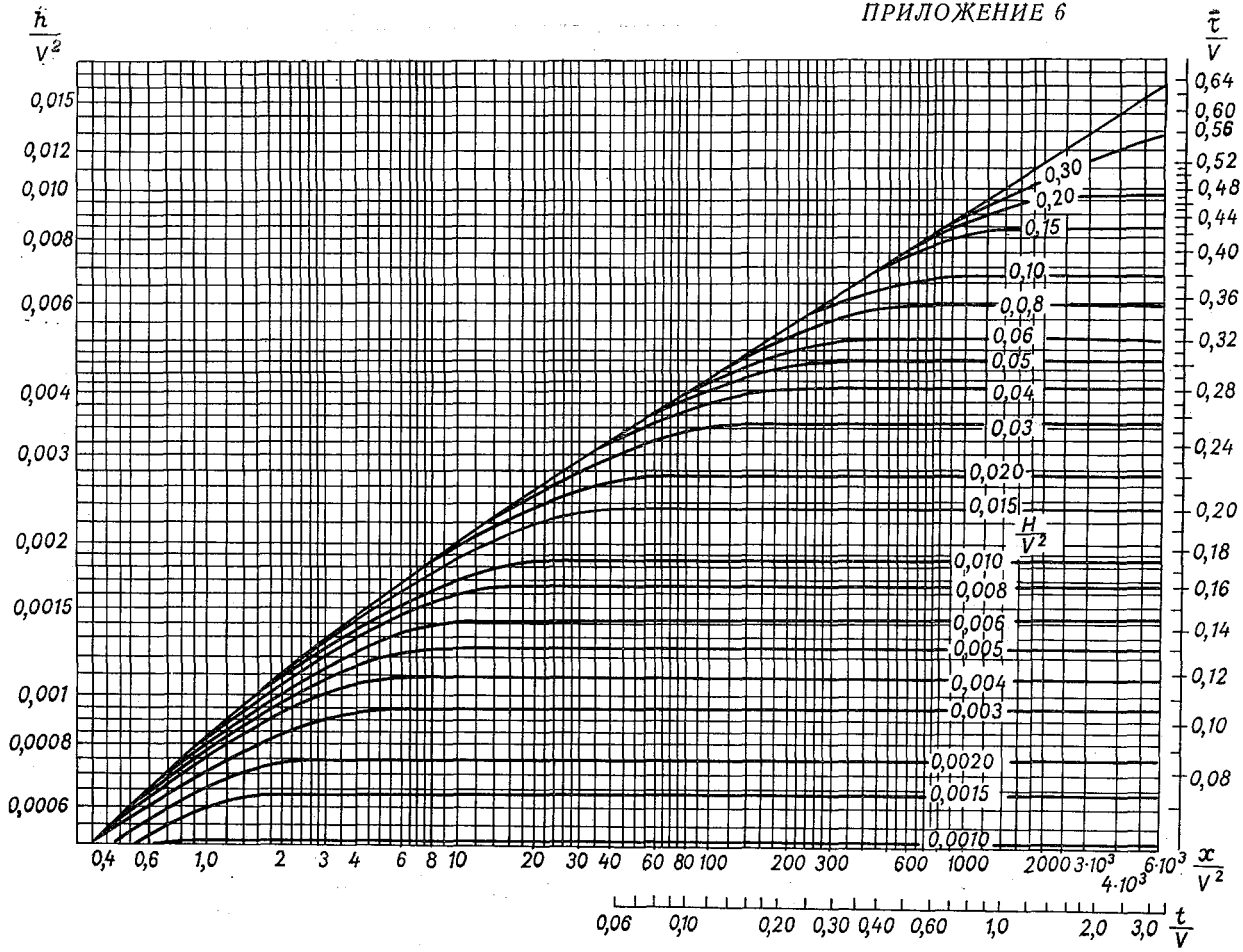
г.

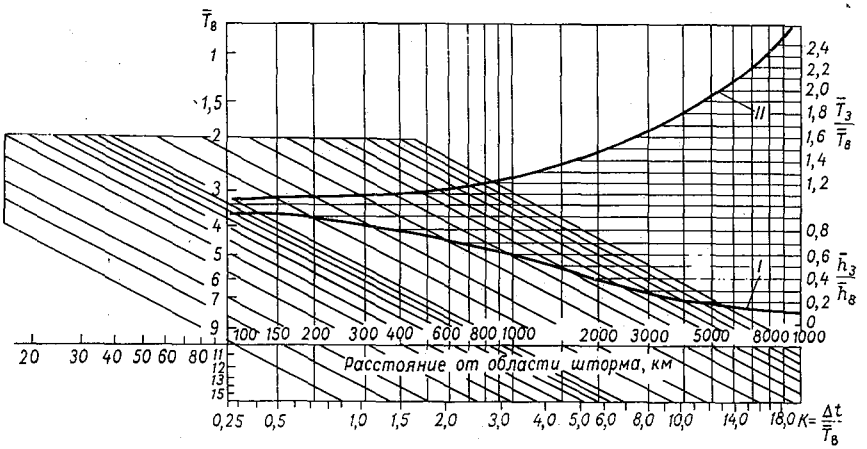
Предупреждение об опасных и особо опасных явлениях погоды						Информация о фактическом состоянии погоды	Консультация о синоптической обстановке	Рекомендации об использовании гидрометеорологической информации	Ответственный за доведение информации
ветер		обледенение	ухудшение видимости до 1 км и менее	значительный дождь, снег (15 мм)	и др. явления				
7 баллов и более	10 баллов и более								
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ская информация									
оперативных материалов									
Немедленно при выявлении угрозы возникновения						По запросу	По запросу	По запросу и в зависимости от погодных условий	
оперативных материалов									
Телефон 2-52-16						Телефон, почтой или курьером МРТ	По запросу	По запросу или инициативе специалистов бюро погоды	Бюро погоды
Телефон 2-52-58						Курьером	То же	То же	Бюро погоды
Телефон 2-68-53						—	—	—	Бюро погоды
ская информация									

Начальник бюро погоды


а)
h_∞, T_∞
T_∞
h_∞
V м/с
б)
$\frac{t}{T_\infty}$
P_2
P_1
$\frac{x}{VT_\infty}$
в)
η
$\frac{t}{T_\infty}$
г)
$\frac{x}{VT_\infty}$
д)
$\frac{L}{h}$
L/h
$\frac{T}{T_\infty}$
$\frac{L}{L_\infty}$
$\frac{T}{T_\infty}, \frac{L}{L_\infty}$
η


∞ R° 15 10 5 2 1
II
III
20°
30
40
50
70
V м/с 30 20 10 0
70°
60
50
40
30
20
17
16
15
14
13
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
h
IV
I
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
h


$\frac{h}{V^2}$
0,015
0,012
0,010
0,008
0,006
0,004
0,003
0,002
0,0015
0,001
0,0008
0,0006
0,4 0,6 1,0 2 3 4 6 8 10 20 30 40 60 80 100 200 300 600 1000 2000 3·10³ 4·10³ 6·10³
$\frac{x}{V^2}$
$\frac{\bar{\tau}}{V}$
0,64 0,60 0,56 0,52 0,48 0,44 0,40 0,36 0,32 0,28 0,24 0,20 0,18 0,16 0,14 0,12 0,10 0,08
0,30 0,20 0,15 0,10 0,08 0,06 0,05 0,04 0,03 0,020 0,015
$\frac{H}{V^2}$
0,010 0,008 0,006 0,005 0,004 0,003 0,0020 0,0015 0,0010
0,06 0,10 0,20 0,30 0,40 0,60 1,0 2,0 3,0
$\frac{t}{V}$


$\bar{T}_в$
1
1,5
2
3
4
5
6
7
9
11
12
13
15
20 30 40 50 60 80
100 150 200 300 400 600 800 1000 2000 3000 5000 8000 1000
Расстояние от области шторма, км
0,25 0,5 1,0 1,5 2,0 3,0 4,0 5,0 6,0 8,0 10,0 14,0 18,0
$K = \frac{\Delta t}{\bar{T}_в}$
2,4
2,2
2,0
1,8
1,6
1,4
1,2
0,8
0,6
0,4
0,2
0
$\frac{\bar{T}_з}{\bar{T}_в}$
$\frac{\bar{h}_з}{\bar{h}_в}$
II
I

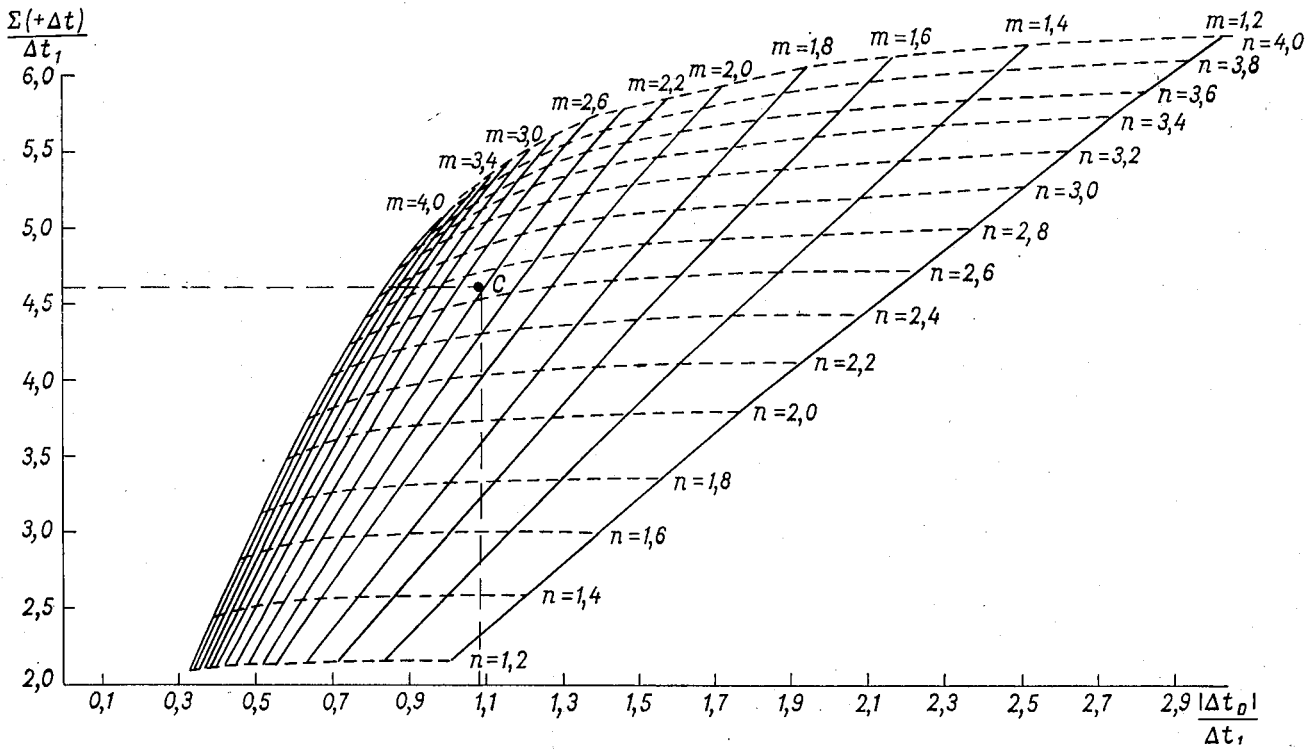

Σ(+Δt) / Δt₁
6,0
5,5
5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
0,1
0,3
0,5
0,7
0,9
1,1
1,3
1,5
1,7
1,9
2,1
2,3
2,5
2,7
2,9
|Δt₀| / Δt₁
m=4,0
m=3,4
m=3,0
m=2,6
m=2,2
m=2,0
m=1,8
m=1,6
m=1,4
m=1,2
n=4,0
n=3,8
n=3,6
n=3,4
n=3,2
n=3,0
n=2,8
n=2,6
n=2,4
n=2,2
n=2,0
n=1,8
n=1,6
n=1,4
n=1,2
C

ТАБЛИЦА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИН $e^{-b(h-1)^n}$ и $e^{-d(D-h)^m}$

$h-1$	$D-h$	n, m												
		0,2	0,6	1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	4,2	4,6	5,0
0	12	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
1	11	0,002	0,105	0,436	0,733	0,887	0,960	0,980	0,990	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	10	0,001	0,033	0,188	0,445	0,664	0,826	0,905	0,951	0,980	0,990	1,000	1,000	1,000
3	9	0	0,014	0,082	0,239	0,427	0,619	0,763	0,852	0,914	0,951	0,970	0,980	0,990
4	8	0	0,006	0,036	0,116	0,239	0,411	0,566	0,691	0,787	0,861	0,905	0,942	0,961
5	7	0	0,003	0,015	0,053	0,118	0,232	0,361	0,487	0,600	0,698	0,779	0,835	0,878
6	6	0	0,001	0,007	0,023	0,051	0,113	0,194	0,286	0,387	0,487	0,583	0,664	0,733
7	5	0	0,001	0,003	0,009	0,020	0,047	0,085	0,137	0,202	0,275	0,354	0,432	0,507
8	4	0	0	0,001	0,003	0,007	0,017	0,031	0,037	0,081	0,118	0,162	0,212	0,267
9	3	0	0	0,001	0,001	0,002	0,001	0,009	0,015	0,024	0,035	0,050	0,069	0,093
10	2	0	0	0	0	0,001	0,001	0,002	0,003	0,005	0,007	0,010	0,014	0,098
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$h-1$	$D-h$	5,4	5,8	6,2	6,6	7,0	7,4	7,8	8,2	8,6	9,0	9,4	9,8	10,0
0	12	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
1	11	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	10	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
3	9	0,990	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
4	8	0,970	0,980	0,990	0,990	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
5	7	0,914	0,942	0,961	0,970	0,980	0,980	0,990	0,990	0,995	1,000	1,000	1,000	1,000
6	6	0,787	0,835	0,869	0,905	0,923	0,942	0,961	0,970	0,970	0,980	0,980	0,990	1,000
7	5	0,577	0,644	0,698	0,756	0,794	0,835	0,861	0,887	0,905	0,923	0,942	0,951	0,951
8	4	0,326	0,387	0,445	0,502	0,560	0,606	0,657	0,700	0,733	0,771	0,802	0,827	0,844
9	3	0,120	0,153	0,186	0,223	0,264	0,304	0,346	0,387	0,432	0,472	0,512	0,549	0,571
10	2	0,024	0,031	0,040	0,050	0,061	0,075	0,090	0,105	0,124	0,144	0,165	0,188	0,198
11	1	0,002	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,006	0,007	0,009	0,010	0,012	0,014	0,015
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович К. Г. Гидрометеорологический научно-исследовательский центр СССР. Л., Гидрометеоиздат, 1969.
2. Абузяров З. К. Метод расчета полей волнения в северной части Атлантического океана. — Труды ЦИП, 1966, вып. 156.
3. Абузяров З. К. Численный прогноз полей ветра и волнения. — Труды ГМЦ СССР, 1967, вып. 8.
4. Абузяров З. К., Сиротов К. М. Рекомендуемые курсы плавания судов в океане. Л., Гидрометеоиздат, 1970.
5. Белинский Н. А. Морские гидрометеорологические информации и прогнозы. Л., Гидрометеоиздат, 1956.
6. Белинский Н. А. Задачи морских прогнозов и информаций. — Труды ЦИП, 1965, вып. 142.
7. Белинский Н. А. Опыт установления индекса циркуляции атмосферы. — Труды НИУ ГУГМС, 1946, сер. 5, вып. 14.
8. Белинский Н. А. Использование некоторых особенностей атмосферных процессов для долгосрочных прогнозов. Л., Гидрометеоиздат, 1957.
9. Белинский Н. А., Глаголева М. Г. Установление зависимостей для расчетов и прогнозов непериодических течений, колебаний уровня и распределения температуры воды по вертикали. Методическое письмо № 1. М., Гидрометеоиздат, 1960.
10. Белинский Н. А., Глаголева М. Г. Метод изучения и расчетов непериодических течений в море. — Метеорология и гидрология, 1960, № 3.
11. Белинский Н. А., Глаголева М. Г., Скриптунова Л. И. Расчет распределения температуры воды по вертикали. — Метеорология и гидрология, 1963, № 6.
12. Белинский Н. А., Калинин Г. П. О прогнозе колебаний уровня Каспийского моря. Л., Гидрометеоиздат, 1946.
13. Березкин В. А. Динамика моря. Л., Гидрометеоиздат, 1947.
14. Бетин В. В. Радиационный метод съемки температуры воды с самолета. Сборник работ Ленинградской ГМО, 1968, вып. 5.
15. Буйницкий В. Х. Формирование и дрейф ледяного покрова в Арктическом бассейне. — Труды дрейфующей экспедиции Главсевморпути на л/п «Седов» в 1937—1940 гг., 1951, т. 4.
16. Вангенгейм Г. Я. Ледовитость Баренцева моря в связи с различными типами атмосферной циркуляции. — Труды НИУ ГУГМС, 1946, сер. 5, вып. 12.
17. Васильев К. П. Способ предвычисления течений в Керченском проливе. — Труды ЦИП, 1949, вып. 14(41).
18. Васильев К. П. Наивыгоднейшие пути плавания судов в морях и океанах в зависимости от заданных гидрометеорологических условий. Труды Гидрометцентра СССР, 1972, вып. 97.
19. Васильев К. П., Глаголева М. Г. О дрейфе льдов. — Труды ЦИП, 1949, вып. 14 (41).
20. Васильев К. П. Океанография из космоса. — «Земля и вселенная», 1970, № 1.
21. Визе В. Ю. Основы долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей. — Труды Арктического института, 1944, т. 190.

22. Глаголева М. Г. О возможности распределения температуры воды по площади. — Труды ГМЦ СССР, 1969, вып. 51.
23. Глаголева М. Г. О долгосрочном прогнозе аномалий температуры воды на поверхности в Северной Атлантике в теплую часть года. — Труды ГМЦ СССР, 1971, вып. 83.
24. Глаголева М. Г., Скриптунова Л. И. Установление зависимостей для расчета и прогноза распределения температуры воды по вертикали. Методическое письмо, № 2. М., Гидрометеоиздат, 1964.
25. Доронин Ю. П., Сметанникова А. В. Расчет элементов гидрологического режима верхнего слоя Карского моря в осенне-зимний период. — Труды ААНИИ, 1966, т. 279.
26. Гущенков Е. М. К методике прогноза сроков достижения льдом толщины 20—25 см.— В сб.: «Проблемы Арктики и Антарктики», 1969, вып. 32.
27. Зверев А. А. Морские гидрологические прогнозы. Л., изд. «Морской транспорт», 1961.
28. Зорина В. А. Сгонно-нагонные колебания уровня в устьевой области р. Преголи. — Труды ГОИН, 1970, вып. 98.
29. Зорина В. А. О прогнозах уровня у юго-восточного побережья Балтийского моря. — Труды ГОИН, 1970, вып. 98.
30. Зубов Н. Н. Морские воды и льды. М., Гидрометеоиздат, 1938.
31. Инструкция гидрометеорологическим станциям по информации об опасных гидрометеорологических явлениях. Изд. 4. М., Гидрометеоиздат, 1972.
32. Инструкция по оценке качества методов и оправдываемости морских гидрологических прогнозов. М., Гидрометеоиздат, 1965.
33. Истошин Ю. В. Температура воды Японского моря и возможность ее прогноза. — Труды Океанографической Комиссии АН СССР, 1960, т. 7.
34. Истошин Ю. В., Каракаш А. И. Морские гидрологические прогнозы. Океанология, 1967, т. 7, вып. 6.
35. Калинин Г. П., Смирнова К. И., Шереметевская О. И. Водно-балансовые расчеты будущих уровней Каспийского моря. — Метеорология и гидрология, 1968, № 9.
36. Кан С. И. Непериодические течения в проливах Курильской гряды и возможность их предсказания. — Труды ЦИП, 1957, вып. 57.
37. Кан С. И. О расчете и прогнозе течений в Керченском проливе. — Труды Океанографической Комиссии АН СССР, 1961, т. 11.
38. Каракаш А. И. Метод прогноза температуры воды в Баренцевом море. — Труды ЦИП, 1957, вып. 57.
39. Каракаш А. И. Предсказание сроков наступления весенних и осенних ледовых явлений в юго-восточной части Баренцева моря. — Труды ЦИП, 1958, вып. 76.
40. Каракаш А. И. Ледовые прогнозы на неарктических морях. — Труды ЦИП, 1965, вып. 142.
41. Колесников А. Г. Вопросы морских гидрологических прогнозов. — Труды НИУ ГУГМС, 1946, сер. 5, вып. 12.
42. Красюк В. С. Номограмма для расчета скорости ветра и высоты ветровых волн в океане. — Метеорология и гидрология, 1967, № 4.
43. Красюк В. С., Саускан Е. М. К расчету скорости ветровых течений в океане. — Метеорология и гидрология, 1970, № 9.
44. Крутских Б. А. Комплексный метод прогноза сгонно-нагонных колебаний уровня моря. — Труды ААНИИ, 1963, т. 264.
45. Кудрявая К. И. Морские гидрологические прогнозы. Л., Гидрометеоиздат, 1951.
46. Марютин Т. П. Уравнения прогноза нагонных и сгонных уровней в дельте Северной Двины. — Труды НИУ ГУГМС, 1941, сер. 5, вып. 1.
47. Милейко Г. Н. Метод расчета температуры воды в северных районах Атлантического и Тихого океанов в холодную часть года. — Труды ЦИП, 1966, вып. 156.
48. Мустафин Н. В. Методика прогноза сгонно-нагонных колебаний уровня для Арктических морей. — Труды ЦИП, 1965, вып. 142.
49. Наставление по службе прогнозов. Разд. 3, ч. 3. Л., Гидрометеоиздат, 1953.
50. Наставление по службе прогнозов. Разд. 3, ч. 1 и 2. Л., Гидрометеоиздат, 1970.

51. Никифоров Е. Г. и др. Основы методики расчета перераспределения льда в арктических морях в навигационный период под воздействием ветра.— Труды ААНИИ, 1967, т. 257.
52. Никифоров П. П. Методика краткосрочных прогнозов сроков появления льда и замерзания Таганрогского залива. — Труды ЦИП, 1949, вып. 1 (41).
53. Положение о сборе сведений и порядке предупреждения об особо опасных гидрометеорологических явлениях. М., Гидрометеоиздат, 1972.
54. Полякова А. П. Плавание по рекомендациям Гидрометслужбы. Владивосток, Дальневосточное книжное изд-во, 1971.
55. Попов Е. Г. Основы гидрологических прогнозов. Л., Гидрометеоиздат, 1968.
56. Попов В. П. Краткосрочный прогноз уровня воды в Архангельском порту в безледовый период. — В кн.: «Сборник работ Архангельской ГМО», вып. 7. Л., Гидрометеоиздат, 1970.
57. Руководство по гидрометеорологическому обеспечению морских отраслей народного хозяйства. Л., Гидрометеоиздат, 1972.
58. Руководство по расчету параметров ветровых волн. Л., Гидрометеоиздат, 1969.
59. Саускан Е. М. Прогноз осенних ледовых явлений на Беринговом море.— Труды ЦИП, 1958, вып. 76.
60. Сиротов К. М. Прогнозы морских ветровых волн и локальные зависимости. — Труды Океанографической Комиссии АН СССР, 1961, т. 11.
61. Скриптунова Л. И. Методы расчетов и прогноза температуры воды. — Труды ЦИП, 1965, вып. 142.
62. Скриптунова Л. И. Об использовании естественных составляющих для прогноза температуры воды в океане. — Труды Гидрометцентра СССР, 1968, вып. 34.
63. Смирнова К. И. Влияние непериодических течений на изменение температуры воды. — Труды ЦИП, 1966, вып. 156.
64. Соколов А. Л., Горбунов Ю. А. Некоторые принципы методики краткосрочных прогнозов распределения льдов. — В кн.: «Проблемы Арктики и Антарктики», 1967, вып. 27.
65. Соркина А. И. Построение карт ветровых полей для морей и океанов. — Труды ГОИН, 1958, вып. 44.
66. Тарбеев Ю. В. Роль ветра в процессах разрушения припая. — Труды Океанографической Комиссии АН СССР, 1960, т. 7.
67. Теодорович А. А. Предвычисление течений в северной узкости Керченского пролива. — Труды Океанографической Комиссии АН СССР, 1960, т. 7.
68. Тимонов В. В., Кудрявая К. И. Некоторые итоги разработки долгосрочных весенних ледовых прогнозов для Белого моря. — Труды НИУ ГУГМС, 1946, сер. 5, вып. 12.
69. Тютнев Я. А. К методике долгосрочного прогноза сроков появления льда и замерзания прибрежных районов Японского моря. — Труды ЦИП, 1958, вып. 76.
70. Тютнев Я. А. К методике долгосрочного прогноза сроков вскрытия и очищения от льда Японского моря. — Труды ЦИП, 1959, вып. 91.
71. Тютнев Я. А. Расчет и прогноз ледовых явлений в некоторых портах Азовского и Черного морей.
72. Тютнев Я. А. Метод долгосрочных прогнозов осенних и весенних ледовых фаз на Балтийском море. — Труды ЦИП, 1957, вып. 57.
73. Тютнев Я. А. Метод краткосрочных прогнозов появления льда на морях. — Труды ЦИП, 1948, вып. 3(30).
74. Шапкина В. Ф. Долгосрочный прогноз температуры воды в Японском море. — Метеорология и гидрология, 1959, № 6.
75. Шереметевская О. И. Расчеты изменений температуры воды в теплую часть года. — Труды ЦИП, 1959, вып. 156.
76. Шереметевская О. И. Расчет температуры поверхности моря в теплую часть года. — Труды ЦИП, 1966, вып. 156.
77. Шулейкин В. В. Физика моря. М., Изд-во «Наука», 1968.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
Введение 4
§ 1. Задачи и значение гидрологического обслуживания народнохозяйственных организаций . . . . . —
§ 2. Определение понятий «морские гидрологические информации» и «морские гидрологические прогнозы» 6
§ 3. Краткие сведения об истории морских гидрологических информаций и прогнозов в СССР и перспективы их развития 7
§ 4. Организация гидрометеорологического обслуживания морских отраслей народного хозяйства в СССР 10

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

МОРСКИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИИ

Глава I. **Информационные сведения о текущем состоянии морей и океанов** 11

§ 1. Информационная сеть . . . . . —
§ 2. Содержание и порядок сбора информационных сведений о текущем состоянии морей и океанов 15
§ 3. Действующие коды для составления телеграмм с результатами морских гидрометеорологических наблюдений 17
§ 4. Нанесение данных на морские гидрометеорологические карты. Обработка и анализ карт 23
§ 5. Информация об опасных и особо опасных гидрологических явлениях на морях и океанах 36
Вопросы и задания 40

Глава II. **Оперативное гидрологическое обеспечение морских отраслей народного хозяйства** 41

§ 1. Состав и порядок гидрологического обеспечения . . . . . —
§ 2. Информация о текущем состоянии морей и океанов 42
§ 3. Информация об ожидаемом состоянии моря 44
§ 4. Предупреждения об опасных и особо опасных гидрологических явлениях 49
§ 5. Рекомендации по использованию оперативных гидрологических материалов 50
§ 6. Взаимодействие оперативных органов Гидрометслужбы и народнохозяйственных организаций 52
§ 7. Изучение влияния морских гидрологических условий на деятельность обслуживаемых организаций 56
Вопросы и задания 60

Глава III. **Фонд научно-оперативных материалов по морским гидрологическим прогнозам** 61

§ 1. Содержание материалов, составляющих научно-оперативный фонд . . . . . —

§ 2. Материалы гидрологических и метеорологических наблюдений . . 61
§ 3. Графические и картографические материалы 66
§ 4. Научно-методические материалы и литературные источники . . . 70
§ 5. Составление каталога показателей опасности гидрологических явлений 74
§ 6. Создание и пополнение научно-оперативного фонда, учет и хранение 78
Вопросы и задания 79

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

МОРСКИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ

Глава I. **Основы разработки и оценки методов прогнозов** 80
§ 1. Физические основы морских гидрологических прогнозов . . . . . —
§ 2. Подразделение морских гидрологических прогнозов 82
§ 3. Основные приемы разработки методов морских гидрологических прогнозов 84
§ 4. Методы графического и аналитического выражения зависимостей. Линейная корреляция между двумя и тремя переменными . . . 90
§ 5. Показатели атмосферной циркуляции, применяемые при разработке морских гидрологических прогнозов 101
§ 6. Расчеты скорости и направления ветра над морями 111
§ 7. Оценка качества методов и оправдываемости морских гидрологических прогнозов 114
Вопросы 118

Глава II. **Прогнозы волнения и их оценка** . . . . . —
§ 1. Предварительные замечания . . . . . —
§ 2. Факторы, определяющие развитие волн 120
§ 3. Методы расчетов и прогнозов элементов волн глубокого моря 122
§ 4. Прогнозы волн в мелком море 131
§ 5. Оформление и проверка прогнозов волнения 132
Вопросы и задания 133

Глава III. **Прогнозы течений** . . . . . —
§ 1. Общие положения . . . . . —
§ 2. Прогнозы ветровых течений по эмпирическим зависимостям . . . 134
§ 3. Методы прогноза суммарных течений в проливах 137
§ 4. Прогнозы течений, основанные на учете полей атмосферного давления 138
Вопросы и задания 141

Глава IV. **Прогнозы колебаний уровня моря** . . . . . —
§ 1. Общие положения . . . . . —
§ 2. Эмпирические методы прогноза колебаний уровня, основанные на учете градиентов давления 142
§ 3. Методы прогноза колебаний уровня, основанные на учете полей атмосферного давления 147
§ 4. Долгосрочные прогнозы хода уровня Каспийского моря 150
Вопросы 152

Глава V. **Краткосрочные прогнозы температуры воды** 153
§ 1. Предварительные замечания . . . . . —
§ 2. Методы прогноза температуры воды, основанные на учете теплового баланса . . . . . —
§ 3. Прогноз вертикального распределения температуры воды 157
Вопросы 161

Глава VI. **Краткосрочные прогнозы ледовых условий** . . . . . —

§ 1. Общие положения 161
§ 2. Краткосрочные прогнозы дат первого появления льда в мелководных районах моря 162
§ 3. Краткосрочные прогнозы дат появления льда в открытом море и образования льда определенной толщины 165
§ 4. Краткосрочные прогнозы весенних ледовых явлений 167
§ 5. Расчет и прогноз толщины льда 169
§ 6. О прогнозе дрейфа льдов 172
§ 7. Прогноз распределения льдов в Арктическом бассейне 174
Вопросы 176

Глава VII. **Долгосрочные прогнозы температуры воды и ледовых условий** . . . . . —

§ 1. Прогнозы температуры воды . . . . . —
§ 2. Долгосрочный прогноз распределения температуры воды по площади 178
§ 3. Долгосрочные прогнозы ледовых условий 179
Вопросы 187

Глава VIII. **Рекомендуемые курсы плавания судов в океане** . . . . . —

§ 1. Общие замечания . . . . . —
§ 2. Основы выбора рекомендуемых курсов плавания 188
§ 3. Расчет потерь скорости хода судна 189
§ 4. Методы расчета рекомендуемых курсов 191
§ 5. Гидрометеорологическая информация, используемая при расчетах рекомендуемых курсов 195
§ 6. Оценка эффективности обслуживания судов рекомендуемыми курсами 196
Вопросы и задания 198
Приложения 199
Список литературы 214

Зыядин Каюмович Абузяров
Юрий Иванович Шамраев

МОРСКИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИИ И ПРОГНОЗЫ

Редактор Л. И. Штанникова.
Техн. редактор М. И. Брайнина
Переплет Б. Н. Осенчакова
Корректор И. А. Крайнева

Сдано в набор 31/I 1974 г. Подписано к печати 30/IV 1974 г. М-06263. Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. № 1. Печ. л. 13,75. Уч.-изд. л. 15,16. Тираж 2000 экз. Индекс ОЛ-110. Заказ № 113. Цена 71 коп.
Гидрометеоиздат. 199053. Ленинград, 2-я линия, д. 23.

Ленинградская типография № 8 «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
190000. Ленинград, Прачечный пер., д. 6.