МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИИ МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РОСГИДРОМЕТ)

Р У К О В О Д Я Щ И Й Д О К У М Е Н Т

РД 52.27.759-2011

НАСТАВЛЕНИЕ ПО СЛУЖБЕ ПРОГНОЗОВ

Раздел 3

Часть III

Служба морских гидрологических прогнозов

Место
Издательская организация
2011

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН	Федеральным государственным бюджетным учреждением «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации» (ФГБУ «Гидрометцентр России»)
2 РАЗРАБОТЧИКИ	З.К. Абузяров, канд. геогр. наук; Е.С. Нестеров, д-р геогр. наук (научный редактор); В.А. Мартыщенко (руководитель разработки)
3 СОГЛАСОВАН	УМЗА Росгидромета
4 УТВЕРЖДЕН	руководителем Росгидромета А.В. Фроловым
5 ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ	приказом Росгидромета
6 ОДОБРЕН	Центральной методической комиссией по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета 25 июня 2010 г.
7 ЗАРЕГИСТРИРОВАН	ЦМТР ФГБУ «НПО «Тайфун», за номером РД 52.27.759-2011 от 21.11.2011 г.
8 ВЗАМЕН	«Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Часть III. Служба морских гидрологических прогнозов». Изд. 3-е. 1982 г. и «Наставление по службе прогнозов. Раздел 2. Служба метеорологических прогнозов. Части III, IV, V», разделы 8, 9, 10. Изд. 1981 г.

Содержание

1 Область применения..... 1

2 Нормативные ссылки..... 1

3 Термины, определения и сокращения..... 2

4 Служба морских гидрологических прогнозов..... 9

4.1 Общие положения..... 9

4.2. Морская гидрометеорологическая наблюдательная сеть..... 10

4.3 Порядок сбора, обработки и распространения гидрометеорологической информации..... 12

4.4 Фонд научно-оперативных материалов СМГП 16

4.4.1 Содержание материалов, составляющих научно-оперативный фонд СМГП..... 16

4.4.2 Каталог опасных морских гидрометеорологических явлений..... 20

`5 Порядок составления и выпуска прогнозов и штормовых предупреждений

5.1 Виды прогнозов..... 22

5.2 Порядок составления и выпуска прогнозов..... 22

5.3 Порядок составления и выпуска штормовых предупреждений и оповещений..... 24

5.4 Подготовка и передача гидрометеорологической информации для ГМССБ..... 28

5.4.1 Общие положения..... 33

5.4.2 Подготовка и передача гидрометеорологической информации по системе НАВТЕКС..... 33

5.4.3 Подготовка и передача гидрометеорологической информации по системе SafetyNET..... 34

5.5 Подготовка и распространение гидрометеорологической информации в центрах ЕСИМО..... 40

6 Терминология, применяемая в морских гидрологических прогнозах и штормовых предупреждениях..... 43

6.1 Общие положения..... 43

6.2 Термины и определения, применяемые в прогнозах волнения, течений, уровня и температуры воды..... 44

6.3 Термины, применяемые в прогнозах ледовых фаз и ледового состояния морей..... 46
6.4 Термины, применяемые в прогнозах обледенения рыболовных судов..... 48
6.5 Термины, применяемые в прогнозах тягуна..... 48
7 Оценка качества методов прогноза и успешности прогнозов и штормовых предупреждений..... 48
7.1 Оценка качества методов прогноза..... 48
7.1.1 Общие положения..... 48
7.1.2 Критерии качества методов прогноза..... 49
7.1.3 Оценка эффективности методов прогноза..... 51
7.1.4 Особые случаи оценки методов прогнозов..... 54
7.2 Оценка успешности прогнозов и штормовых предупреждений..... 57
7.2.1 Допустимые ошибки и оценка прогнозов..... 57
7.2.2 Критерии, используемые при оценке прогнозов..... 60
7.3 Оценка прогнозов различных морских гидрологических элементов..... 62
7.3.1 Общие положения..... 62
7.3.2 Оценка прогнозов полей распределения морских гидрологических элементов..... 63
7.3.3 Особые случаи оценки прогнозов..... 66
7.3.4 Оценка краткосрочных и среднесрочных прогнозов..... 66
7.3.4.1 Прогнозы ледовых условий..... 66
7.3.4.2 Прогнозы уровня, течений и температуры воды..... 70
7.3.5 Оценка штормовых предупреждений..... 71
7.3.6 Оценка долгосрочных ледовых прогнозов по арктическим морям..... 75
7.3.6.1 Основные критерии и принципы оценки..... 75
7.3.6.2 Оценка прогнозов взлома и окончательного разрушения припая 79
7.3.6.3 Оценка прогнозов ледовитости моря и площадей ледяных массивов..... 80
7.3.6.4 Оценка прогнозов распределения льда..... 81
7.3.6.5 Оценка прогнозов устойчивого ледообразования и нарастания молодого льда..... 83
7.3.6.6 Оценка прогнозов навигационных рекомендаций..... 84
7.3.7 Оценка долгосрочных ледовых прогнозов по неарктическим морям..... 86

7.3.8 Оценка долгосрочных прогнозов аномалий температуры поверхности океана..... 87
7.3.9 Оценка сверхдолгосрочных прогнозов уровня Каспийского моря..... 89
7.3.10 Оценка прогнозов, выраженных в вероятностной форме..... 89
7.4 Оценка эффективности специализированных прогнозов..... 91
7.5 Анализ оправдываемости прогнозов и штормовых предупреждений..... 97
8 Составление и оформление методической записки..... 100
Приложение А (обязательное) Карточка морской гидрометеорологической станции (поста)..... 103
Приложение Б (обязательное) Карточка опасного морского гидрометеорологического явления 103
Приложение В (обязательное) Карточка хозяйственного объекта 104
Приложение Г (рекомендуемое) Бланковые карты морей и океанов 105
Приложение Д (обязательное) Журнал учета карточек каталога ОЯ..... 106
Приложение Е (обязательное) Журнал учета штормовых предупреждений..... 106
Приложение Ж (обязательное) Журнал учета экстренной информации..... 107
Приложение И (обязательное) Сведения об ОЯ за месяц (год)..... 107
Приложение К (рекомендуемое) Номенклатура информационных ресурсов об обстановке в Мировом океане центра ЕСИМО ФГБУ «Гидрометцентр России»..... 108
Приложение Л (рекомендуемое) Формы оценки прогнозов 111
Приложение М (рекомендуемое) Журнал учета и оценки краткосрочных и среднесрочных прогнозов..... 120
Приложение Н (рекомендуемое) Журнал учета и оценки долгосрочных прогнозов 120
Приложение П (справочное) Оценка вариации гидрометеорологических переменных и связи между ними 121
Библиография..... 185

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

НАСТАВЛЕНИЕ
ПО СЛУЖБЕ ПРОГНОЗОВ
Раздел 3
Часть III
СЛУЖБА МОРСКИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

Дата введения 01.03.2012 г.

1 Область применения

1.1 Настоящий руководящий документ устанавливает общие требования к подготовке и выпуску морских гидрологических прогнозов (далее – прогнозы) и штормовых предупреждений различной заблаговременности общего и специализированного назначения и оценке эффективности методов прогнозов и качества предоставляемой потребителям морской гидрометеорологической информации (далее – гидрометеорологическая информация).

1.2 Настоящий руководящий документ предназначен для службы морских гидрологических прогнозов, функционирующей на базе научно-исследовательских учреждений и территориальных управлений Росгидромета морской направленности и осуществляющих гидрометеорологическое обеспечение различных видов морской деятельности.

2 Нормативные ссылки

В настоящем руководящем документе использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 18458-84 Приборы, оборудование и плавсредства наблюдений в морях и океанах. Термины и определения

РД 52.04.316-1992 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 9. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях. Часть II. Гидрометеорологические наблюдения на судовых станциях, производимые штатными наблюдателями. Книга 1. Общие методические требования к организации и обеспечению

гидрометеорологических и актинометрических наблюдений на судах. Книга 2. Методики выполнения гидрометеорологических наблюдений на судах

РД 52.04.567-2003 Положение о государственной наблюдательной сети

РД 52.04.614-2000 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3. Часть II. Обработка материалов метеорологических наблюдений

РД 52.04.663-2005 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 9. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях. Часть II. Гидрометеорологические наблюдения на судовых станциях, производимые штатными наблюдателями. Книга 3. Общие требования к программному обеспечению первичной обработки и архивации результатов судовых наблюдений гидрометеорологических и актинометрических величин. Журнал КГМ-15 для записи судовых гидрометеорологических наблюдений

РД 52.14.642-2005 Текстовые документы. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению

РД 52.19.143-2010 Перечень документов архивного фонда данных о состоянии окружающей среды, ее загрязнении

РД 52.27.723-2009 Базовые требования к технологии подготовки краткосрочных прогнозов погоды

РД 52.27.724-2009 Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения

РД 52.88.699-2008 Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений

3 Термины, определения и сокращения

3.1 В настоящем руководящем документе использованы следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **автоматизированное рабочее место; АРМ:** Индивидуальный комплекс технических и программных средств, предназначенный для автоматизации профессионального труда специалиста и обеспечивающий подготовку, редактирование, поиск и выдачу (на экран и печать) необходимых ему документов и данных, АРМ может быть реализован в виде автономной автоматизированной системы на ПЭВМ или являться терминалом автоматизированной системы.

3.1.2 **банк данных;** БД: Система программных, языковых, организационных и технических средств, предназначенных для централизованного накопления и коллективного многоаспектного использования данных.

3.1.3 **береговая земная станция;** БЗС: Стационарное наземное радиоустройство, действующее как соединительное звено между наземной сетью и спутниками ИНМАРСАТ в Морской подвижной спутниковой связи.

3.1.4 **внутренние морские воды Российской Федерации**: Воды, расположенные в сторону берега от исходных линий, от которых отмеряется ширина территориального моря Российской Федерации [1].

Внутренние морские воды являются составной частью территории Российской Федерации.

3.1.5 **гидрометеорологическое обеспечение:** Совокупность работ по своевременному и наиболее полному удовлетворению запросов потребителей гидрометеорологической информацией.

3.1.6 **государственная наблюдательная сеть**: Система стационарных и подвижных пунктов наблюдений, в том числе постов, станций, лабораторий, центров, бюро, обсерваторий, предназначенных для наблюдений за физическими и химическими процессами, происходящими в окружающей природной среде.

3.1.7 **информационная продукция:** Полученная в результате обработки сведений (данных) обобщенная информация, предназначенная для распространения или реализации [2].

Примечание - информационная продукция является конечным результатом деятельности по сбору и обработке полученных в результате наблюдений данных и включает в себя специализированную, экстренную информацию и информацию общего назначения.

3.1.8 **информация о состоянии окружающей среды, ее загрязнении:** Сведения (данные), полученные в результате мониторинга окружающей среды, ее загрязнения.

3.1.9 **информация общего назначения:** Полученная и обработанная в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти в области гидрометеорологии и смежных с ней областях, предоставляемая пользователям (потребителям) бесплатно информация о фактическом и прогнозируемом состоянии окружающей природной среды, ее загрязнении.

3.1.10 **информация по обеспечению безопасности на море**: Навигационные и метеорологические предупреждения, метеорологические прогнозы и другие срочные сообщения, относящиеся к обеспечению безопасности, передаваемые на суда [3].

3.1.11 **координатор НАВТЕКС**: Полномочный орган, которому поручено эксплуатировать и осуществлять управление одной или более станциями НАВТЕКС радиопередачи информации для обеспечения безопасности на море в качестве части Международной службы НАВТЕКС [4].

3.1.12 **координатор МЕТЗОНЫ**: Полномочный орган, которому поручено координировать радиопередачу информации для обеспечения безопасности на море посредством одной или нескольких национальных метеорологических служб, действующих в качестве подготавливающих или выпускающих служб для данной МЕТЗОНЫ [4].

3.1.13 **Международная служба НАВТЕКС**: Система для координированной радиопередачи и автоматического приема на частоте 518 кГц информации по безопасности на море с помощью узкополосной буквопечатающей телеграфии с использованием английского языка [3].

Примечание – национальная служба НАВТЕКС использует язык по решению соответствующего органа.

3.1.14 **Международная служба SafetyNET**: Система для координируемой передачи и автоматизированного приема информации по обеспечению безопасности на море через систему расширенного группового вызова ИНМАРСАТа с использованием английского языка и в соответствии с положениями Международной конвенции по обеспечению безопасности жизни на море (СОЛАС) 1974 г. с учетом поправок к ней [4].

3.1.15 **МЕТЗОНА**: Географическая морская зона, определенная для целей координирования радиопередач морской гидрометеорологической информации. Термин МЕТЗОНА сопровождается римской цифрой, которая используется для обозначения конкретной области моря. Границы таких областей не имеют отношение и не должны ставить под сомнение любые границы между государствами [4].

3.1.16 **морская гидрометеорологическая информация:** Совокупность сведений, включающих данные морских метеорологических и гидрологических наблюдений наземного и космического базирования, и информационная продукция.

3.1.17 **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 океана и атмосферы и учитывающие местные физико-географические условия.

3.1.18 **НАВАРЕА/МЕТАРЕА**: Географический морской район, установленный для координации передачи по радио навигационных и метеорологических предупреждений.

3.1.19 **обработка результатов наблюдений**: Совокупность процедур и правил по подготовке гидрометеорологической информационной продукции для передачи ее потребителям и (или) в фонды постоянного хранения данных для дальнейшего использования (по РД 52.04.614).

3.1.20 **опасное природное явление (ОЯ):** Гидрометеорологическое явление, которое по интенсивности развития, продолжительности или моменту возникновения могут представлять угрозу жизни или здоровью граждан, а также могут наносить значительный материальный ущерб (по РД 52.88.699).

К гидрометеорологическим явлениям относятся морские метеорологические и гидрологические явления или их сочетания, возникающие на акватории морей и океанов.

3.1.21 **оправдываемость морских гидрологических прогнозов:** Степень соответствия прогнозируемых гидрометеорологических величин и явлений фактически наблюдавшимся.

3.1.22 **оправдываемость штормовых предупреждений:** Степень соответствия прогнозируемых характеристик ОЯ фактически наблюдавшимся значениям морских метеорологических и гидрологических величин) (по РД 52.27.724).

3.1.23 **пользователь (потребитель) информации**: Субъект, обращающийся к информационной системе или посреднику за получением необходимой ему информации и пользующийся ею.

3.1.24 **порт:** Участок берега и прилегающий район и акватория, где размещен комплекс сооружений и устройств для полного обслуживания судов.

3.1.25 **прогноз общего назначения**: прогноз, публикуемый для общего сведения и не имеющий определенного потребителя.

3.1.26 **служба информации по безопасности на море**: Координационная служба навигационных предупреждений и морских метеорологических и гидрологических прогнозов и оповещений о бедствии.

3.1.27 **специализированная информация;** СИ: Информация, которая предоставляется по заказу пользователя (потребителя) и за счет его средств.

3.1.28 **специализированный прогноз:** прогноз, составленный по заказу определенного потребителя, на договорной основе.

3.1.29 **территориальное море Российской Федерации:** Примыкающий к сухопутной территории или к внутренним морским водам морской пояс шириной 12 морских миль, отмеряемых от исходных линий, указанных в статье 4 Федерального закона (внешняя граница территориального моря является государственной границей Российской Федерации) [1].

3.1.30 **Центр ЕСИМО**: Организация, наделенная полномочиями выполнять функции ЕСИМО в соответствии с документом «Порядок и регламент деятельности центра ЕСИМО» [5].

3.1.31 **штормовое предупреждение***:* Информация о прогнозируемом ОЯ (по РД 52.88.699).

3.1.32 **штормовое оповещение**: Информация о начавшемся ОЯ (по РД 52.88.699).

3.1.33 **экстренная информация**: Незамедлительно передаваемые штормовые предупреждения и/или штормовые оповещения, а также незамедлительно передаваемая информация о фактических и прогнозируемых резких изменениях погоды и загрязнения окружающей среды, которые могут угрожать жизни или здоровью граждан и наносить ущерб окружающей среде [2].

3.1.34 **эффективность прогноза или штормового предупреждения:** Комплексная характеристика успешности прогноза или штормового предупреждения, учитывающая его оправдываемость и заблаговременность.

3.2 В настоящем руководящем документе применены следующие сокращения:

АРГО	– Международный проект по размещению в Мировом океане системы всплывающих буев;
АРМ	– автоматизированное рабочее место;
АСПД	– автоматизированная система передачи данных;
БД	– база данных;
БЗС	– береговая земная станция;
ВМО	– Всемирная метеорологическая организация;
ВНИРО	– Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии;
ГМБ	– гидрометеорологическое бюро;
ГМЦ	– гидрометеорологический центр;
ГМССБ	– Глобальная морская система связи при бедствии и для обеспечения безопасности;

ГСТ	– Глобальная система телесвязи;
ЕСИМО	– Единая система информации об обстановке в Мировом океане;
ИБМ	– информация по обеспечению безопасности на море;
ИНМАРСАТ	– международная система подвижной спутниковой связи;
КРС	– кустовые радиостанции;
МИНКОМСВЯЗЬ	– Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации;
МИНТРАНС	– Министерство транспорта Российской Федерации;
ММЦ	– Мировой метеорологический центр;
МОК	– Международный олимпийский комитет;
МО РФ	– Министерство обороны Российской Федерации;
МПР РФ	– Министерство природных ресурсов Российской Федерации;
МСКЦ	– морской спасательный координационный центр;
МЧС России	– Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий;
НИИ	– научно-исследовательский институт;
НИС	– научно-исследовательское судно;
НИЦ ГОСНИНГИ МО ГУП РФ	– Государственный научно-исследовательский навигационный и гидрографический институт Минобороны РФ;
НМЦ	– Национальный метеорологический центр;
НПО	– научно-производственное объединение;
ОНС	– организация наблюдательной сети;
РГВ	– расширенный групповой вызов;
РМЦ	– радиометеорологический центр;
РОСГИДРОМЕТ	– Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды;
РОСРЫБОЛОВСТВО	– Федеральное агентство по рыболовству;
РСЧС	– Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
СБД	– специализированная база данных;
СИ	– специализированная информация;

СМГП	– служба морских гидрологических прогнозов;
СМГМО	– специализированное морское гидрометеорологическое обеспечение;
СОЛАС	– Международная конвенция по охране человеческой жизни на море;
СРБД	– система распределенных баз данных;
ТПО	– температура поверхности океана;
УГМК	– Управление гидрометеорологии и кадров Росгидромета;
УГМАВ	– Управление геофизического мониторинга активных воздействий и государственного надзора Росгидромета;
УГМС	– Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды;
УМЗА	– Управление мониторинга загрязнения окружающей среды, полярных и морских работ Росгидромета;
ФГУ «Дальневосточный РЦПОД»	– Федеральное государственное учреждение «Дальневосточный региональный центр приема и обработки данных»;
ФГБУ «ААНИИ»	– Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт»;
ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета»	– Главный центр информационных технологий и метеорологического обслуживания авиации;
ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»	– Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных;
ФГБУ «Гидрометцентр России»	– Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации;
ФГБУ «ГОИН»	– Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова;
ФГБУ «ДВНИГМИ»	– Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт;
ФГБУ «РФИ Минприроды России»	– Главный научно-исследовательский и информационно-вычислительный центр Министерства природных ресурсов Российской Федерации;

ФГУП «ВНИРО»	– Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»;
ЦБМД	– централизованная база метаданных;
ЦГМС	– областной (республиканский, краевой, окружной и др.) центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета;
ЦМКП	– Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиофизическим прогнозам Росгидромета;
ЦРС	– центральная радиостанция;
ЧС	– чрезвычайная ситуация;
SafetyNET	– система передачи и автоматизированного приема информации по обеспечению безопасности на море через расширенный групповой вызов ИНМАРСАТА с использованием английского языка для удовлетворения требований КОНВЕНЦИИ СОЛАС;
UTS	– всемирное скоординированное время.

4 Служба морских гидрологических прогнозов

4.1 Общие положения

4.1.1 Служба морских гидрологических прогнозов (СМГП) функционирует на базе научно-исследовательских учреждений и территориальных управлений Росгидромета морской направленности и осуществляет гидрометеорологическое обеспечение различных видов морской деятельности.

4.1.2 Гидрометеорологическое обеспечение согласно [6] включает в себя:

– предоставление прогнозов и штормовых предупреждений в форме морских метеорологических бюллетеней, карт, таблиц и т.д.;

– осуществление гидрометеорологической поддержки морских операций по поиску и спасению;

– предоставление специализированной информации;

– предоставление консультаций и экспертных заключений.

4.1.3 Объектами гидрометеорологического обеспечения являются федеральные и региональные органы власти, население, государственные и коммерческие производственные предприятия и организации, связанные морем [2].

4.1.4 В функциональные обязанности СМГП входит:

– регулярное получение гидрометеорологической информации о текущем гидрометеорологическом состоянии морей и океанов, включая сведения об опасных природных явлениях (ОЯ);

– обработка, контроль и оперативный анализ гидрометеорологической информации, поступающей по различным каналам связи;

– составление прогнозов различной заблаговременности и доведение их до потребителя;

– разработка новых и усовершенствование существующих методов и технологий диагноза и прогноза гидрометеорологических характеристик моря и оценка их качества;

– ведение фонда научно-оперативных материалов СМГП;

– анализ результатов прогнозов и штормовых предупреждений;

– составление и оформление методической записки, на основании которой составляются морские гидрологические прогнозы.

4.1.5 Организации СМГП должны обеспечивать современные требования к оперативности, информативности и качеству предоставляемой потребителю информационной продукции, в том числе по РД 52.27.723.

4.1.6 Деятельность организаций СМГП регламентируется нормативными правовыми актами и рекомендациями ВМО/МОК согласно [1–5, 7]

4.2 Морская гидрометеорологическая наблюдательная сеть

4.2.1 Морская гидрометеорологическая наблюдательная сеть (далее - наблюдательная сеть) состоит из систем наземных и дистанционных пунктов наблюдений в соответствии с РД 52.04.567.

Элементами системы наземных пунктов наблюдений являются прибрежные и островные гидрометеорологические станции и посты (далее станции и посты), судовые станции, организованные на судах Росгидромета и судах зарубежных стран, выполняющие добровольные наблюдения по программе ВМО согласно РД 52.04.316, корабли погоды, экспедиционные суда, автоматические стационарные и дрейфующие буйковые станции.

Элементами дистанционных пунктов наблюдений являются спутники, самолеты, радиолокаторы.

Основным назначением наблюдательной сети является проведение систематических наблюдений за состоянием морской среды в открытых, прибрежных и устьевых районах морей и океанов.

4.2.2 Поступающие данные используются для:

– подготовки оперативных диагностических и прогностических материалов;

– выполнения научных исследований по разработке математических моделей и методов расчета и прогноза основных параметров морской природной среды, включая загрязнение моря;

– расчета климатических характеристик и для получения необходимых расчетных параметров, из которых исходят при проектировании судов, платформ, портовых сооружений и т.д.

4.2.3 Наблюдательная сеть организуется и развивается таким образом, чтобы обеспечить нормальную работу по гидрометеорологическому обеспечению.

Она должна удовлетворять следующим основным принципам:

– максимально полное и своевременное удовлетворение запросов потребителей;

– репрезентативность (надежность наблюдений) наблюдательных пунктов;

– объективная характеристика особенностей гидрометеорологического режима морей с учетом их размеров и конфигурации, наличия островов, заливов и проливов;

– наличие каналов связи (телеграф, телефон, радио и др.).

4.2.4 Размещение наземных станций и постов следует производить с таким расчетом, чтобы обеспечить всестороннее изучение гидрометеорологического режима, а также выполнение задач по оперативному гидрометеорологическому обеспечению потребителей.

Станции и посты организуются с учетом следующих факторов:

– степени изменчивости наблюдаемых гидрометеорологических величин и явлений, геофизических характеристик и уровня загрязнения природной среды;

– точности измерения (наблюдения), необходимой для обслуживания потребителей;

– необходимости иметь сведения о состояния окружающей среды по данному району.

4.2.5 Основным источником информации о гидрометеорологическом состоянии открытых районов морей и океанов являются данные наблюдений судовых станций,

которые передаются в береговые центры сбора четыре раза в сутки (за 00, 06, 12 и 18 ч UTC). Дополнительно, вне очереди, они также передают информацию об ОЯ.

4.2.6. Значительная часть информации поступает с океанских дрейфующих и стационарных буев, автоматически измеряющих метеорологические и гидрологические параметры (ветер, температуру, соленость и т.д.) и передающих их через спутник на береговые центры сбора информации.

4.2.7 Наблюдения по международной программе АРГО являются специфическим видом глубоководных океанографических наблюдений, охватывающих всю толщу мирового океана. Буи АРГО передают через спутниковые системы в береговые центры информацию о вертикальном распределении температуры и электропроводности/солености морской воды, а также позволяют получать данные о течениях на поверхности моря и глубине дрейфа.

4.2.8 Важную роль играют сведения, регулярно получаемые с ИСЗ. Снимки с ИСЗ в первую очередь используются для составления карт ледовых условий, карт распределения температуры поверхности моря, для определения зон штормового волнения и положения тропических циклонов, зон подъема глубинных холодных вод (апвеллинга), положения гидрологических фронтов и т.д.

С помощью спутниковых снимков также определяют положение береговой линии, положение кромки неподвижного льда, границы различной сплоченности льда, положение крупных разводий, полыней, а также форму и размеры больших ледяных полей.

4.2.9 Значительная часть информации поступает в СМГП в рамках международного сотрудничества по линии ВМО/МОК. Порядок международного обмена и процедуры обработки осуществляются через кооперацию всех морских стран, членов ВМО, участвующих в этом процессе на бесплатной основе. Международный обмен информацией регламентируется соответствующими решениями ВМО/МОК [8, 9].

4.2.10 Предоставление информации частным фирмам и компаниям осуществляется на договорных условиях за плату с пересчетом на цены мирового рынка.

4.3 Порядок сбора, обработки и распространения гидрометеорологической информации

4.3.1 Результаты гидрометеорологических наблюдений, полученные с наблюдательной сети в соответствии с РД 52.04.614 и РД 52.04.663, составляют основу баз данных (БД) различных видов и назначений, которые используются для составления

прогнозов и штормовых предупреждений, а также для описания гидрометеорологического режима и климата морей и океанов.

4.3.2 Сбор данных наблюдений осуществляется в «Оперативном режиме» и «Задержанном режиме».

4.3.3 «Оперативный режим» предполагает передачу по каналам телесвязи данных наблюдений, прошедших первичную обработку, в ближайший установленный регламентом срок после производства наблюдений.

4.3.4 Система сбора в «Задержанном режиме» осуществляется в соответствии с ведомственными схемами и с применением программно-технологических средств занесения на носитель, контроля и данных наблюдений в ведомственные Центры данных: ФГБУ «Гидрометцентр России» (оперативная информация), ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (гидрометеорология, океанография и загрязнение морей и океанов), ФГБУ «ААНИИ», НИЦ ГОСНИНГИ МО РФ, ФГУП «ВНИРО» Федерального Агентства по рыболовству (биология), ФГБУ «РФИ Минприроды России» (морская геология и геофизика).

4.3.5 Система сбора и распространения гидрометеорологической информации включает следующие центры и узлы связи:

– ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» в Москве, выполняющее функции регионального узла глобальной сети телесвязи ВМО и Главного центра национальной сети по обмену оперативной гидрометеорологической информацией;

– службы АСПД в Новосибирске, Хабаровске, выполняющие функции регионального узла телесвязи ВМО;

– службы АСПД, выполняющие функции территориальных центров по зонам ответственности соответствующих территориальных управлений Росгидромета;

– центральные радиостанции и кустовые радиостанции), установленные на труднодоступных и полярных гидрометеорологических станциях;

– центры сбора гидрометеорологической информации по видам наблюдений (физическая океанография и гидрометеорология – ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»); (загрязнение морской среды – ФГБУ «ГОИН»); (морские льды – ФГБУ «ААНИИ»); (спутниковые наблюдения – ФГБУ «НИЦ «Планета»).

Эти системы обеспечивают оперативное доведение информации до прогностических центров и потребителей, а также неоперативное доведение данных до Центров сбора и Госфонда.

4.3.6 Гидрометеорологическая информация подразделяются на регулярную и эпизодическую:

а) к регулярной гидрометеорологической информации относятся ежедневные сводки погоды и состояния поверхности моря, поступающие в течение всего года с береговых и судовых станций, с океанских буев, а также с ИСЗ.

б) к эпизодической гидрометеорологической информации относятся сведения об ОЯ, а также специально запрашиваемые сведения, необходимые для обслуживания специальных морских операций, непредусмотренных текущими планами обслуживания.

4.3.7 Регулярная гидрометеорологическая информация передаются в закодированном виде, эпизодические данные об ОЯ открытым текстом.

4.3.8 Передача осуществляется по национальным и международным кодам ВМО.

4.3.9 Для передачи сообщений морских наблюдений с береговых станций внутри России используется национальный код КН-02. Судовые наблюдения кодируются в международном коде КН-01с.

4.3.10 Данные спутниковых наблюдений принимаются и обрабатываются пунктами приема спутниковой информации, после чего по каналам связи передаются в прогностические центры для использования в оперативной практике.

4.3.11 Данные о ледовой обстановке в районах Крайнего Севера и Арктики поступает с судов, самолетов ледовой разведки, береговых станций в центр сбора ледовой информации – ФГБУ «ААНИИ», где она используется для составления ледовых карт, накапливается и хранится.

4.3.12 Данные с НИС Росгидромета для оперативных целей передаются по радиосвязи в ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» в виде телеграмм, а по окончании рейсов оформляются в виде отчетов о рейсах и массивов данных, которые сдаются в Единый государственный фонд данных по гидрометеорологии и загрязнению природной среды, функционирующий на базе ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Единый фонд данных составляет документы, содержащие информацию общего назначения и специализированную информацию.

4.3.13 Данные наблюдений с судов передаются по каналам радиосвязи через соответствующие радиостанции пароходств.

4.3.14 Капитаны и штурманский состав российских судов, находящихся в открытых водах Мирового океана и прибрежных зонах, для упрощения работы с полученной гидрометеорологической информации от прогностических организаций Росгидромета должны использовать Атлас [10].

Цифровой индекс, присвоенный каждому району, позволяет сократить и упростить текст сообщения, а, следовательно, и время доведения гидрометеорологической

информации до потребителя. Капитаны судов, посылая запрос в оперативные подразделения НМС на получение гидрометеорологической информации по интересующему их району моря или океана, должны указать местонахождение судна или цифровое обозначение района, по которому необходимо передать гидрометеорологическую информацию.

4.3.15 Достоверность наблюдений, поступающих с сети, обеспечивается единообразием средств измерений, эффективностью процедур контроля, используемых для выявления ошибок, возникающих на разных стадиях обработки данных.

4.3.16 Поступающая с морской наблюдательной сети информация проходит несколько этапов обработки:

– первичная обработка, сортировка, контроль и комплектация данных;

– объективный анализ гидрометеорологических полей;

– подготовка и выпуск прогнозов.

4.3.17 Современная технология обработки данных основана на автоматизированной обработке результатов гидрометеорологических наблюдений. При необходимости вычисление обобщенных характеристик может выполняться вручную непосредственно на станции.

4.3.18 Основными средствами доведения гидрометеорологической информации до потребителя являются радио, почта, электронная почта, Интернет, телефакс, телефон, радио и телевидение, а также мобильные средства связи.

4.3.19 Для передачи штормовых предупреждений об ОЯ используется общегосударственный «горячий» радиотелефонный канал, предоставляемый прогностическим службам Росгидромета Минкомсвязи РФ, для передачи в приоритетном порядке предупреждений в местные административные органы.

4.3.20 Информирование о погоде и состоянии морей и океанов по телевидению производится метеорологами, находящимися на службе у телекомпаний по материалам, предоставляемым им прогностическими учреждениями Росгидромета. Они включаются в сводки новостей и транслируются один раз в сутки.

4.3.21 Международной системой связи для целей морского метеорологического и связанного с ней океанографического обслуживания является ГСТ ВМО. В соответствии с [8] основными функциями ГСТ являются:

– сбор данных наблюдений,

– передача гидрометеорологической информации в ММЦ, РМЦ и НМЦ.

4.3.22 Гидрометеорологическая информация передается на суда в соответствии с положениями ГМССБ с использованием системы НАВТЕКС для прибрежных районов и спутниковой системы SeftyNET для открытых районов морей и океанов, а также для прибрежных районов, не охваченных системой НАВТЕКС. Этими системами в настоящее время пользуются на практике подавляющее большинство мирового коммерческого судоходства.

4.3.23 Вопросы обеспечения морских прогностических подразделений гидрометеорологической информацией координируются УГМК Росгидромета.

4.3.24 Контроль за качеством гидрометеорологической информации, поступившей в СМГП, производится дежурным специалистом отдела морских гидрологических прогнозов. Контроль должен обеспечивать исключение (или исправление) обнаруживаемых ошибочных данных.

4.3.25 Наиболее эффективным является комплексный контроль.

Решение по каждой обнаруженной ошибке при комплексном контроле принимается на основе сопоставления показателей различных видов контроля, таких как:

– проверка взаимной согласованности данных о различных гидрометеорологических элементах, в пределах одного сообщения;

– сравнение с предыдущими данными (или с прогностическим значением гидрометеорологического элемента на рассматриваемый срок);

– проверка сообщаемых координат в судовых сводках принадлежности их акваториям морей и др.

4.3.26 О качестве поступающих данных с наблюдательной сети следует информировать соответствующие отделы морских УГМС, ведающие вопросами работы наблюдательной сети. Сведения о задержках телеграмм следует доводить до начальников узлов связи УГМС для принятия соответствующих мер.

4.4 Фонд научно-оперативных материалов СМГП

4.4.1 Содержание материалов, составляющих научно-оперативный фонд СМГП

4.4.1.1 Оперативная работа СМГП основывается на детальном изучении гидрометеорологического режима моря, на анализе условий формирования гидрологических явлений и научно-обоснованных методах их прогноза. Для этого в каждой организации СМГП должен быть создан свой фонд научно-оперативных

материалов (фонд), включающий материалы многолетних гидрологических и метеорологических наблюдений, дополнительные материалы по гидрографии, геологии, режиму устьев рек, материалы специальных исследований, аналитические обзоры состояния погоды и моря, методики прогноза и методические записки и т.д. Создание фонда научно-оперативных материалов является одной из первостепенных работ организаций СМГП.

4.4.1.2 Формирование фонда осуществляется:

– путем сбора, систематизации и соответствующей обработки накопленных материалов (например, составление специальных таблиц, графиков, карт и т.д.),

– путем ежегодного систематического пополнения новыми данными наблюдений и новыми материалами, полученными в результате научно-исследовательской и оперативной работы.

4.4.1.3 К фонду научно-оперативных материалов СМГП должны предъявляться следующие основные требования:

– в состав фонда должны входить данные наблюдений всех элементов гидрологического режима моря и все необходимые для составления прогнозов метеорологические данные, которые должны быть надежными и репрезентативными;

– материалы фонда должны наиболее полно освещать гидрометеорологический режим морей, должны быть обработаны в соответствии с требованиями методик прогноза с соблюдением единообразия форм и методов обработки материалов наблюдений;

– материалы фонда должны храниться так, чтобы обеспечивалась их полная сохранность.

Важным требованием является также учет и простота нахождения нужных материалов. Фонд не должен подменять архив или библиотеку. В нем должны находиться только те материалы, которые необходимы для оперативной и научно-методической работы СМГП.

4.4.1.4 В связи с большим разнообразием как гидрометеорологического режима морей, так и запросов потребителей на информационную продукцию, невозможно разработать единые требования к составу научно-оперативных материалов, подлежащих включению в фонд. Поэтому право решать вопрос о составе фонда и его ведении должно принадлежать самой организация СМГП.

4.4.1.5 Содержание и объем фонда должны определяться:

– особенностями гидрологического режима моря и степенью его изученности;

– потребностью обслуживаемых государственных и коммерческих организаций;

– потребностью в разработке той или иной методики прогноза.

4.4.1.6 Все материалы фонда можно разделить на три основные группы:

– материалы гидрометеорологических наблюдений;

– графические и картографические материалы;

– научно-методические и научно-оперативные материалы.

4.4.1.6.1 Материалы фонда, относящиеся к гидрометеорологическим наблюдениям, должны содержать Морские гидрометеорологические ежегодники и ежемесячники, а также журналы и таблицы с данными срочных наблюдений, данными многолетних наблюдений, а также материалы с выборками за год, сезон, месяц и декаду.

Кроме таблиц с основными гидрометеорологическими элементами, содержащимися в морских гидрометеорологических ежегодниках и ежемесячниках, в фонде СМГП целесообразно хранить дополнительно таблицы, в которые могут быть включены, например, даты перехода температуры воды через определенные градации, суммы проекций ветра на эффективное направление и др.

Материалы ледовых наблюдений должны включать данные по распределению и сплоченности льда по акватории морей, данные о сроках наступления ледовых явлений (первое появление льда, дата полного замерзания льда, даты вскрытия и полного очищения моря ото льда), о возрасте, форме и толщине льда, о высоте и плотности снега на льду, о положении кромок и границ льда и др.

Материалы о ледовом режиме моря должны оформляться в виде специальных таблиц, включающих в себя основные ледовые характеристики. По окончании каждого ледового сезона эти таблицы должны пополняться.

4.4.1.6.2 Графические и картографические материалы, включаемые в научно-оперативный фонд СМГП, делятся на три вида:

– материалы, составляемые на основе данных гидрометеорологических наблюдений после их специальной обработки. Эти материалы включают ежедневные гидросиноптические карты, составляемые по судовым данным (за четыре срока), атласы, построенные на основе многолетних наблюдений и работ отдельных экспедиций, карты состояния льдов, построенные по данным ИСЗ и судовым и береговым наблюдениям, карты распределения температуры поверхности океана (ТПО), составленные по данным ИСЗ, данным судовых и буйковых наблюдений.

– материалы, характеризующие гидрографические и другие физико-географические условия района деятельности СМГП должны включать административную карту обслуживаемой территории, физическую карту обслуживаемой территории, морские навигационные карты, батиметрические карты.

– материалы оперативного значения должны включать карты информационной морской сети с указанием на них береговых гидрометеорологических станций и постов, карты-схемы расположения хозяйственных объектов на территории, обслуживаемой данной СМГП.

4.4.1.6.3 К научно-методическим материалам относятся материалы, полученные при разработке методов прогнозов и методических указаний, а также каталоги литературы по морским гидрометеорологическим прогнозам, а также труды научно-исследовательских институтов, должны использоваться в оперативной работе как справочный материал.

4.4.1.6.4 К научно-оперативным материалам относятся:

– журналы учета успешности морских гидрологических прогнозов и штормовых предупреждений об ОЯ;

– журналы для регистрации прогнозов;

– каталог опасных отметок уровня воды и опасных градаций других гидрологических явлений;

– картотека морских информационных станций и постов;

– руководящие документы по вопросам СМГП, включающие важнейшие приказы и распоряжения Росгидромета, регламентирующие деятельность СГМП.

4.4.1.7 Основной формой учета материалов фонда является ведение каталога, в котором указываются номера, шифры материалов и место их хранения, сведения о содержании каждого вида материалов, периоде наблюдений.

4.4.1.8 Пополнение каталога должно вестись систематически, по мере поступления новых материалов. Рекомендуется иметь бумажные и компьютерные варианты каталогов, где каталожные карточки или соответствующие им файлы могут быть упорядочены по видам информации, по типам носителя и др.

4.4.1.9 Все прогнозы и составленные на основе их штормовые предупреждения подлежат учету и должны регистрироваться в специальных журналах и храниться.

4.4.1.10 Сроки хранения материалов документальных административных и технических материалов регламентируются РД 52.19.143 и относятся к подлинным документам, оригиналам, подлежащим официальному учету и передаче на хранение в архив учреждения.

4.4.2 Каталог опасных морских гидрометеорологических явлений

4.4.2.1 На станциях и постах составляется каталог опасных морских гидрометеорологических явлений (каталог ОЯ). Типовой перечень опасных природных явлений (в том числе морских гидрологических) приведен в РД 52.88.699.

4.4.2.2 Назначение каталога ОЯ – способствовать быстрому и точному определению хозяйственных объектов, которым угрожает опасность при ожидаемом по прогнозу развитии гидрометеорологического явления.

4.4.2.3 Каталог ОЯ представляет собой систематизированные сведения об ОЯ или сочетании гидрометеорологических явлений, которые образуют ОЯ, и о морских объектах, которым угрожают ОЯ.

4.4.2.4 Каталог ОЯ состоит из карточек морской гидрометеорологической станции (поста), карточек опасного морского гидрометеорологического явления, карточек хозяйственных объектов, альбомов распространения ОЯ и альбомов типовых ситуаций, вызывающих ОЯ, с приложением описания ОЯ.

4.4.2.5 Форма карточки морской гидрометеорологической станции (поста), приведенная в приложении А, содержит сведения о местоположении, типе станции (поста), дальности видимости горизонта и т.п.. Карточка станции (поста) включает в себя наименование всех хозяйственных объектов, для которых установлены опасные отметки уровня воды, тягуна и др. В графе «критерий опасности» в случае, если хозяйственный объект имеет несколько опасных отметок, помещается наименьшее значение.

4.4.2.6 Карточка морской гидрометеорологической станции (поста) имеет свой порядковый номер. Порядок нумерации осуществляется в последовательности, принятой в морских гидрологических ежемесячниках и ежегодниках.

4.4.2.7 Карточка опасного морского гидрометеорологического явления составляется по форме, приведенной в приложении Б. В карточке указываются название ОЯ, водный объект, перечень хозяйственных объектов, которым угрожает ОЯ, а также номера карточек этих хозяйственных объектов и других обособленных акваторий моря и т.п.

4.4.2.8 Карточка хозяйственного объекта (населенные пункты, склады, причалы, гидротехнические сооружения и другие объекты прибрежной инфраструктуры) составляется по форме, приведенной в приложении В. В ней должны указываться название хозяйственного объекта, а также конкретные данные о характере угрозы объекту. В эту же карточку должны заноситься сведения об имевших место вредных воздействиях опасных явлений на конкретный объект.

4.4.2.9 Альбом распространения ОЯ состоит из карт морей и океанов различного масштаба (приложение Г) и планов с нанесенными на них хозяйственными объектами и границами распространения ОЯ по прибрежной территории (например, границей затопления прибрежной территории во время штормовых нагонов, зонами воздействия наката волн во время штормового волнения и т.п.). Основное назначение этих карт – определение границ распространения опасного явления по территории. К альбому прилагается записка, в которой перечисляются исходные материалы и степень их надежности, характеристика наблюдавшихся ОЯ и другие необходимые пояснения. Записка составляется на основе отчетов о каждом прошедшем ОЯ и представляет полезное методическое пособие, в котором обобщаются синоптические и гидрологические условия, предшествующие развитию ОЯ.

4.4.2.10 Альбом типовых ситуаций, вызывающих ОЯ, является полезным методическим разделом каталога ОЯ. Он должен содержать различные гидросиноптические карты, освещающие гидрометеорологические условия, предшествующие и сопутствующие развитию ОЯ. Все необходимые пояснения на этих картах, учитывая оперативный характер их использования, должны быть предельно краткими и ясными [11]. К альбому должны быть приложены описания условий возникновения, интенсивности и последствий различных ОЯ.

4.4.2.11 Карточки каталога ОЯ должны систематически проверяться и пополняться на основании уточненных или новых сведений об опасных гидрометеорологических явлениях. В случае ликвидации какого-либо хозяйственного объекта, сведения о котором имеются в каталоге ОЯ, карточка этого хозяйственного объекта изымается и уничтожается. Одновременно все сведения о данном объекте вычеркиваются из карточек опасного морского гидрометеорологического явления с указанием причин изъятия. Все материалы об изменениях в карточках, копии новых карточек, относящихся к каталогу ОЯ, а также сведения об изъятии из каталога карточек с указанием причин изъятия пересылаются в ФГБУ «Гидрометцентр России». Обо всех изменениях в каталогах ОЯ сообщается в УГМС (ЦГМС).

4.4.2.12 Для учета всех карточек каталога ОЯ ведется журнал (форма журнала показана в приложении Д), в который заносятся все без исключения карточки каталога ОЯ сразу же после их заполнения или получения. При замене карточки с устаревшими сведениями на новую, в журнале отмечается только дата замены, а место и номер карточки в журнале и каталоге ОЯ остаются прежними.

4.4.2.13 Для ведения каталога ОЯ выделяется ответственное лицо, которое вносит в каталог ОЯ необходимые исправления и дополнения.

5 Порядок составления и выпуска прогнозов и штормовых предупреждений

5.1 Виды прогнозов

5.1.1 Прогнозы классифицируют по следующим признакам:

а) условное деление всех видов прогнозов;

б) деление:

– по содержанию;

– по времени действия;

– по продолжительности действия;

– по месту действия;

– по целевому назначению.

5.1.2 Все прогнозы условно делят на две группы: прогнозы явлений и прогнозы величин:

а) к прогнозам явлений относятся прогнозы ОЯ, например, прогноз возникновения цунами, сильного тягуна в портах, прогнозы сгонно-нагонных явлений, обледенения рыболовных судов, сильного тумана на море т.д.;

б) к прогнозам величин относятся прогнозы, которые могут быть выражены количественно – в градусах Цельсия (температура воды моря), в метрах (высота волны, уровень), метрах в секунду (скорость ветра, течения) и т.д., и которые отнесены к определенному моменту времени и к некоторой фиксированной точке.

В действительности, необходимую информацию можно получить, прогнозируя одновременно как само явление, так и его количественные характеристики. Например, можно прогнозировать факт возникновения тягуна в порту, с одновременным указанием его количественных характеристик (интенсивности, продолжительности, амплитуды колебаний и т.д.).

5.1.3 По содержанию прогнозы можно разделить на две группы:

а) прогнозы, характеризующие динамические процессы. К ним относятся прогнозы волнения, течений, сгонно-нагонных колебаний уровня моря, дрейфа льда и т.д.;

б) прогнозы, характеризующие тепловые процессы. К ним относятся прогнозы температуры воды и ледовых явлений.

5.1.4 По времени действия различают прогнозы на заданный промежуток или момент времени, выпускаемые по расписанию в установленное время суток, и выпускаемые независимо от времени суток при угрозе возникновения ОЯ.

5.1.5 По продолжительности действия прогнозы делятся на:

– краткосрочные……от нескольких часов до 3 сут;

– среднесрочные……от 3 до 15 сут;

– долгосрочные……от 15 сут до 6 мес;

– сверхдолгосрочные……свыше 6 мес.

5.1.6 По месту действия различают прогнозы:

– для пункта (порт, местонахождение судна, приморский населенный пункт и др.);

– для отдельных районов и для моря в целом, вдоль маршрута плавания судна или буксировки каких-либо несамоходных объектов (кранов, плавучих доков и др.);

– для больших акваторий океанов (например, прогнозы ТПО по Северным частям Атлантического и Тихого океанов) и в целом по Мировому океану (глобальные прогнозы волнения).

5.1.7 По целевому назначению прогнозы делятся на прогнозы общего назначения и специализированные:

а) к прогнозам общего назначения относятся прогнозы, не имеющие определенной специфики по месту и времени проведения морских операций. Прогнозы общего назначения в соответствии с [2] предоставляются потребителям на регулярной основе. Органам государственной власти Российской Федерации, органам государственной власти субъектов РФ, органам единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (МЧС России), органам МО РФ гидрометеорологическая информация и прогнозы предоставляются бесплатно. Другим пользователям (потребителям) прогнозы общего назначения предоставляются за плату в размерах, возмещающих расходы на их подготовку, тиражирование и передачу по каналам связи. В примерный перечень информационных услуг общего назначения входит:

– прогностическая и фактическая информация об ОЯ в соответствии с типовым перечнем ОЯ согласно РД 52.88.699;

– прогнозы погоды и состояния моря до 2 суток при проведении аварийно-спасательных и восстановительных работ в районах стихийных бедствий, аварий и катастроф;

– предупреждения об угрозе цунами;

б) к специализированным прогнозам относятся прогнозы, составляемые по заявкам потребителей, как правило, на договорной основе за плату, стоимость которой определяется договором. В договоре четко оговариваются обязанности исполнителя и заказчика. В ориентировочный перечень специализированной информации входит:

– данные о текущем состоянии погоды и моря;

– краткосрочные прогнозы погоды и состояния моря по районам проведения морских операций, рекомендуемым курсам, морским портам;

– среднесрочные прогнозы погоды и состояния моря по районам проведения морских операций, судоходным трассам, морским портам;

– прогнозы погоды, температуры воды в океанах и морях на месяц;

– прогнозы ледовых условий на месяц и зимний период по акваториям морей и судоходным трассам;

– прогнозы ОЯ в соответствии с типовым перечнем по РД 52.88.699;

– анализы (доклады, справки, консультации) метеорологических условий и состояния моря по заданным районам проведения морских операций.

5.1.8 Предоставление информационных услуг и выполнение работ в рамках ГМССБ определяется [12–17] и осуществляется в рамках договоров, заключаемых организациями и предприятиями Минтранса России с предприятиями, организациями – владельцами гидрометеорологической информации в порядке, установленном Минтрансом России. Порядок взаимодействия сторон при выполнении работ в рамках ГМССБ регламентируется совместно разработанным и утвержденным Сторонами договором.

5.1.9 При заключении договоров (соглашений) стороны должны исходить из действующего законодательства РФ, обязательств РФ, вытекающих из Международной Конвенции по охране человеческой жизни на море СОЛАС 74/78, руководящих документов ВМО и Росгидромета.

5.2 Порядок составления и выпуска прогнозов

5.2.1 Прогнозы составляют организации СМГП по закрепленным за ними зонам ответственности в соответствии с [10]. По акваториям океанов и морей, не входящих в зоны ответственности УГМС (ЦГМС) Росгидромета, обеспечение осуществляется на оперативной основе по специальным запросам потребителей и отдельным поручениям Росгидромета.

5.2.2 Подготовленная в организациях СМГП информационная продукция доводится до потребителей (пользователей) по различным каналам связи (радио, телевидение, Интернет, ГСТ ВМО, электронная почта, мобильная связь и т.д.).

Передача и доведение информационной продукции до портов и судов в море осуществляется предприятиями морского транспорта и рыбного хозяйства по принадлежности.

5.2.3 Составление и выпуск прогнозов производится по заранее разработанным планам. Вне плана составляются и выпускаются только штормовые предупреждения и оповещения, уточнения прогнозов, справки и консультации по специальным запросам.

5.2.4 Порядок сбора, обработки и распространения гидрометеорологической информации, регламентируется нормативными документами, указаниями Росгидромета и соответствующих отделов УГМС, а также решениями и рекомендациями Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиофизическим прогнозам Росгидромета (ЦМКП) и технических советов УГМС или учеными советами региональных НИИ.

5.2.5 Краткосрочные прогнозы в зависимости от продолжительности действия и назначения составляют на 12 ч, сутки, последующие двое суток и период (в виде консультации). Конкретное время составления прогнозов устанавливает УГМС. Для детализации времени суток следует использовать его характеристики в соответствии с РД 52.27.724.

5.2.6 В прогнозах и штормовых предупреждениях, передаваемых для судов по радио, указывается местное время. В прогнозах, выпускаемых в рамках международных обязательств, указывается всемирное скоординированное время (UTS).

5.2.7 Прогнозы общего назначения выпускаются циркулярно, согласно расписанию, прогнозы специализированного назначения выпускают в соответствии с условиями, оговоренными договорами, штормовые предупреждения – немедленно по получении информации об ОЯ.

5.2.8 Для циркулярных передач по радио гидрометеорологическая информация (в пределах зоны ответственности УГМС) предоставляется в следующем порядке (по форме, принятой ВМО [9, 12]):

–штормовые предупреждения;

– обзор синоптической обстановки по приземной синоптической карте;

– прогноз на текущий день, сутки и последующие двое суток.

5.2.9 В прогнозах по акватории моря указываются:

– период действия прогноза, дата;

– район, для которого составлен прогноз;

– направление и скорость ветра, м/с;

– видимость, км или в морских милях;

– явления, ухудшающие видимость (туман, дымка, осадки и др.);

– высота ветровых волн и волн зыби, м;

– параметры обледенения судов;

– температура воды и воздуха, °С;

– ледовые условия.

Кроме того, в прогнозы, составляемые по акватории порта, должна включаться информация о тягуне, сгонно-нагонных явлениях, а также о таких явлениях, как шквал, град, гроза и др.

5.2.10 Прогнозы погоды и состояния моря на сутки и текущий день для района моря и расположенного в нем населенного пункта передают, как правило, общим текстом.

Если предполагается, что в некоторых частях акватории моря, прогнозируемые гидрометеорологические величины и явления будут значительно различаться, то рекомендуется выделить эти части, применив для этой цели характеристики географического положения: запад, юг, северная половина, центральные районы, правобережье, прибрежные районы и т.д.

5.2.11 Прогнозы погоды и состояния моря на сутки уточняют полусуточным прогнозом на текущий день. Если в уточнении нет необходимости, то формулировку суточного прогноза повторяют в полусуточном прогнозе на день. Полусуточный прогноз погоды составляют не позднее 7 ч местного времени и распространяют по согласованным схемам обслуживания.

5.2.12 Учет, обоснование и все исходные данные для составления долгосрочных прогнозов должны фиксироваться в специальном журнале, в который специалист записывает результаты анализа предшествующей гидрометеорологической обстановки, результаты вычислений исходных для прогноза величин, обоснования всех отклонений от метода, допущенных при составлении прогноза, а также окончательно принятые значения ожидаемых величин. Все эти записи делаются в процессе работы по составлению прогноза вплоть до выпуска последнего.

Подготовка исходных материалов и их анализ должны выполняться в соответствии с требованиями, изложенными в методической записке.

5.2.13 Результаты долгосрочных прогнозов на сезон, год и более рекомендуется обсуждать с привлечением специалистов-синоптиков. Такое обсуждение целесообразно не только с целью корректировки прогноза, но и с целью ознакомления других специалистов с ожидаемыми условиями погоды и гидрологического состояния моря.

После обсуждения составляется окончательный текст прогноза, который подписывается лицом, ответственным за его выпуск.

5.2.14 Если явление развивалось не так, как ожидалось по прогнозу, подготавливается и выпускается его уточнение.

5.2.15 Первый долгосрочный прогноз, составленный в соответствии с годовым планом, считается основным. Все последующие прогнозы того же элемента рассматриваются как уточнения. В прогнозе-уточнении четко указывается, какой ранее выпущенный прогноз уточняется и в какой его части он утратил силу.

5.2.16 Прогнозы ледовых фаз составляются по порту, бухте, заливу, проливу, участку побережья и т.п., при этом, как правило, указывается пункт ледовых наблюдений. В прогнозах ледовых фаз для участков побережья при необходимости указывается район действия прогноза.

5.2.17 Срок ожидаемого ледового явления в долгосрочном прогнозе указывается двумя числами – датами. Отрезок времени, заключенный между этими датами, не должен превышать допустимую погрешность данного прогноза и составлять более 10 дней. Например, если в тексте прогноза появления льда указаны даты 14–18 ноября, то это означает, что появление льда ожидается в пределах 14–18 ноября.

В прогнозах с заблаговременностью до 15 дней отрезок времени, в пределах которого ожидается предсказываемое явление, составляет:

– при заблаговременности 13–15 дней .....4 дня;

– при заблаговременности 9–12 дней .....3 дня;

– при заблаговременности 5–8 дней .....2 дня;

– при заблаговременности менее 5 дней .....1-2 дня (в зависимости от условий района).

5.2.18 Прогноз толщины льда дается по пунктам, участкам или отдельным районам моря. В прогнозах указывают толщину льда в см и время, к которому лед достигает ожидаемой толщины. В прогнозах могут также указываться максимальная, минимальная и средняя толщина льда. Когда сообщается минимальная толщина льда, это специально оговаривается в тексте прогноза. Ожидаемая толщина льда относится к концу прогностического периода, все отступления от этого правила должны оговариваться.

Толщина льда в долгосрочных прогнозах сообщается двумя числами, разность между которыми должна быть не более 10 см. В среднесрочных прогнозах ожидаемая толщина сообщается одним числом с добавлением слова «около» или двумя с разностью 2-3 см.

5.2.19 Прогнозы сплоченности, торосистости льда, сжатий и разрежений льдов, раздробленности и разрушенности льда могут даваться как по районам моря, так и по всей акватории моря. Районы определяются по особенностям их ледового режима с учетом запросов потребителей. Характеристика ледового состояния сообщается в баллах в заданном интервале.

5.2.20 Прогнозы температуры поверхности моря могут даваться как в виде карт изотерм, так и в виде конкретных значений температуры или ее аномалии, ожидаемой в конкретном пункте, районе открытого моря или побережья за определенный период времени (пятидневка, декада, месяц).

5.2.21 Кроме прогнозов распределения температуры воды по акватории морей, могут составляться прогнозы сроков перехода температуры воды через определенные значения, за разные периоды осреднений, а именно: за сутки, за пятидневку, за декаду и т.д. Поэтому всегда необходимо указывать, за какой период произведено осреднение.

5.2.22 Прогнозы высоты ветровых волн и зыби могут составляться по пункту, по отдельным участкам морей и океанов и по глобусу. В последних случаях прогноз волнения выпускается в виде карты с изолиниями равных высот волн.

Прогнозы высоты ветровых волн и волн зыби даются в метрах, а направление их распространения в румбах. В прогнозах должна сообщаться обеспеченность прогнозируемой высоты волны.

Прогнозы высоты ветровых волн и зыби могут совмещаться с прогнозом ветра. Прогнозы длины и периода волн выпускаются, как правило, только по запросам потребителей.

Примеры

1 Ветер западный, умеренный, высота волн 1,5-2 м.

2 Ветер слабый, зыбь высотой 2-3 м от юго-востока.

5.2.23 Краткосрочные прогнозы непериодических колебаний уровня могу даваться как по пунктам (в см над нулем поста), так и по акватории моря виде изолиний на карте.

5.3 Порядок составления и выпуска штормовых предупреждений и оповещений

5.3.1 При составлении и выпуске штормовых предупреждений и оповещений следует руководствоваться требованиями РД 52.88.699 с учетом морской специфики.

5.3.1 Во всех случаях, когда ожидаемое по прогнозу гидрометеорологическое явление и его числовые значения представляют опасность для населенных пунктов и хозяйственных объектов на берегу, а также после получения штормовых предупреждений

от других УГМС (ЦГМС), СМГП обязана немедленно предупредить об этом все заинтересованные организации.

5.3.2 Штормовые предупреждения по акватории моря и порта составляются в тех случаях, когда ожидаются ОЯ гидрометеорологического характера. По акватории порта, составляются также штормовые предупреждения, предусмотренных для сухопутных районов, если они являются опасными для работ, проводимых в порту, и указаны в планах-схемах.

5.3.3 Перечень организаций, которым необходимо передавать штормовые предупреждения, и порядок действий, определен в РД 52.88.699.

5.3.4 Степень опасности ожидаемого по прогнозу гидрометеорологического явления для конкретных населенных пунктов и хозяйственных объектов устанавливается в соответствии с Каталогом ОЯ.

5.3.5 Штормовое предупреждение составляется независимо от того, предусматривалось или не предусматривалось ОЯ в ранее составленном прогнозе погоды. Штормовое предупреждение составляют с максимально возможной заблаговременностью.

5.3.6 Штормовое предупреждение должно содержать:

– порядковый номер штормового предупреждения (с начала года);

– дату, время возникновения и, по возможности, продолжительность ожидаемого ОЯ (комплекса неблагоприятных гидрометеорологических явлений);

– район возникновения (распространения) ОЯ;

– название и максимальную интенсивность ОЯ;

– подпись лица, выпустившего штормовое предупреждение.

Для более полной характеристики гидрометеорологических условий наряду с ОЯ штормовые предупреждения могут содержать прогноз явлений, к ОЯ не относящихся или не достигающих критериев ОЯ.

5.3.7 Штормовые предупреждения составляют и передают по РД 52.88.699. На основании данного документа в УГМС (ЦГМС) и ФГУ «Калининградский ЦГМС» разрабатывается «Порядок действий дежурных смен ОНС и НПО УГМС при угрозе возникновения ОЯ». В нем содержится перечень и критерии ОЯ по обслуживаемой территории, перечень и последовательность действий дежурного прогнозиста и наблюдателя, а также порядок передачи штормовых предупреждений и оповещений.

5.3.8 УГМС совместно с ЦГМС разрабатывают (уточняют) региональные перечни и критерии ОЯ по обслуживаемым территориям (субъектам РФ), которые могут служить

источниками чрезвычайной ситуации, с учетом местных природно-климатических и экономических особенностей обслуживаемой территории и включают его в перечень ОЯ.

5.3.9 При разработке региональных перечней и критериев морских гидрометеорологических ОЯ следует учитывать, что повторяемость и интенсивность явлений (критические значения гидрометеорологической величины) должны быть достаточно редкими для данной территории (климатическая повторяемость должна составлять не более 10 % по РД 52.88.699) и что эти явления представляют угрозу безопасности людей и могут нанести значительный ущерб большинству морских отраслей экономики.

5.3.10 Разработанные УГМС и ФГУ «Калининградское ЦГМС» региональные перечни и критерии ОЯ по территории обслуживания направляются в Росгидромет для утверждения, и с момента их утверждения вступают в силу.

5.3.11 Штормовые предупреждения подаются наблюдательными подразделениями в соответствии с критериями ОЯ, установленными соответствующими УГМС (ЦГМС). Обобщение результатов наблюдений за ОЯ в центрах обработки ведется по единым критериям ОЯ.

5.3.12 Критерии ОЯ устанавливаются либо по вероятности возникновения явлений, либо «директивно» с учетом результатов анализа данных гидрометеорологических наблюдений за многолетний период. При этом критерии ОЯ либо принимаются едиными для всей территории страны, либо устанавливаются дифференцированно для различных физико-географических и природно-климатических районов.

5.3.13 Перечень и критерии ОЯ, а также адреса подачи штормовых сообщений доводятся до сведения каждого сетевого наблюдательного подразделения.

5.3.14 Если ОЯ возникло внезапно (не было предусмотрено), то немедленно составляется штормовое оповещение, в котором указывается время начала ОЯ, его интенсивность, а также штормовое предупреждение о прогнозируемой продолжительности, максимальных значениях характеристик и о возможности распространения ОЯ на другие районы.

5.3.15 В случае необходимости уточнения времени возникновения, интенсивности, района распространения ОЯ, составляют уточнение к штормовому предупреждению.

5.3.16 Если ОЯ прекратилось (ослабело), а затем вновь возникло (усилилось) и перерыв (ослабление) продолжался менее 6 ч, то считается, что ОЯ продолжается, и новое штормовое предупреждение не составляют. Если перерыв (ослабление) продолжался 6 ч и более, то следует составить новое штормовое предупреждение.

5.3.17 После окончания ОЯ УГМС (ЦГМС) обязаны немедленно доложить в УГМК Росгидромета сведения об интенсивности, продолжительности, заблаговременности и районе распространения ОЯ. Структура формализованного сообщения о прогнозируемом ОЯ (штормового предупреждения) и структура формализованного оперативного донесения о наблюдавшемся ОЯ и ущербе от него представлена в РД 52.88.699.

5.3.18 Если ожидается возникновение одновременно или друг за другом нескольких ОЯ, в штормовом предупреждении указывается время возникновения, название и интенсивность каждого из них.

5.3.19 Если последующий анализ гидрометеорологического материала или данных наблюдений показывает, что ожидавшее ранее ОЯ не возникло то дают отмену штормового предупреждения с максимально возможной заблаговременностью.

5.3.20 Дежурные прогнозисты ФГБУ «Гидрометцентр России» и ФГБУ «ААНИИ» обязаны:

– при получении из УГМС (ЦГМС) и ФГУ «Калининградский ЦГМС» штормового предупреждения продублировать его текст и передать в Росгидромет (УГМК, УМЗА, УГМАВ), а по окончании рабочего дня – ответственному дежурному Росгидромета;

– передать его по Схеме штормового предупреждения и штормового оповещения об ОЯ в соответствии с РД 52.88.699, используя имеющиеся каналы и средства связи;

– в журнале записать время передачи и фамилию принявшего информацию.

5.3.21 При необходимости уточнения интенсивности, времени возникновения или распространения по территории ОЯ, предусмотренных в штормовом предупреждении, составляют дополнение к штормовому предупреждению.

5.3.22 При возникновении ОЯ ФГБУ «НИЦ «Планета», ФГБУ «Дальневосточный РЦПОД» и УГМС (ЦГМС), исходя из имеющихся технических возможностей, обеспечивают материалами космических съемок ОНС и заинтересованные организации, министерства и ведомства (по их запросу).

Для обеспечения материалами космических съемок по району возникновения ОЯ и ЧС ОНС Росгидромета направляют заявку в ФГБУ «НИЦ «Планета», в которой указывается вид ОЯ или ЧС, географические координаты района ОЯ или ЧС, названия населенных пунктов, рек и других объектов, период выполнения съемки и виды необходимой информации.

5.3.23 Ежегодно до 10 января УГМС (ЦГМС) и ФГУ «Калининградский ЦГМС» представляют в Росгидромет (УГМК, УМЗА, УГМАВ), ФГБУ «Гидрометцентр России» и ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» сведения обо всех наблюдавшихся в течение прошедшего года ОЯ. В случае возникновения уникального, редко повторяющегося ОЯ составляется более

подробный отчет, с описанием условий возникновения и развития явления, с приложением картографического материала, данных метеорологических спутников и радиолокаторов.

5.3.24 Штормовые предупреждения и оповещения об ОЯ, составляемые по обслуживаемой территории, выпускаются за подписью соответствующего руководителя территориального органа, начальника учреждения или лица его замещающего.

5.3.25 Текст переданного потребителям штормового предупреждения и/или оповещения фиксируется в специальном журнале с указанием времени его передачи, а также фамилии, принявшего данное штормовое предупреждение и/или оповещение (форма журнала показана в приложении Е).

5.3.26 В случае объявления на территории субъекта Российской Федерации чрезвычайной ситуации, связанной с ОЯ, территориальный орган (УГМС (ЦГМС) или ФГУ «Калининградский ЦГМС») немедленно информирует об этом Росгидромет (УГМК, УМЗА, УГМАВ) и в донесении (телеграмме) представляет информацию о сложившейся гидрометеорологической обстановке и ее ожидаемом развитии.

5.3.27 Наблюдательные подразделения составляют штормовое оповещение (штормовое сообщение) при возникновении ОЯ или при достижении значений гидрометеорологических величин критериев ОЯ, передают его потребителям и в учреждения Росгидромета в соответствии со Схемой штормового предупреждения и штормового оповещения об ОЯ по РД 52.88.699.

5.3.28 Наблюдательные пункты, расположенные в городах или в районных центрах, при получении из вышестоящей организации штормового предупреждения, обязаны немедленно довести эту информацию до городской (районной) дежурной службы РСЧС в соответствии со Схемой штормового предупреждения и штормового оповещения об ОЯ.

5.3.29 После окончания ОЯ территориальные УГМС и ФГУ «Калининградский ЦГМС» обязаны немедленно доложить телеграммой в УГМК и/или УМЗА Росгидромета обобщенные сведения о виде, интенсивности (значении характеристик), продолжительности и районе распространения ОЯ, заблаговременности штормового предупреждения о нем в соответствии с РД 52.88.699.

5.3.30 Выпуск экстренной информации (штормовых предупреждений и оповещений) об ОЯ осуществляет Росгидромет и его территориальные органы через подведомственные им организации. Экстренная информация заносится в специальный журнал, форма которого приведена в приложении Ж.

5.3.31 Порядок представления оперативных и итоговых донесений об ОЯ осуществляется в соответствии с РД 52.88.699. Сведения об ОЯ за месяц (год) представляются в соответствии с приложением И.

5.4 Подготовка и передача гидрометеорологической информации для ГМССБ

5.4.1 Общие положения

5.4.1.1 Глобальная морская система связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ) создана в рамках реализации требований Конвенции СОЛАС 74/78 [3] и в соответствии с [13]. В соответствии с этими документами, в портах Российской Федерации построены, введены в эксплуатацию и внесены в реестр Международной морской организации около 60 объектов ГМССБ.

5.4.1.2 Функции головной организации, ответственной за функционирование ГМССБ в России возложены на Министерство транспорта. Информационное обеспечение этой системы гидрометеорологической информацией возложено на Росгидромет.

5.4.1.3 Суда, подпадающие под действие СОЛАС, должны быть оборудованы соответствующей приемной аппаратурой. При этом гидрометеорологическое обеспечение должно осуществляться в соответствии с [4].

5.4.1.4 Предоставление предупреждений, метеорологических и морских бюллетеней в рамках ГМССБ осуществляется через международную службу НАВТЕКС для прибрежных районов морей и океанов [15] и международную службу SafetyNet ИНМАРСАТ для открытых районов морей и океанов в соответствии с [16].

5.4.1.5 Подготовку гидрометеорологической информации для пунктов НАВТЕКС и национальных координаторов подсистемы SafetyNet осуществляют территориальные учреждения Росгидромета. Обобщение и передачу метеорологической информации национальным координаторам подсистемы SafetyNet осуществляют уполномоченные организации Росгидромета (таблица 1).

5.4.1.6 Метеорологические и морские бюллетени должны содержать части:

Часть I – Штормовые предупреждения;

Часть II – Краткий обзор основных характеристик приземной карты погоды и в максимально возможной степени особые характеристики состояния поверхности моря;

Часть Ш – Прогнозы.

Метеорологические и морские бюллетени для открытого моря должны дополнительно включать следующие части:

Часть IV – Анализы и/или прогнозы в кодовой форме IAC FLEET;

Часть V – Подборка сводок с морских станций;

Часть VI – Подборка сводок с наземных станций.

Части IV, V и VI допускается выпускать в отдельный срок.

Таблица 1 – Расположение объектов ГМССБ по районам и обслуживающие их учреждения Росгидромета

Подсистема	Район расположения объектов ГМССБ	Учреждение Росгидромета	Море Российской Федерации
НАВТЕКС	Европейская часть РФ	Северо-Кавказское УГМС ГУ «Астраханский ЦГМС» ГУ «Краснодарский ЦГМС» ГУ «Мурманское УГМС» Северное УГМС Северо-Западное УГМС (через координатора в Швеции) ГУ «Колымское УГМС»	Каспийское море Черное, Азовское моря Баренцево море Белое море Юго-восток Баренцева моря Балтийское море Охотское море
	Дальний Восток	ГУ «Сахалинское УГМС» ГУ «Приморское УГМС»	Охотское море Японское море
Safety Net	Северо-западная часть Тихого океана НАВАРЕА XIII	ГУ «Приморское УГМС» ГУ «Сахалинское УГМС» ГУ «Колымское УГМС» ГУ «Камчатское УГМС» ГУ «Чукотское УГМС»	Японское море Охотское море Охотское море Охотское море Берингово море
	Западный район СМП	ГУ «ААНИИ» Северное УГМС (Архангельский ЦГМС)	Карское море Карское море, море Лаптевых, Новоземельские проливы
	Восточный район СМП	ГУ «ААНИИ» ГУ «Якутское УГМС» (Тиксинский ЦГМС) ГУ «Чукотское УГМС»	Море Лаптевых Восточно-Сибирское море Чукотское море

5.4.2 Подготовка и передача гидрометеорологической информации по системе НАВТЕКС

5.4.2.1 Порядок передачи гидрометеорологической информации по системе НАВТЕКС определен в [14].

5.4.2.2 Информация о сообщениях службы НАВТЕКС группируется по видам, каждому из которых присваивается буквенный указатель, раскрывающий характер

передаваемого сообщения. Для штормовых предупреждений используется буква B. Для прогноза погоды – буква E, для ледового обзора – буква C. Буква Z означает, что сообщений для передачи нет.

5.4.2.3 Для установления очередности передачи сообщений в службе НАВТЕКС используется три степени приоритета. В убывающем порядке срочности приоритеты следующие:

VITAL warnings (Особо важное) – для немедленной передачи по радио;

IMPORTANT warnings (Важное) – для передачи по радио в ближайший возможный промежуток времени, когда частота не занята;

ROUTINE warnings (Обычное) – для передачи по радио в очередной срок по расписанию.

5.4.2.4 Гидрометеорологическое обеспечение для ГМССБ осуществляется на основании договора (соглашения) между представителем Минтранса, который выступает как Заказчик в лице морской администрации порта и представителем Росгидромета в лице начальника УГМС (ЦГМС), который выступает как Исполнитель.

В договоре должен быть отражен предмет договора, обязанности Исполнителя и Заказчика, срок договора, стоимость работ и порядок расчета, ответственность сторон и т. д. К договору прилагается протокол соглашения о договорной цене. Исполнитель ежесуточно в круглогодичном режиме обеспечивает по закрепленному морскому району (радиусом 300 морских миль относительно порта) подготовку на английском языке гидрометеорологической информации по безопасности судоходства.

5.4.2.5 Гидрометеорологическая информация в виде формализованного текста, пригодного передаче в эфир, подготавливается в строгом соответствии с [14] и передается по телефону (или по электронной почте) на радиостанцию порта для трансляции в эфир мореплавателям по установленному расписанию.

Штормовые предупреждения подаются на передающие радиостанции по получении и в очередной срок по расписанию.

Прогнозы погоды на морские районы НАВТЕКС передаются дважды в сутки. Эти передачи должны тщательно координироваться в тех случаях, когда передатчики находятся на близком расстоянии друг от друга. Важно, чтобы прогнозы предназначались для конкретных районов, обслуживаемых НАВТЕКС.

Ледовые обзоры обычно передаются службой НАВТЕКС один раз в сутки.

Предупреждения об опасности обледенения должны включаться в ледовые обзоры службы НАВТЕКС, но если они объявляются отдельно, то рассматриваются как

метеорологические предупреждения и должны передаваться по получении и в очередной срок по расписанию.

5.4.2.6 Исполнитель должен вести журнал учета гидрометеорологической информации по безопасности мореплавания, передаваемой радиостанциям, с указанием в них фамилий ответственных исполнителей и получателей информации, дат и времени ее передач, а также обеспечивать сохранность переданной информации. Для этого информация, переданная на радиостанцию порта для трансляции в эфир, должна быть перенесена на бумажный носитель при передаче по электронной почте и подписана лицом, ответственным за ее достоверность и хранится в течение года.

Пример – метеорологическое сообщение для НАВТЕКС

ZCZC AAOO
NOVOROSSIISK 279458 21.11 1315-
WEATHER FORECASTS FROM 21.00 TILL 21.00 22.11
ON AREA ANAPA-TUAPSE
WIND NE 6-11 ON NORTH IMPULSES 14 m/sec
WITHOUT DEPOSITS VISIBILITY OF 10-20 kms, PLACES IN THE SEA
MIST VISIBILITY OF 1-2 kms, HEIGHT OF WAVES OF 0.7- 1.2 m
TEMPERATURE OF AIR AT THE NIGHT 4-9, DAY OF 12-17 DEGREES
NNNN (конец сообщения)

5.4.3 Подготовка и передача гидрометеорологической информации по системе SafetyNET

5.4.3.1 Передача гидрометеорологической информации по обеспечению безопасности на море (ИБМ) по сети SafetyNet осуществляется, в основном, по районам METAREA в соответствии с действующим расписанием передач и в соответствии с [15].

5.4.3.2 Метеорологические и морские бюллетени для открытого моря передаются через спутник ИНМАРСАТ с расширенным групповым вызовом (РГВ). РГВ открытого моря обеспечивает передачу бюллетеня всем судам, имеющим соответствующее приемное оборудование. Суда получают информацию с помощью аппаратуры, которая автоматически отслеживает соответствующие частоты, и передает стандартным текстом на английском языке только ту информацию, которая относится к судну.

5.4.3.3 Гидрометеорологическая информация по трассе Северного морского пути, передаваемая в рамках ГМССБ, подготавливается в арктических УГМС и ЦГМС (Архангельск, Амдерма, Диксон, Тикси, Певек) в соответствии с [13].

5.4.3.4 Штормовые предупреждения по трассе Северного морского пути передаются немедленно, а информация о фактическом состоянии погоды и моря и прогнозе передается по расписанию в виде адресных телеграмм по каналам автоматизированной сети передачи данных Росгидромета в ФГБУ «ААНИИ» (адрес службы АСПД ААНИИ 5850/AASF/).

ФГБУ «ААНИИ» обобщает полученную информацию и подготавливает на английском языке гидрометеорологический бюллетень (формат) ИБМ и передает его в адрес национального координатора Российской Федерации сети SafetyNet (ГУГП).

5.4.3.5 В соответствии с согласованными международными правилами по сети SafetyNet по трассе Северного морского пути должна передаваться следующая гидрометеорологическая информация:

– штормовые предупреждения;

– фактическая погода;

– прогнозы погоды;

– ледовые обзоры.

При передаче гидрометеорологических бюллетеней необходимо использовать следующий адрес формата сообщения:

– Западный район Арктики: 1: 04: 67N044E16081:01:00;

– Восточный район Арктики: 1: 04: 63N125E17070:01:00.

5.4.3.6 Текст метеорологических и морских бюллетеней составляется в соответствии с требованиями и с использованием терминологии, приведенных в [13].

5.4.3.7 Метеорологическому и морскому бюллетеню должно предшествовать слово «SECURITE», за исключением срочных предупреждений, которым должно предшествовать слово «PANPAN».

5.4.3.8 Все метеорологические и морские бюллетени после слов «SECURITE» или «PANPAN» должна включаться информация по соответствующей Метзоне и выпускающей службе.

Пример – SECURITE

Marine weather bulletin for Metarea II issued by Meteo-France.

5.4.3.9 Штормовые предупреждения, краткие обзоры и прогнозы должны передаваться открытым текстом на английском языке.

5.4.3.10 Штормовые предупреждения о сильных ветрах, штормах и тропических циклонах должны иметь следующее содержание и порядок пунктов:

– тип штормового предупреждения;

– дата и время;

– тип атмосферного возмущения (т.е. область низкого давления, ураган и т.д.) с указанием давления в центре в гектопаскалях;

– местоположение атмосферного возмущения по широте и долготе или по отношению к хорошо известным береговым ориентирам;

– направление и скорость движения атмосферного возмущения;

– протяженность района воздействия;

– скорость и направление ветра в районах воздействия;

– ветровое волнение моря и зыбь в районах воздействия;

– другая информация, например будущее положение атмосферного возмущения.

5.4.3.11 Когда штормовое предупреждение включает более одного атмосферного возмущения (системы), оно должно описываться в порядке, начиная с наиболее опасной.

5.4.3.12 Штормовое предупреждение должно быть как можно более кратким, но в то же время четким и полным.

5.4.3.13 Время последнего положения каждого тропического циклона или нового тропического шторма должно указываться в штормовом предупреждении.

5.4.3.14 Штормовые предупреждения выпускаются при возникновении необходимости в них и передаются не по расписанию, а сразу по получении с повтором 6 мин.

Штормовое предупреждение, выпущенное как часть I бюллетеня по расписанию, не нуждается в повторе через 6 минут.

5.4.3.15 Штормовое предупреждение должно оставаться в силе до тех пор, пока в него не будет внесено уточнение или оно не будет отменено.

5.4.3.16 Краткий обзор, даваемый в части II бюллетеня о состоянии погоды и моря, должен иметь следующее содержание и порядок пунктов:

– дата и время (UTC);

– краткий обзор основных характеристик приземной синоптической карты;

– направление и скорость движения значительных барических систем и тропических возмущений.

Важные характеристики состояния моря (волнение и зыбь) включаются в обзор всегда, когда имеется такая информация, как и других характеристик (дрейфующий лед, течения и т.п.), если это возможно и имеет значение.

5.4.3.17 Прогнозы, даваемые в части III бюллетеней о состоянии погоды и моря, должны иметь следующее содержание и порядок пунктов:

– период действия прогноза;

– название или обозначение района(ов) прогноза в пределах основного района действия информации по безопасности на море;

– описание: скорости и направления ветра, видимости, когда по прогнозу она менее шести морских миль (10 км), обледенения, волн.

Прогнозы должны включать ожидаемые значительные изменения в период действия прогноза таких важных явлений, как осадки, вызывающие обледенение, выпадение снега или дождя, перспективы на период вне пределов обычного охвата прогнозов. Единицы измерения при оценке характеристик состояния погоды и моря должны указываться.

Пример –принятый на судне гидрометеорологический бюллетень, переданный по сети SafetyNet ИНМАРСАТ

EGC.003 Page 1 UTC Time: 00-07-27 10:36:20

LES 322 MSG 14675 MetWarn/Fore Safety Call to Areas: to NO
HIGH SEAS FORECAST FROM BUREOU OF METEOROLOGY FORWARDED 00072710
IDF15WOO
40:0:1:31:10:01:00
SECURITE

HIGH SEAS FORECAST FOR METAREA 10
WESTERN AREA 12/30S 90/125E, 30/50S 80/129E
ISSUED BY THE AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLO GY, PERTH

FOR 24 HOURS COMMENCING 1100 UTC 27 JULY 2000
IMPORTANT INFORMATION. Understand the definitions and terminology in the Bureau´s pamphlet "MARINE WEATHER SERVICES". A few of them follow:
**** Wind speed mentioned in forecasts and coastal observations refers to the average speed over a 10-minute period at a height of 10 metres above the surface.***
**** Gusts may be up to 40 per cent stronger then the average wind speed.***
**** The wave and swell heights given refer to significant wave heights which represent the average of the highest one third of the waves. The probable maximum wave height can be up to twice the significant wave height.***

PART 1 WARNINGS
Gale warning south of line 42S080E 42S110E 50S125E.

PART 2 SITUATION AT 0600UTS
Refer to latest warning.
Cold front 27S100E 40S116E 50S127E moving ESE 25 knots.
Second cold front 33S090E 40S102E 50S101E moving E 35 knots.
Low 1014 HPa near 30S101E, moving southeast 25 knots.

Ridge 30S090E 27S115E.

PART 3 FORECAST
Within 120nm of ridge:
SW/SE winds 10/20 knots. Moderate seas, low to moderate swell.
North of 21S, east of 115E:
E/SE winds 20/30 knots. Rough seas, low to moderate swell.
Remainder north of Ridge:
E/SE winds 15/25 knots. Moderate to rough seas, low to moderate swell.
Within 180 nm of low:
Clockwice winds 20/25 knots, increasing to 20/30 knots northern semicircle.
Rough seas, moderate swell.
Remainder south of ridge outside warning area:
NW/SW winds 15/25 knots. Moderate to rough seas moderate swell,
increasing to 25/33 knots rough seas m.oderate to heavy swell within
of warning area.
WEATHER PERTH
NNNN (конец сообщения)
EGC.003

5.5 Подготовка и распространение гидрометеорологической информации в центрах ЕСИМО

5.5.1 Центры ЕСИМО организованы в соответствии с [17]. Порядок подготовки и выпуска гидрометеорологической информации в центрах ЕСИМО показан ниже на примере работы центра ЕСИМО ФГБУ «Гидрометцентр России».

5.5.2 Центр ЕСИМО – ФГБУ «Гидрометцентр России» – осуществляет деятельность в области подготовки и распространения оперативной диагностической и прогностической информации о состоянии атмосферы и морской среды. Производимая центром информационная продукция предназначена для широкого круга пользователей ЕСИМО в целях обеспечения хозяйственной, оборонной и других видов деятельности в океанах и морях. Предоставление информации потребителям производится непосредственно из центра и через систему распределенных баз данных (СРБД) ЕСИМО.

5.5.3 Выпуск прогнозов штормовых предупреждений в центре ЕСИМО определен порядком и регламентом, утвержденным Руководителем Росгидромета 21.03.2006 г.

5.5.4 Функции центра ЕСИМО выполняются научными и оперативными подразделениями ФГБУ «Гидрометцентр России», осуществляющие деятельность в соответствии с предметной областью деятельности центра.

5.5.5 Нормативной основой деятельности центра являются документы [5, 16, 17].

5.5.6 Оперативная продукция – информация о текущем состоянии морской среды и прогнозе ее развития – строится на базе использования систем объективного анализа и усвоения гидрометеорологических данных, прогностических расчетов по гидродинамическим моделям, работающим в оперативном режиме. В технологическом отношении деятельность центра состоит в реализации информационно-вычислительной системы, действующей в автоматизированном режиме и обеспечивающей регулярный выпуск и распространение регламентированной оперативной продукции ЕСИМО.

5.5.7 Центр ЕСИМО ФГБУ «Гидрометцентр России» осуществляет свою деятельность с использованием следующих общесистемных средств и ресурсов:

– единых кодификаторов и кодов ЕСИМО;

– централизованной базы метаданных (ЦБМД) ЕСИМО;

– системы распределенных баз данных (СРБД) ЕСИМО;

– виртуальной сети ЕСИМО;

– портала ЕСИМО и комплексных АРМов пользователей системы.

5.5.8 Средства и ресурсы реализуются при создании и эксплуатации технологий, характеристики которых даны в таблице (Приложение К), и предполагает выполнение следующих работ:

– архивация и хранение исходных текстов программных комплексов и эксплуатационной документации, обновление их версий в соответствии с планами развития общесистемных информационных технологий;

– взаимодействие с центром ЕСИМО ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и другими организациями-разработчиками ЕСИМО по вопросам уточнения и развития общесистемных средств и технологий;

– обеспечение консультаций и другой методической помощи пользователям данными и других ресурсов центра;

– проверка работоспособности телекоммуникационных узлов и ресурсов центра (один раз в сутки) и их соответствия обязательствам центра (один раз в квартал), взаимодействие с центром ЕСИМО ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» для обеспечения устойчивого функционирования системы;

– представление справочных сведений о технических средствах, информационных технологиях и ресурсах центра в ЕСИМО ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» по итогам каждого года деятельности центра;

– подготовка и представление в междуведомственный научно-технический совет ЕСИМО и Росгидромет планов и предложений по функционированию и развитию центра;

– участие в подготовке общесистемных справочных и информационных материалов в части сведений о состоянии и использовании ресурсов центра;

– участие в проведении конференций (семинаров) пользователей ЕСИМО.

5.5.9 В зависимости от категории пользователей устанавливается несколько видов комплексного информационного обеспечения в рамках ЕСИМО:

– предоставление информации по запросу пользователей;

– предоставление регламентированной по составу и срокам информации об обстановке в Мировом океане органам государственной власти России, другим юридическим и физическим лицам, осуществляющим морскую деятельность;

– информационное сопровождение морской деятельности по специальным программам, определяющим информационные, технологические и другие условия обслуживания.

5.5.10 К задачам центра ЕСИМО ФГБУ «Гидрометцентр России» относятся:

– обеспечение функционирования оперативных технологий по приему и обработке данных гидрометеорологических наблюдений и прогностической продукции, поступающих по международным каналам ГСТ ВМО и АСПД, а также через сеть Интернет;

– обеспечение функционирования оперативных технологий по подготовке диагностических и прогностических продуктов и их распространению;

– интеграция информационных ресурсов центра с применением общесистемных технологий и ресурсов ЕСИМО;

– подготовка специализированных информационно-аналитических материалов о гидрометеорологических условиях в морях и океанах;

подготовка и поддержание в актуальном состоянии информационных ресурсов СРБД ЕСИМО в соответствии с профилем центра;

– архивация и обеспечение хранения массивов и баз данных, технологий и нормативно-методической документации по профилю центра;

– разработка (модернизация) и внедрение новых видов диагностической и прогностической информационной продукции по мере развития наблюдательных систем, средств моделирования морской среды и прогностических методов.

5.5.11 Центр ЕСИМО осуществляет информационное обеспечение организаций Росгидромета, федеральных органов исполнительной власти Российской Федерации, юридических лиц диагностической и прогностической информацией о погодных условиях и состоянии вод океана и морей:

– обзор текущей обстановки в океанах и морях – ежедневно, за исключением выходных и праздничных дней;

– прогноз метеорологических условий в Мировом океане и на акватории отдельных морей – два раза в сутки;

– метеорологические анализы и прогнозы зарубежных центров – два раза в сутки;

– прогноз параметров ветровых волн в Мировом океане и отдельных морях – два раза в сутки;

– прогнозы погоды в портовых и других городах – ежедневно;

– интерактивный доступ к полям метеорологических прогнозов – ежедневно;

– анализ состояния ледового покрова в Арктике и Антарктике – еженедельно;

– объективный анализ полей температуры поверхности океана и морей – ежедневно;

– анализ текущего состояния верхнего слоя Мирового океана на базе усвоения данных по температуре и солености воды в океане – ежедневно;

– прогноз штормовых нагонов в Каспийском море – два раза в сутки;

–месячный прогноз ледовых условий для неарктических морей (в холодный период года).

5.5.12 Центр ЕСИМО осуществляет ведение Web-сайта центра, на котором размещается диагностическая и прогностическая информация о состоянии атмосферы и морской среды. Адрес Web-сайта; gost.e-ecolog.ru . Материалы сайта обновляются ежедневно.

6 Терминология, применяемая в морских гидрологических прогнозах и штормовых предупреждениях

6.1 Общие положения

6.1.1 При составлении морских гидрологических прогнозов и штормовых предупреждений должны применяться термины гидрометеорологических величин и явлений, принятые в системе Росгидромета [18, 19], а также термины вошедшие в ГОСТ 18458.

6.1.2 В морских гидрологических прогнозах следует использовать терминологию, понятную для потребителя и в наибольшей степени отражающую ожидаемое развитие гидрологических процессов. Не допускается применять термины, вызывающие неопределенность толкования прогноза, например, «возможно», «вероятно», «местами» и

«в отдельных районах». При наличии методик вероятностного прогноза явлений их вероятность указывают в процентах.

6.1.3 В прогнозах метеорологических явлений, а также в штормовых предупреждениях, составляемых по акватории порта и моря, применяются те же термины, что и для сухопутных районов (по РД 52.27.724 и РД 52.88.699).

6.2 Термины и определения, применяемые в прогнозах волнения, течений, уровня и температуры воды

6.2.1 В практике прогнозирования волнения часто используется термин «значительная высота волны». Математически «значительная высота волны» определяется как средняя из 1/3 наибольших волн из числа наблюденных. Ее можно определить по формуле

$$h_{1/3} = \frac{1}{N/3}\sum_{i=1}^{N/3} h_i \,, \qquad (1)$$

где N – число наблюденных волн;

i – порядковый номер.

Таким образом, если все волны, зафиксированные в процессе наблюдения, расположить в понижающем порядке и затем взять 1/3 часть, содержащую самые высокие волны, то средняя из них и будет характеризоваться как «значительная высота волны».

6.2.2 В прогнозах волнения указываются параметры волн следующих типов волнения: ветрового волнения, смешанного волнения и зыби. При прогнозе только лишь ветрового волнения слово «ветровое» в тексте опускается. В случае прогноза смешанного волнения отдельно указываются параметры ветрового волнения и параметры зыби и их результирующая величина.

6.2.3 Ветровое волнение – процесс формирования, развития и распространения вызванных ветром волн на акватории океанов, морей и других бассейнов.

6.2.4 Зыбь – вызванные ветром волны, распространяющиеся в области волнообразования после ослабления ветра и (или) изменения его направления или вызванные ветром волны, пришедшие из области волнообразования в другую область, где дует ветер с другой скоростью и (или) другим направлением;

6.2.5 Мертвая зыбь – вызванные ветром волны, распространяющиеся при отсутствии ветра

6.2.6 Смешанное волнение – волнение, образующееся в результате взаимодействия ветровых волн и зыби.

6.2.7 Генеральное направление распространения волн – среднее направление распространения волн, определяемое по многим волнам.

6.2.8 Ретроспективный прогноз – диагностический расчет параметров волнения, основанный на исторических данных о ветре.

6.2.9 Расчеты, основанные на текущих данных о ветре, в общем случае являются анализом волнения.

6.2.10 Течения в зависимости от вызывающих их причин подразделяются на:

– ветровые течения, вся совокупность непериодических движений воды, вызванных непосредственным влекущим воздействием ветра, а также наклоном водной поверхности и перераспределением плотности воды, обусловленных ветром;

– дрейфовые течения, возникающие в результате влекущего действия ветра;

– градиентные течения, обусловленные горизонтальным градиентом гидростатического давления, возникающим при наклоне поверхности моря относительно изопотенциальной поверхности;

– стоковые течения, образующиеся под влиянием впадающих в море рек;

– приливные течения, вызванные приливными волнами;

– периодические течения, изменение которых происходит с определенным периодом;

– инерционные течения, наблюдаемые после прекращения действия силы, вызвавшей течения.

6.2.11 Уровень моря – высота поверхности моря, свободной от ветровых волн и зыби, измеренная относительно условного горизонта.

6.2.12 Колебание уровня моря – разность между наибольшим и наименьшим значением уровня моря за определенный интервал времени.

6.2.13 Ход уровня – изменение уровня за определенный интервал времени.

6.2.14 Эвстатические колебания уровня моря – изменения уровня Мирового океана, связанные с изменениями объема воды в нем, а также с изменениями емкости морей и океанов.

6.2.15 Цунами – долгопериодные морские гравитационные волны, возникающие в результате подводных землетрясений, извержений подводных вулканов, подводных и береговых обвалов и оползней, приводящие к затоплению прибрежных населенных пунктов, береговых сооружений и народнохозяйственных объектов.

6.2.16 Сгонно-нагонные колебания уровня моря – изменения уровня морей и океанов под воздействием ветра и атмосферного давления.

6.2.17 Критические отметки уровня моря – отметки уровня моря, превышение которых или падение ниже которых влечет за собой опасные в данном районе последствия.

6.2.18 Температура поверхностного слоя моря – температура поверхностного слоя моря толщиной не более 1 м.

6.3 Термины, применяемые в прогнозах ледовых фаз и ледового состояния морей

6.3.1 Под ледовым явлением понимают совокупность ледовых фаз и процессов, сменяющихся в течение года на замерзающих акваториях. К ледовым явлениям относят: появление льда, установление льда на всей видимой водной поверхности, разрушение неподвижного льда на этой акватории, его окончательное исчезновение, очищение акватории ото льдов всех форм и возрастных характеристик.

Исходя из характера перехода из одного состояния в другое, различают следующие фазы: начало ледообразования, полное замерзание, установление припая или ледостава, начало таяния, полное очищение ото льда.

К дрейфующему льду относится любой вид морского льда, который не связан с берегом или дном и находится в движении под воздействием ветра и течений.

6.3.2 Днем первого появления льда (без уточнения формы льда) считается день, когда в осенне-зимний период (а на арктических морях после окончательного очищения) впервые на наблюдаемом пространстве появляется лед независимо от вида, количества и места образования (образовался ли он на месте или перенесен из других районов). Случаи обмерзания свай или камней во внимание не принимаются. Когда это целесообразно, в прогнозах отмечается:

– «ожидается первое появление местного льда»;

– «ожидается первое появление льда, внесенного из устья реки»;

– «ожидается первое появление льда, дрейфующего с ....».

6.3.3 Днем первого появления льда первичных форм (сала, шуги, снежуры), битого льда или ледяных полей считается день, когда впервые на наблюдаемом пространстве появляется лед этих форм, независимо от его количества или сплоченности».

6.3.4 Днем первого появления дрейфующего льда сплоченностью четыре балла и более (восемь баллов и более) считается день, когда впервые появляются дрейфующие льды сплоченностью более четырех баллов (более восьми баллов), независимо от форм. Если в день первого появления дрейфующего льда появился лед сплоченностью восемь баллов и более, независимо от его формы, то этот день следует считать и днем первого появления дрейфующего льда сплоченностью четыре и восемь баллов.

6.3.5 Днем устойчивого появления льда считается день, когда впервые появился лед и больше не исчезал. Если впервые появившийся лед исчез, а затем появился вновь, устойчивому появлению льда отвечают условия, при которых промежуток времени со льдом был больше или равен промежутку времени безо льда.

6.3.6 Днем первого замерзания моря, бухты и др. считается день, когда впервые неподвижный лед (береговой припай) занял не менее половины наблюдаемого пространства.

6.3.7 Днем первого полного замерзания моря считается день, когда впервые в данную зиму на видимом пространстве установился неподвижный ледяной покров.

6.3.8 Днем устойчивого полного замерзания считается день, после которого вплоть до начала весеннего разрушения ледяного покрова в пределах наблюдаемого пространства не происходит уменьшения площади неподвижного льда или эти изменения несущественны (менее одного балла).

6.3.9 Днем первого взлома неподвижного ледяного покрова считается день, когда впервые площадь неподвижного льда на видимом пространстве становится меньше 10 баллов и ледяной покров приобретает четкие признаки слабого или умеренного весеннего разрушения (образование отдельных сквозных трещин, появление озерков и отдельных проталин, водяных заберегов и др.).

6.3.10 Днем устойчивого взлома считается день, когда впервые количество плавучего льда или чистой воды в пределах видимой поверхности моря становится около 5 баллов. Припай находится в стадии весеннего разрушения.

6.3.11 Днем полного разрушения неподвижного льда считается день, когда на наблюдаемом участке моря неподвижный лед оказывается полностью взломанным и оторванным от берега. Случаи, когда на берегу и береговых отмелях осталась часть подошвы, во внимание не принимаются.

6.3.12 Днем исчезновения дрейфующих льдов количеством восемь баллов и более (четыре балла и более) считается день, когда впервые весной на наблюдаемом пространстве количество льда менее восьми баллов (четыре балла и менее) стало устойчиво.

6.3.13 Днем полного очищения моря ото льда считается первый день безо льда или день, когда на видимом пространстве моря наблюдаются отдельные льдины (менее 1 балла); наличие стамух и остатков льда на берегу и отмелях во внимание не принимается.

6.4 Термины, применяемые в прогнозах обледенения рыболовных судов

В прогнозах указывается возможность обледенения и его интенсивность. Интенсивность обледенения характеризуется следующими терминами:

- медленное: скорость отложения льда на судне менее 0,7 см/ч;
- быстрое: скорость обледенения от 0,7 до 1,3 см/ч (характеризуется как ОЯ);
- очень быстрое: скорость обледенения 1,4 см/ч и более (характеризуется как ОЯ).

6.5 Термины, применяемые в прогнозах тягуна

Слабый тягун – периодически усиливающееся натяжение и ослабление швартовых концов (оценивается в 1 балл).

Умеренный тягун – происходит обрыв швартовых; погрузочно-разгрузочные работы прекращаются (оценивается в 2 балла).

Сильный тягун – суда отводят от причала и выводят на внешний рейд (оценивается в 3 балла) – характеризуется как ОЯ.

7 Оценка качества методов прогноза и успешности прогнозов и штормовых предупреждений

7.1 Оценка качества методов прогноза

7.1.1 Общие положения

7.1.1.1 Под оценкой качества метода прогноза обычно понимают весь процесс сравнения предсказанных значений величин с фактическими значениями и с результатами прогнозов по другим аналогичным методам.

7.1.1.2 Качество метода определяется эффективностью и заблаговременностью прогноза. При этом, чем больше заблаговременность, тем с большим эффектом, при равной степени его точности, можно пользоваться данным методом.

7.1.1.3 Для оценки качества метода прогноза устанавливается некоторый интервал (допуск) предельного значения допустимой ошибки прогноза $\delta_{доп}$, в котором будет находиться прогнозируемое явление. Точность прогноза определяется путем сравнения ошибки прогноза δ с допустимой ошибкой $\delta_{доп}$, которая составляет долю среднеквадратичного (стандартного) отклонения предсказываемого явления от нормы σ_x.

7.1.1.4 Для оценки качества метода большое значение имеют объективность определения допустимой ошибки $\delta_{доп}$ и сравнимость метода с результатами других альтернативных методов, в качестве которых обычно используются климатический или инерционный метод прогноза. Методические прогнозы имеют смысл лишь в том случае, если они являются более точными (в статистическом смысле), чем климатические или инерционные прогнозы.

7.1.2 Критерии качества методов прогноза

7.1.2.1 Количественные критерии, используемые при оценке качества методов прогноза должны правильно отражать вероятностный характер и природную изменчивость прогнозируемого явления. Эти критерии не должны предъявлять чрезмерных требований в отношении точности прогнозов. Разнообразие прогнозов и методов их составления требует дифференциального подхода к выбору критериев оценки качества прогнозов. При установлении критериев следует исходить из знания показателей природной вариации прогнозируемых величин, а именно: среднего квадратичного отклонения от нормы или многолетней амплитуды.

7.1.2.2 Если распределение ошибок прогнозов и распределение отклонений гидрологических величин от средней многолетней (нормы) близки к нормальному распределению или отличаются от него незначительно, за критерий качества метода прогноза принимается отношение S/σ_x, в котором σ_x – среднее квадратичное отклонение предсказываемого явления от нормы, вычисляемое по формуле

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}}, \qquad (2)$$

а S – средняя квадратичная ошибка проверочных прогнозов, определяемая по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_ф - x_{пр})^2}{n-m}}. \qquad (3)$$

В формулах (2) и (3):

x – данное значение явления в многолетнем ряду наблюдений;

$\bar{x}$ – среднее многолетнее значение явления (норма);

$x_ф$ и $x_{пр}$ – фактическое и прогнозируемое значения соответственно;

n – число членов ряда;

m – число степеней свободы, характеризующее вид уравнения регрессии и равно количеству постоянных величин в нем. Для линейного уравнения вида $y = ax + b$ m равно 2. В случае нелинейной зависимости m принимается равным числу постоянных величин уравнении связи (если последнее задано), а при графическом построении кривой – равным числу постоянных величин такого уравнения, которому близка по виду кривая связи.

7.1.2.3 Средняя квадратичная ошибка проверочных прогнозов S связана с коэффициентом корреляции r и величиной σ_x соотношением

$$S = \sigma_x \cdot \sqrt{1 - r^2}\,. \tag{4}$$

Зная отношение S/σ_x, легко перейти к стандартному выражению корреляционного отношения (индексу корреляции ρ), характеризующему степень нелинейности связи

$$\rho = \sqrt{1 - \frac{S^2}{\sigma_x{}^2}}\,. \tag{5}$$

Для линейных зависимостей корреляционное отношение ρ численно совпадает с коэффициентом корреляции ($\rho = r$). При нелинейной связи ρ будет отличаться от коэффициента корреляции r тем больше, чем сильнее выражена нелинейность связи.

7.1.2.4 Отношение S/σ_x является характеристикой эффективности метода, т.е. показывает выигрыш в распределении ошибок, который дает метод прогноза по сравнению с распределением ошибок в случае принятия ожидаемой величины, равной ее норме. Чем меньше отношение S/σ_x, тем надежнее корреляционная связь, так как оно является мерой независимости вариации функции от вариации аргумента. При функциональной зависимости отношение S/σ_x равно нулю, а если оно равно единице, то корреляционная связь между переменными отсутствует, т.е. функция не зависит от вариации аргумента.

7.1.2.5 Таким образом, критериями качества корреляционной связи являются: отношение S/σ_x, коэффициент корреляции r (или корреляционное отношение ρ).

7.1.2.6 Коэффициенты уравнения регрессии, определенные из условий оптимальности по выборочным оценкам единственным образом, не будут оптимальными ни для какой другой выборки, кроме той, для которой они определены. Поэтому важным является вопрос надежности коэффициента корреляции ограниченной выборки.

В больших выборках распределение корреляций имеет тенденцию быть нормальным, и вероятная (стандартная) ошибка частного коэффициента корреляции E_r для линейных зависимостей между двумя переменными может быть приближенно оценена по формуле

$$E_r = \pm 0{,}674 \cdot \frac{1-r^2}{\sqrt{n-1}}, \tag{6}$$

7.1.2.7 Для определения вероятной ошибки общего коэффициента множественной корреляции E_R служит формула

$$E_R = \pm 0{,}674 \cdot \frac{1-R^2}{\sqrt{n-1}}. \tag{7}$$

7.1.2.8 Вероятная ошибка индекса корреляции для криволинейных функций E_ρ вычисляется по формуле

$$E_\rho = \pm \frac{\left(\frac{S}{\sigma_x}\right)^2}{\sqrt{n-1}}. \tag{8}$$

7.1.2.9 Предельные значения основных критериев применимости уравнения регрессии S и σ_x будут разными при разном числе членов ряда, использованного при установлении прогностических зависимостей. Как известно, любая статистическая характеристика, вычисленная по данным ограниченной выборки, отличается от ее истинного значения для генеральной совокупности и тем больше, чем меньше объем этой выборки. Отсюда следует, что критерий качества метода должен учитывать число членов ряда n.

7.1.3 Оценка эффективности методов прогноза

7.1.3.1 Основным критерием оценки эффективности метода прогноза является выигрыш обеспеченности метода P_i по сравнению с природной или инерционной

обеспеченностью. Обеспеченность метода зависит от допустимой ошибки $\delta_{доп}$ и связана с величиной S/σ_x, являющейся показателем качества прогноза.

7.1.3.2 Характерные значения отношения S/σ_x и соответствующие им значения коэффициента корреляции r (или ρ) и обеспеченность P_i при различных допустимых погрешностях для нормального распределения приведены в таблице 3. Они справедливы для длины ряда $n \cong 100$.

Таблица 2 позволяет определить выигрыш в обеспеченности при заданной допустимой ошибке, который дает метод прогноза при данном значении S/σ_x по сравнению с обеспеченностью прогноза по норме. Для этого из обеспеченности, указанной в таблице 2, при принятых допустимых ошибках $0{,}674\sigma_x$, $0{,}8\sigma_x$ и σ_x необходимо вычесть соответственно 50 %, 58 % и 68 %, что характеризует теоретическую обеспеченность климатического прогноза при различных допустимых ошибках.

Таблица 2

Показатели успешности метода прогноза		Обеспеченность метода прогноза P_i при допустимой ошибке			Показатели успешности метода прогноза		Обеспеченность метода прогноза P_i при допустимой ошибке		
S/σ_x	$r(\rho)$	$0{,}674\sigma_x$	$0{,}8\sigma_x$	σ_x	S/σ_x	$r(\rho)$	$0{,}674\sigma_x$	$0{,}8\sigma_x$	σ_x
0,05	0,995	100	100	100	0,60	0,80	74	82	90
0,10	0,993	100	100	100	0,65	0,76	70	78	88
0,15	0,99	100	100	100	0,67	0,74	68	77	86
0,20	0,98	100	100	100	0,70	0,72	67	75	85
0,25	0,97	100	100	100	0,75	0,67	64	72	82
0,30	0,95	95	99	100	0,80	0,60	60	68	79
0,35	0,94	94	98	100	0,85	0,54	58	66	77
0,40	0,92	91	96	99	0,90	0,45	55	63	74
0,45	0,90	87	93	98	0,95	0,32	52	60	71
0,50	0,87	83	90	96	1,00	0,00	50	58	68
0,55	0,84	79	86	94					

Следовательно, теоретически метод прогноза может считаться эффективным уже тогда, когда обеспеченность его при заданных допустимых ошибках будет несколько больше обеспеченности прогноза по норме при тех же ошибках.

Однако на практике зависимости с коэффициентом корреляции, близким к нулю, и обеспеченностью допустимых ошибок, близких к 50 %, 58 % и 68 %, не могут считаться удовлетворительными. Для получения практически эффективного и надежного метода его обеспеченность должна значительно превосходить минимальную теоретическую,

установленную для абсолютно случайных корреляционных связей с коэффициентом корреляции, равным нулю.

Следовательно, для получения действительной эффективности метода необходимо из его обеспеченности вычесть действительную обеспеченность климатического прогноза $P_{кл}$, %, которая определяется формулой

$$P_{кл} = \frac{m}{n} \cdot 100, \qquad (9)$$

где m – число случаев, когда отличие климатической величины (нормы) от действительных величин не превышает принятой допустимой ошибки;

n – число членов ряда.

7.1.3.4 Применение метода краткосрочного прогноза в оперативную практику допускается лишь в том случае, если обеспеченность допустимой ошибки $\delta_{доп} = \pm 0{,}674\sigma_{x_\Delta}$ не менее чем на 18 % превышает обеспеченность вероятного отклонения от нормы.

7.1.3.5 Предельными значениями основного критерия применимости методов прогнозов S/σ_x являются:

$S/\sigma_x \le 0{,}57$ для $n \le 15$;

$S/\sigma_x \le 0{,}62$ для $15 \le n \le 25$;

$S/\sigma_x \le 0{,}67$ для $n \ge 25$.

Здесь n – число членов ряда, использованного при установлении прогностической зависимости или число проверочных прогнозов.

7.1.3.6 Применение метода долгосрочного прогноза с заблаговременностью от 2 до 6 месяцев и выше в практике является целесообразным, если обеспеченность допустимой ошибки $\delta_{доп} = \pm 0{,}8\sigma_x$ не менее, чем на 10 % превышает обеспеченность допустимой ошибки отклонения от нормы. Метод прогноза в этом случае считается применимым для выпуска оперативных прогнозов при следующих отношениях S/σ_x:

$S/\sigma_x \le 0{,}7$ для $n \le 15$;

$S/\sigma_x \le 0{,}75$ для $15 \le n \le 25$;

$S/\sigma_x \le 0{,}80$ для $n \ge 25$.

7.1.3.7 Для методов сверхдолгосрочных прогнозов, где допустимая ошибка $\delta_{доп} = \sigma_x$, конкретное превышение обеспеченности метода над обеспеченностью допустимой

ошибки отклонения от нормы не устанавливается. В общем случае, чем эта величина больше, тем метод эффективнее.

7.1.3.8 Для определения эффективности метода краткосрочных прогнозов обеспеченность метода сравнивается не с природной обеспеченностью, рассмотренной выше, а с обеспеченностью инерционных прогнозов, в которых предыдущее значение элемента приравнивается к его последующему значению.

Указанным способом устанавливается эффективность всех методов краткосрочных прогнозов морских гидрометеорологических явлений, повторяющихся систематически (уровень, течение, волнение и др.).

7.1.3.9 Обеспеченность инерционных прогнозов $P_{ин}$, %, определяется по формуле

$$P_{ин} = \frac{m_{ин}}{n} \cdot 100, \tag{10}$$

где $m_{ин}$ – количество оправдавшихся инерционных прогнозов;

n – общее число всех инерционных прогнозов.

7.1.3.10 Для установления качества корреляционной зависимости, можно также воспользоваться формулой

$$\gamma = \frac{P - P_N}{1 - P_N}, \tag{11}$$

где P – обеспеченность допустимой ошибки для данной зависимости;

P_N – обеспеченность допустимой ошибки природной обеспеченности.

Зависимость, для которой $\gamma \le 0{,}8$, можно считать хорошей, для $0{,}8 \ge \gamma \ge 0{,}5$ – удовлетворительной, для $0{,}5 \ge \gamma \ge 0{,}2$ – слабой и для $\gamma \le 0{,}2$ – непригодной.

7.1.4 Особые случаи оценки методов прогноза

7.1.4.1 Изложенные выше способы определения достоверности методов прогноза, а также способы оценки их эффективности, могут быть использованы для оценки большинства методов морских гидрологических прогнозов.

Имеются, однако, случаи, когда использование указанных критериев затруднено и возникает необходимость учета специфических особенностей методов. К числу таких случаев относятся:

– оценка методов, по которым прогнозы составляются в сроки, находящиеся в пределах многолетней амплитуды явления;

– оценка методов прогноза гидрологических элементов, базирующихся на прогнозах элементов погоды;

– оценка методов прогноза полей гидрологических элементов;

– оценка методов прогноза гидрологических элементов, допустимая погрешность которых не связана со средней квадратичной величиной ряда σ_c;

– оценка численных методов прогноза;

– оценка методов, не имеющих фиксированной даты составления прогноза, т.е. таких, дата составления прогнозов по которым определяется сроком наступления тех или иных факторов, учет которых положен в основу метода. К этой группе относятся методы краткосрочных прогнозов и методы уточнения долгосрочных. Оценка этих методов прогноза производится по величине средней квадратичной ошибки проверочных прогнозов в зависимости от допустимой ошибки для данного метода (таблица 3).

Таблица 3 – Оценка методов, не имеющих фиксированной даты составления прогноза

Оценка метода прогноза	**Допустимая ошибка, дни, при S**						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Хорошая, при $S \leq$	0,7	1,5	2,2	3,0	3,7	4,5	5,2
Удовлетворительная, при $S \leq$	1,2	2,4	3,6	4,8	5,9	7,1	8,2

7.1.4.2 Оценка методов, по которым прогнозы составляются в сроки, находящиеся в пределах многолетней амплитуды явления, производится по отношению S/σ_c, σ_c – среднее квадратичное отклонение явления от его среднего значения, установленного для членов ряда n', находящегося в пределах сокращенной амплитуды A_c, т.е. от даты составления прогноза до самой поздней даты явления.

Величина σ_c определяется по формуле (2), где число членов многолетнего ряда n заменяется числом ряда n' для сокращенной амплитуды A_c. Дальнейшее определение применимости подобных зависимостей производится изложенным выше способом.

7.1.4.3 При оценках методов морских гидрологических прогнозов, базирующихся на прогнозах элементов погоды (температуры воздуха, ветра, давления и т.д.), следует учитывать обеспеченность методов, использованных для прогноза метеорологических элементов. При этом общая обеспеченность метода будет равна произведению

обеспеченности обоих методов при условии сопоставимости допустимых ошибок прогнозов.

Общая обеспеченность метода $P_{общ.}$, %, может быть установлена непосредственно по данным ряда проверочных прогнозов, составленных по прогнозируемым значениям метеорологических элементов по формуле

$$P_{общ.} = \frac{m}{n} \cdot 100, \tag{12}$$

где m – число оправдавшихся проверочных прогнозов;

n – общее число проверочных прогнозов.

7.1.4.4 Общая обеспеченность методов прогноза средней заблаговременности может быть установлена в течение одного-двух сезонов при достаточно большом числе проверочных прогнозов. Полученная общая обеспеченность $P_{общ.}$ позволяет уточнить предварительное решение о применимости метода в оперативной работе и определить обеспеченность метода прогноза метеорологических элементов $P_{мет}$, %, в сравнении с обеспеченностью гидрологического прогноза $P_{гидр}$, %, по формуле

$$P_{мет.} = \frac{P_{общ.}}{P_{гидр.}} \cdot 100. \tag{13}$$

7.1.4.5. Оценка методов прогнозов полей морских гидрометеорологических элементов производится путем определения только обеспеченности метода P, %, по формуле

$$P = \frac{m}{n} \cdot 100, \tag{14}$$

где m – число оправдавшихся проверочных прогнозов;

n – общее число проверочных прогнозов в постоянных узлах сеток.

Удовлетворительным считается метод, обеспеченность которого не ниже 68 %.

7.1.4.6 Оценка методов прогноза морских гидрологических элементов, выраженных кривыми (в тех случаях, когда кривые, как границы, отделяющие разные гидрологические среды, имеют самостоятельное значение, например, расположение кромки дрейфующего льда в море), производится аналогично оценке прогнозов полей, т.е. путем определения обеспеченности метода. Критерий удовлетворительной обеспеченности равен или больше 68 %.

7.1.4.7 К числу методов, допустимая ошибка которых не связана со средней квадратичной величиной ряда σ_x, относятся:

– методы прогноза времени наступления гидрометеорологических явлений с условным значением допустимых ошибок;

– методы прогноза волнения и ряд других.

7.1.4.8 Отличительной особенностью перечисленных методов является возможность получения расчетных формул теоретическим путем. Последнее затрудняет использование для оценки подобных методов установленных выше критериев, основанных на комплексном применении статистических величин r, S и σ_x. В таких случаях для оценки методов используются результаты определения успешности проверочных прогнозов. На основе этих материалов устанавливается только обеспеченность метода по формуле (12).

Удовлетворительной, т.е. применимой для составления оперативных прогнозов, считается метод с обеспеченностью 68 % и выше.

7.2 Оценка успешности прогнозов и штормовых предупреждений

7.2.1 Допустимые ошибки и оценка прогнозов

7.2.1.1 Оценка успешности прогнозов заключается в сопоставлении прогнозируемых $x_{пр}$ и фактических $x_{ф}$ значений элементов гидрометеорологического режима моря.

7.2.1.2 Ошибка прогноза δ определяется как разность между значениями фактической величины $x_{ф}$ и ожидаемой по прогнозу $x_{пр}$

$$\delta = x_{ф} - x_{пр}. \qquad (15)$$

Ожидавшаяся по прогнозу величина, сложенная с ошибкой, должна быть равна фактической величине. Чем меньше δ, тем точнее прогноз.

Ошибка выражается в тех же величинах, что и само прогнозируемое явление: для сроков наступления гидрологических явлений – в днях, для высоты волны – в м, для температуры – в градусах Цельсия и т.д.

7.2.1.3 Для оценки успешности прогноза устанавливается некоторый интервал (допуск) предельного значения ошибки прогноза $\delta_{доп}$, в котором будет находиться прогнозируемое явление.

7.2.1.4 Точность прогноза определяется путем сравнения ошибки прогноза δ с допустимой ошибкой $\delta_{доп}$, которая составляет долю среднеквадратичного (стандартного) отклонения предсказываемого явления от нормы σ_x.

7.2.1.5 В практике оценки прогнозов используется два различных способа.

Наиболее распространенный способ, по которому прогнозу дается одна из двух возможных оценок: 100 %, если прогноз оправдался, или 0 %, если прогноз не оправдался. Оценку 100 % по этому способу получает прогноз, ошибка которого была меньше или равнялась допустимой ошибке $\delta_{доп}$. Оценку 0 % получает прогноз, ошибка которого превышает $\delta_{доп}$.

7.2.1.6 Допустимая ошибка прогноза должна быть пропорциональной среднему квадратичному отклонению от нормы ошибок стандартного прогноза, в качестве которого обычно берется прогноз по норме. Ошибки такого стандартного прогноза будут фактические аномалии Δ.

Если оценку такого стандартного прогноза производить, исходя из допуска, равного среднему квадратичному отклонению от нормы σ_x фактических аномалий, то при условии нормального распределения величин, систематически прогнозируя норму при допустимой ошибке σ_x, прогнозист обеспечит среднюю оправдываемость прогнозов около 68 %. Использование критерия $0{,}674\sigma_x$ для оценки климатического прогноза обеспечит среднюю оправдываемость 50 %.

7.2.1.7 Другой способ оценки прогноза дает оценку в зависимости от ошибки прогноза. Эта оценка характеризуется следующими особенностями:

– при малых ошибках прогноза оценка высока;

– небольшое увеличение ошибки прогноза влечет за собой небольшое уменьшение оценки;

– при значительных ошибках, близких к критериям допустимых ошибок, когда удовлетворительный прогноз переходит в неудовлетворительный, снижение оценки прогноза при дальнейшем возрастании ошибок будет происходить наиболее быстро;

– при очень большой ошибке прогноза оценка будет близка к нулю, так что дальнейшее возрастание ошибки не сможет вызвать сколько-нибудь значительного уменьшения оценки.

7.2.1.8 Оценка прогноза F в зависимости от ошибки прогноза вычисляется по формуле [20]

$$F = c\exp(-\frac{a\delta^2}{2}), \quad (16)$$

где δ – ошибка прогноза;

c и a – коэффициенты, определяемые дополнительными условиями.

Из формулы (16) видно, что чем больше коэффициент a, тем строже оценка F, так как с возрастанием ошибки прогноза δ оценка F быстро стремится к нулю. При безошибочном прогнозе ($\delta = 0$ и $c = 1$) оценка равна 1.

Численное значение коэффициента a определяется из условия задания средней оценки какого-либо стандартного вида прогноза $\overline{F}_{cm}$. При этом средняя оценка вычисляется не по произвольно назначенному числу случаев, а является теоретической средней, т.е. математическим ожиданием, и может быть найдена с помощью интеграла вероятности Гаусса, характеризующего нормальное распределение величин.

7.2.1.9 Выражение для коэффициента a записывается в следующем виде:

$$a = \frac{1-\overline{F}_{cm}^2}{\overline{F}_{cm}^2 \cdot \sigma_x^2} = \frac{k}{\sigma_x^2}, \quad (17)$$

где величина $k = \frac{1-\overline{F}_{cm}^2}{\overline{F}_{cm}^2}$ характеризует меру строгости оценки прогнозов.

Учитывая, что оценка прогнозов F меняется от 0 до 1 (от 0 до 100 %), то при условии $\overline{F}_{cm}$ = 50 % (т.е. половина всех прогнозов оправдывается, а половина не оправдывается), что соответствует допустимой ошибке $\pm 0{,}674\sigma_x$, величина $k = 3{,}0$.

При $k = 3{,}0$ формула (16) примет вид

$$F = \exp(-\frac{1{,}5\delta^2}{\sigma_x^2}). \quad (18)$$

При условии $\overline{F}_{cm}$ = 58 %, что в среднем обеспечивается при допустимой ошибке, равной $\pm 0{,}8\sigma_x$, при $k = 1{,}94$ оценка прогноза имеет вид

$$F = \exp(-\frac{0{,}97\delta^2}{\sigma_x^2}). \quad (19)$$

При условии $\overline{F}_{cm}$ = 68 %, что в среднем обеспечено при допустимой ошибке $\pm\sigma_x$, при $k = 1{,}17$ оценка прогноза имеет вид

$$F = \exp(-\frac{0{,}58\delta^2}{\sigma_x^2}). \quad (20)$$

7.2.1.10 Для определения оценки конкретных прогнозов по формулам (18–20) существуют таблицы (приложение Л), в которых даны значения оценок прогноза F при допустимой ошибке $\delta_{доп}$ от 1 до 30 и σ_x в пределах значений от 5 до 24.

Как видно из таблиц Л.1–Л.3, снижение оценки при увеличении ошибки прогноза на одну и ту же величину будет происходить быстрее в случае малой изменчивости природного явление (при малых значениях σ_x), и медленнее в случае большой изменчивости явления (при больших значениях σ_x).

Расчеты по формулам (18–20) показывают, что успешность прогнозов высока при малых ошибках прогноза, близка к природной обеспеченности при ошибках прогноза, равных допустимой ошибке, и ниже природной обеспеченности при ошибках прогноза, превышающих допустимую ошибку прогноза.

7.2.2 Критерии, используемые при оценке прогнозов

7.2.2.1 Для краткосрочных и среднесрочных прогнозов за критерий допустимой ошибки принимается величина, равная $\pm 0{,}674\sigma_x$; для долгосрочных прогнозов с заблаговременностью до двух месяцев за критерий допустимой ошибки принимается величина, равная $\pm 0{,}8\sigma_x$; для сверхдолгосрочных прогнозов принимается величина, равная $\pm\sigma_x$.

7.2.2.2 В тех случаях, когда на предсказываемую величину в значительной мере оказывают влияние начальные условия, за допустимую ошибку принимается величина $\pm 0{,}674\sigma_{x_\Delta}$, где σ_{x_Δ} – среднее квадратичное отклонение от среднего изменения гидрологического элемента за период заблаговременности прогноза, вычисляемое по формуле

$$\sigma_{x_\Delta} = \sqrt{\frac{\sum(\Delta_x - \overline{\Delta})^2}{n-1}}, \quad (21)$$

где Δ_x – разность между начальным и конечным значениями элемента (явления) за период заблаговременности прогноза;

$\overline{\Delta}$ – среднее значение этой разности;

n – число членов ряда.

7.2.2.3 Допустимые ошибки долгосрочных прогнозов с заблаговременностью до двух месяцев определяются следующим образом:

– если долгосрочный прогноз составляется раньше самой ранней даты наступления предсказываемого явления, допустимая ошибка принимается равной вероятному отклонению от нормы (допустимой ошибке)

$$\delta_{доп} = \pm 0{,}674\sigma_x; \qquad (22)$$

– если долгосрочный прогноз составляется позже самой ранней даты наступления предсказываемого явления в многолетнем ряду, допустимая ошибка принимается вероятному отклонению от нормы в пределах сокращенной амплитуды

$$\delta_{доп} = \pm 0{,}674\sigma_{x_\Delta}. \qquad (23)$$

Величина $\delta_{доп} = \pm 0{,}674\sigma_{x_\Delta}$ может быть получена обычным путем или взята из таблицы 4.

Таблица 4 – Определение величины $\delta_{доп} = \pm 0{,}674\sigma_x$ по данным σ_x и $\frac{A_c}{A_м}$

σ_x	Значение $\delta_{доп}$ при $A_c / A_м$						
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	0	0	0	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	2	2	3
6	2	3	3	3	4	4	4
7	2	3	4	4	5	5	5
8	3	3	4	4	5	5	5
9	3	4	4	5	5	6	6
10	4	4	5	6	6	6	7
11	4	5	6	6	6	7	7
12	4	5	6	6	7	7	8
13	5	6	6	7	8	8	9
14	5	6	7	8	8	9	9
15	5	6	8	8	9	9	10

7.2.2.4 Для нахождения допустимой ошибки при сокращенной амплитуде необходимо знать среднее квадратичное отклонение от нормы многолетнего ряда σ_x и отношение сокращенной амплитуды к многолетней амплитуде $A_c / A_м$. Величина допустимой погрешности, равная вероятной ошибке средней величины явления в пределах сокращенной амплитуды, находится при пересечении соответствующей графы и строки таблицы 4.

7.2.2.5 Критериями качества корреляционной связи являются отношение S/σ_x, коэффициент корреляции r (или корреляционное отношение ρ), и обеспеченность метода P_i, выражаемая в процентах (таблица 5). .

Таблица 5– Критерии качества применимости корреляционной связи при числе проверочных прогнозов $n \geq 25$ и $\delta_{доп} = \pm 0{,}674\,\sigma_x$

Оценка качества	S/σ_x	$r(\rho)$	P_i, %
Хорошая	$\leq 0{,}5$	$\geq 0{,}9$	≥ 80
Удовлетворительная	$\leq 0{,}8$	$\geq 0{,}7$	≥ 75
Неудовлетворительная	$>0{,}9$	$< 0{,}6$	< 75

7.2.2.6 Все оценки, приведенные в таблице 5 справедливы для выборки, по которой построена корреляционная связь (зависимый ряд). Однако для ряда, не входящего в эту выборку (независимый ряд), оценки прогнозов, полученные в результате применения этой корреляционной связи, обычно ухудшаются.

7.3 Оценка прогнозов различных морских гидрологических элементов

7.3.1 Общие положения

7.3.1.1 Оценке подлежат все прогнозы, составленные по закрепленной за оперативным подразделением Росгидромета зоной ответственности. Прогнозы по акватории моря и по порту и их уточнения оцениваются отдельно.

7.3.1.2 При оценке прогнозов по акватории порта используются данные наблюдений береговых, островных, устьевых станций и постов, расположенных в районе порта или вблизи него.

7.3.1.3 Специализированные прогнозы оцениваются так же, как и прогнозы по акватории моря, если они составлялись для района моря или по маршруту, и так же, как прогнозы по акватории порта, если они составлялись для работ, проводимых в порту.

7.3.1.4 Существенным условием для успешности оценки прогнозов является условие объективности, требующее, чтобы прогнозы были четко сформулированы в числовых или качественных характеристиках и их терминология должна быть общепринятой. Это необходимо для того, чтобы при сравнении прогнозов с данными наблюдений исключить

элементы субъективности. Только те прогнозы, которые выражены в объективных терминах, могут быть удовлетворительно оценены как прогнозы.

7.3.1.5 Оценка оправдываемости каждого прогноза производится специалистами СМГП после истечения срока его действия при наличии фактических данных наблюдений о тех характеристиках и показателях, которые содержаться в прогнозе. Если такие данные отсутствуют, то прогноз не оценивается.

7.3.1.6 Успешность морских гидрологических прогнозов в значительной мере зависит от качества исходных данных и, прежде всего, от точности метеорологических прогнозов. При отсутствии исходной информации начальные условия определяют иногда с помощью диагностических расчетов с учетом фактических гидрометеорологических условий моря за предшествующий прогнозу период.

7.3.2 Оценка прогнозов полей распределения морских гидрологических элементов

7.3.2.1 Оценка прогнозов полей распределения гидрологических элементов производится путем сопоставления прогностических и фактических величин в ряде точек, выбранных на акватории моря (если отсутствует объективный анализ). Для каждой точки определяются показатели вариации гидрологического элемента и допустимые ошибки прогнозов $\delta_{доп}$, которыми и следует пользоваться при оценке оправдываемости прогнозов.

7.3.2.2 Для оценки прогнозов полей гидрометеорологических элементов рассчитываются следующие статистические характеристики:

– средняя абсолютная ошибка прогноза – по формуле

$$\left|\bar{\delta}\right| = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|x_{пр} - x_{ф}\right|_i , \qquad (24)$$

где n – общее число составленных прогнозов;

$x_{пр.}$ и $x_{ф}$ – прогностическое и фактическое значение элемента; соответственно;

– средняя арифметическая (систематическая) ошибка прогноза

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_{пр} - x_{ф})_i . \qquad (25)$$

Систематическая ошибка позволяет судить о фоновой ошибке, т.е. о методическом среднем смещении прогноза. При $\bar{\Delta} > 0$ имеет место систематическое завышение прогностических значений, при $\bar{\Delta} < 0$ – систематическое занижение.

7.3.2.3 Значения относительной ошибки прогноза можно рассчитать по формуле

$$\varepsilon = \delta / \delta_{\phi}, \tag{26}$$

где $\delta_{\phi} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|x_{\phi} - x_{\phi}^{l}\right|_{i}$ – средняя абсолютная фактическая изменчивость в конкретном пункте;

x_{ϕ}^{l} – значение элемента в пункте, для которого производится сравнение.

Чем меньше δ и ε, тем лучше прогноз. При значении $\varepsilon = 1$ качество методических прогнозов находится на уровне инерционных прогнозов, а при $\varepsilon > 1$ методические прогнозы хуже инерционных.

Коэффициент корреляции между фактическими и рассчитанными величинами определяется по формуле

$$r = \frac{\frac{1}{n-1}\sum(x_{м} - \bar{x}_{м})(x_{н} - \bar{x}_{н})}{\left[\frac{1}{n-1}\sum(x_{м} - \bar{x}_{м})^{2}\right]^{1/2} \cdot \left[\frac{1}{n-1}\sum(x_{н} - \bar{x}_{н})^{2}\right]^{1/2}}, \tag{27}$$

где $x_{м}$ – результаты расчетов по модели;

$x_{н}$ – наблюденные данные.

В таблице 6 приведены доверительные интервалы для различных значений r и ε в зависимости от количества расчетных точек n.

Таблица 6 – Доверительный интервал коэффициента корреляции Δr и относительной ошибки $\Delta\varepsilon$

r	$\varepsilon_{теор}$	Значение Δr, при n			Значение $\Delta\varepsilon$, при n		
		30	143	841	30	143	841
0,3	0,95	0,17	0,08	0,03	0,05	0,02	0,01
0,4	0,92	0,15	0,07	0,03	0,06	0,03	0,01
0,5	0,87	0,14	0,06	0,02	0,08	0,03	0,01
0,6	0,80	0,12	0,05	0,02	0,09	0,04	0,02
0,7	0,71	0,09	0,04	0,02	0,09	0,04	0,02
0,8	0,60	0,06	0,03	0,01	0,08	0,04	0,02
0,9	0,44	0,03	0,02	0,01	0,06	0,04	0,02

7.3.2.4 Снижение ошибки методического прогноза по сравнению с ошибкой инерционного прогноза (для прогнозов на срок до трех суток) или с ошибкой

климатического прогноза (для прогнозов на срок более трех суток) можно определить по формуле

$$R = 1 - \frac{X_м}{X}, \tag{28}$$

где $X_м$ – мера ошибки методического прогноза; X – мера ошибки инерционного или климатического прогноза.

В качестве меры ошибки могут быть приняты также значения среднеквадратичной ошибки прогноза S и показатель рассеяния ошибки прогноза SI.

Средняя квадратичная ошибка прогноза рассчитывается по формуле

$$S = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_{пр} - \overline{x}_ф)_i^2}. \tag{29}$$

Чем меньше S, тем выше качество прогноза.

Показатель рассеяния ошибок прогноза SI можно рассчитать по формуле

$$SI = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(u_{пр} - \overline{u}_ф)^2}}{\overline{u}_ф}. \tag{30}$$

7.3.2.5 Перечисленные показатели рассчитываются как по области в целом, так и по отдельным ее частям.

Наряду с этими данными следует рассчитывать и накапливать осредненные за различные периоды поля значений ошибок прогнозов в точках сетки (относительных, абсолютных и с учетом знаков). Такие сведения необходимы для вычисления систематических ошибок и для других работ по совершенствованию методик прогноза.

7.3.2.6 При оценке полей распределения гидрологических элементов может рассматриваться оправдываемость прогноза по знаку и числовому значению.

7.3.2.7 При оценке оправдываемости прогнозов поля по знаку подсчитывается число точек, в которых знак ожидаемой и действительной аномалии совпал, затем находится отношение числа этих точек m к общему числу выбранных точек n, по которым велась проверка оправдываемости прогнозов. При несовпадении знака прогнозируемой и действительной аномалии прогноз считается оправдавшимся в тех случаях, когда абсолютное значение расхождения не превышает допустимую ошибку.

7.3.2.8 При оценке оправдываемости прогноза поля по числовому значению подсчитывается число точек, в которых ошибка прогноза не превышала допустимую

ошибку, затем находится отношение числа точек m к общему числу выбранных точек n, по которым велась проверка оправдываемости прогнозов.

7.3.2.9 Общая оправдываемость поля распределения гидрологического элемента по знаку или по числовому значению P, %, определяется по формуле (16).

7.3.3 Особые случаи оценки прогнозов

7.3.3.1 Ориентировочные прогнозы и консультации не оцениваются.

7.3.3.2 Качество прогнозов за месяц, квартал и год оценивается в зависимости от их заблаговременности.

7.3.3.3 Значение и оценка оправдываемости прогнозов приведена в таблице 7.

Таблица 7– Оценки краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных прогнозов

Оценка	Значение оправдываемости прогноза, %		
	Краткосрочный	Среднесрочный	Долгосрочный
Отлично	Свыше 93	Свыше 90	Свыше 90
Хорошо	Менее 93 до 87 включительно	Менее 90 до 84 включительно	Менее 90 до 80 включительно
Удовлетворительно	Менее 87 до 80 включительно	Менее 84 до 75 включительно	Менее 75
Неудовлетворительно	Менее 80	Менее 75	Менее 70

7.3.4 Оценка краткосрочных и среднесрочных прогнозов

7.3.4.1 Прогнозы ледовых условий

Толщина льда

7.3.4.1.1 Оценка прогнозов толщины льда может производиться как для отдельного пункта (порта), так и для района моря. В прогнозе должны указываться как ожидаемая толщина льда, так и изменение толщины льда за период заблаговременности. Поэтому независимо от формы самого прогноза (в нем может указываться ожидаемая толщина льда) оценка толщины льда должна производиться по ее изменению за период заблаговременности.

7.3.4.1.2 При оценке прогнозов толщины льда допустимая ошибка прогноза устанавливается равной 30 % от фактического ее изменения за период заблаговременности прогноза (таблица 8).

Если прогноз толщины льда не выходит за пределы допустимой ошибки, он считается оправдавшимся.

Таблица 8 – Допустимые ошибки прогноза толщины льда

Фактическое изменение толщины льда, см	> 10	11–15	16–20	21–25	26–30	> 30
Допустимая ошибка, см	± 3	± 4	± 6	± 7	± 8	± 10

Сплоченность, зоны сжатия и разрежения

7.3.4.1.3 Допустимая ошибка прогнозов сплоченности, разрушения льдов, торосистости, сжатия льдов и других показателей состояния ледового режима, определяемых в баллах, принимается равной ±1 балл.

Указанные рядом на карте фактические сжатия объединяются в зоны, и общая оправдываемость зон сжатия и разрежения P, %, определяется по формуле

$$P = \frac{m}{n} \cdot 100, \qquad (31)$$

где m – количество оправдавшихся зон сжатия;

n – общее количество поддающихся оценке зон сжатия на карте.

Любой прогноз зон сжатия считается оправдавшимся при фактической зоне сжатия менее 2 баллов.

Эффективность оценивается путем сравнения результатов методического прогноза с инерционными прогнозами.

Сроки наступления ледовых фаз

7.3.4.1.4 Допустимые ошибки прогнозов сроков наступления ледовых явлений (вскрытие и очищение моря ото льда, первое появление льда, замерзание) приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Допустимые ошибки прогнозов сроков наступления ледовых явлений в зависимости от заблаговременности прогноза

Заблаговременность, сутки	Допустимая ошибка, сутки
3	±1
5	±2
9	±3
13	±4
15	±5

Знак минус указывает ошибку в сторону более ранних сроков наступления ледовых явлений, а знак плюс – в сторону более поздних сроков.

Дрейф льда

7.3.4.1.5 В качестве допустимой ошибки $\delta_{доп}$ прогноза дрейфа льда принимается величина равная $\pm\ 0{,}674\sigma_{\Delta}$, где σ_{Δ} – среднее квадратичное отклонение изменения скорости (направления) дрейфа от среднего изменения за период заблаговременности прогноза в данном районе моря. Если данных для определения природной вариации дрейфа льда недостаточно, можно использовать в качестве допустимой ошибки $\delta_{доп}$ величину, соответствующую 20 % амплитуды изменения величины за период заблаговременности прогноза.

Положение кромки льда

7.3.4.1.6 В качестве допустимой ошибки положения кромки льда принимается величина $\delta_{кр} = 0{,}674\sigma_{кр}$, где $\sigma_{кр}$ среднеквадратическое значение изменчивости положения кромки льда. Оправдываемость прогноза положения кромки льда *P*, %, определяется по формуле

$$P = \frac{l_1}{l_S} \cdot 100, \qquad (32)$$

где l_1 – общая длина участков предсказанной кромки, на которой отклонение от фактического положения кромки не превышает величину допустимой ошибки $\delta_{кр}$;

l_S – длина прогностической кромки, обеспеченной фактическими данными.

Положение полыней

7.3.4.1.7 Оценке подлежат только полыньи, продолжительность существования которых соизмерима с заблаговременностью прогноза. Полностью оправдавшиеся

полыньи получают оценку 1, полностью не оправдавшиеся – оценку 0, а оправдавшиеся частично могут получать оценку от 0 до 1 в соответствии с долей относительной длины полыней, оправдавшихся при прогнозе. Общая оправдываемость полыней *P*, %, вычисляется по формуле

$$P = \frac{m}{n} \cdot 100, \tag{33}$$

где m – сумма оценок оправдавшихся полыней;

n – общее количество полыней, подлежащих оценке.

При отсутствии полыней на фактической и прогностической карте общая оправдываемость прогноза составляет 100 %.

Прогнозы высоты ветровых волн и зыби

7.3.4.1.8 Оценка оправдываемости прогноза высоты волн производится как для отдельных пунктов прибрежных районов моря, так и по акватории морей и океанов.

7.3.4.1.9 При оценке оправдываемости прогнозов высот волн по данным судовых визуальных наблюдений в качестве допустимой ошибки прогноза высоты волн принимается величина равная 30 % от наблюденной высоты волны, приблизительно соответствующей обеспеченности 12 %. Прогноз считается оправдавшимся, если выполняется условие

$$\frac{h_ф - h_{пр}}{h_ф} \cdot 100 \le 30, \tag{34}$$

где $h_ф$ – фактически наблюденная высота волны;

$h_{пр}$ – предсказанная высота волны.

7.3.4.1.10 Допустимая ошибка не устанавливается для оценки прогнозов волн с высотой до 0,25 м в бухтах, небольших заливах, портах и на мелководье прибрежных зон, до 1 м в открытых морских районах и до 2 м в океанах.

Во всех этих случаях соответствующие прогнозы считаются оправдавшимися при любой действительной высоте волн от 0 до 0,25; 1,0; 2,0 м (в зависимости от размеров водного бассейна).

7.3.4.1.11 Оценка оправдываемости прогнозов полей высот волн, составленных численным или синоптическим методом, производится путем сравнения предсказанных высот волн с высотами волн, снятых с карт волнения проанализированных по данным судовых наблюдений, на которых поле волнения представлено в виде изолиний, соединяющих точки с равными высотами волн.

С этой целью на прогностической карте выбирается ряд контрольных точек (порядка 20–30), равномерно распределенных по области прогноза и в каждой из них снимаются прогностические значения высот волн. В этих же точках с проанализированных карт волнения снимаются путем интерполяции значения высот волн, принимаемых в качестве фактических. Полученные данные сопоставляются друг с другом. Прогноз высоты волны в каждой из выбранных точек считается оправдавшимся, если выполняется условие (34).

7.3.4.1.12 Общая оправдываемость прогноза *P*, %, определяется по формуле:

$$P_{общ.} = \frac{m}{n} \cdot 100, \tag{35}$$

где m – количество точек, в которых прогноз оправдался;

n – общее количество точек.

7.3.4.1.13 Направление ветровых волн не оценивается. Оценка прогноза высот ветровых волн и высот волн зыби, если они составлены отдельно производится раздельно. При прогнозе зыби должно оцениваться также и направление, откуда зыбь распространяется.

7.3.4.2 Прогнозы уровня, течений и температуры воды

7.3.4.2.1 За допустимую ошибку $\delta_{доп}$ прогноза уровня принимается величина, равная $\pm\ 0{,}674\sigma_{\Delta}$, где σ_{Δ} – средне квадратичное отклонение изменения уровня от нормы изменения уровня в данном пункте за период заблаговременности прогноза.

Среднее квадратичное отклонение приращений уровня $\sigma_{\Delta h}$ рассчитывается на основе фактических приращений уровня за время заблаговременности по формуле

$$\sigma_{\Delta h} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\Delta h_i - \overline{\Delta h})^2}{n}}, \tag{36}$$

где Δh – изменение уровня за интервал времени, равный заблаговременности прогноза (τ);

$\overline{\Delta h}$ – среднее значение этих изменений для данной станции или поста;

n – длина ряда наблюдений.

Прогноз считается оправдавшимся, если ошибка прогноза $\delta \le \delta_{доп}$.

7.3.4.2.2 Аналогичным образом оцениваются прогнозы течений и температуры воды. Только в этих случаях устанавливаются свои средние квадратичные отклонения σ_{Δ}.

7.3.4.2.3 Общая оправдываемость прогнозов этих элементов выражается процентным отношением числа оправдавшихся прогнозов к общему числу прогнозов.

7.3.4.2.4 Учет и оценка краткосрочных и среднесрочных морских гидрологических прогнозов ведется в специальном журнале (приложение М).

7.3.5 Оценка штормовых предупреждений

7.3.5.1 Показателями успешности штормовых предупреждений являются их оправдываемость, предупрежденность, заблаговременность и эффективность, которые рассчитываются по факту наличия или отсутствия явления.

7.5.3.2 Оценка успешности штормовых предупреждений, составленных для всего моря или его части, производят по всей территории моря (пункт включается в территорию). Успешность штормовых предупреждений, составленных только для пункта, оценивают по пункту.

7.3.5.3 Оценке успешности подлежат все штормовые предупреждения с учетом «пропущенных» ОЯ, которые не спрогнозированы, но наблюдались. Оценка оправдываемости метеорологических явлений по пункту (порту) и территории моря производится в соответствии с РД 52.27.724.

7.3.5.4 Штормовое предупреждение о сохранении успешно предусмотренного ранее явления (продление срока действия штормового предупреждения) не оценивают.

7.3.5.5 Если предусмотренное в штормовом предупреждении ОЯ не наблюдалось, но штормовое предупреждение было отменено не позднее, чем за 2 ч до ожидаемого возникновения ОЯ, то данное штормовое предупреждение не оценивают.

7.3.5.6 Не предусмотренное прогнозом, но наблюдавшееся ОЯ интерпретируют как прогноз отсутствия ОЯ, а не составленное штормовое предупреждение об этом ОЯ учитывают как не оправдавшееся.

7.3.5.7 Оправдываемость штормовых предупреждений, составленных с заблаговременностью до трех суток, оценивается как по пункту, так и по территории, а с заблаговременностью до 10 суток – только по территории.

7.3.5.8 Оценка оправдываемости штормовых предупреждений производится по двум градациям: «оправдалось» ($P_{оя} = 100$ %) и «не оправдалось» ($P_{оя} = 0$ %) - в зависимости от правильности предсказания интенсивности явления, акватории распространения явления, времени возникновения явления, продолжительности явления.

7.3.5.9 Заблаговременность штормового предупреждения определяется:

– для пункта – интервалом времени, определяемым от момента первого доведения штормового предупреждения до обслуживаемых организаций до момента возникновения ОЯ в данном пункте;

– для территории – интервалом времени, определяемым от момента первого доведения предупреждения до обслуживаемых организаций до момента возникновения ОЯ на одной из станций, если оно наблюдалось только на одной станции, или на второй станции, если оно наблюдалось на нескольких станциях.

7.3.5.10 Оценка штормовых предупреждений по акватории распространения ОЯ должна производиться с учетом следующих условий:

– штормовое предупреждение, составленное для всей акватории моря (в пределах зоны ответственности оперативного органа), считается оправдавшимся, если ожидаемое ОЯ наблюдалось не менее чем на трети этой территории;

– ОЯ (или комплекс явлений, близких к ОЯ), возникновение которого не было предусмотрено штормовым предупреждением, считается непредупрежденным, если оно наблюдалось более чем на трети обслуживаемой территории;

– штормовое предупреждение, составленное по какой-то части акватории моря, считается оправдавшимся, если оно отмечалось, хотя бы одной береговой или судовой станцией на данной части акватории моря;

– если возникновение ОЯ предусматривалось штормовым предупреждением на одной части акватории моря, а оно наблюдалось на другой, для которой штормовое предупреждение не выпускалось, такое предупреждение оценивается как неоправдавшееся, а явление – как непредусмотренное;

– если штормовое предупреждение было дано по одной части акватории моря, а ОЯ наблюдалось и на других ее частях, штормовое предупреждение считается оправдавшимся, если ОЯ наблюдалось не более чем на трети той части акватории, по которой предупреждение не давалось;

– если ОЯ наблюдалось более чем на трети акватории моря, по которой штормовое предупреждение не выпускалось, то ОЯ считается непредупрежденным, а оценка «оправдалось» относится только к той части, для которой составлялось штормовое предупреждение.

7.3.5.11 Оценка штормовых предупреждений по времени начала возникновения ОЯ и его продолжительности производится с учетом следующих условий:

– штормовое предупреждение считается оправдавшимся по времени, если разница между предсказанным и фактическим временем возникновения ОЯ не превышает величину, указанную в таблице 10.

Таблица 10 – Допустимая разница между предсказанным и фактическим временем возникновения ОЯ

Заблаговременность предупреждения, ч	**Допустимая разница между предсказанным и фактическим временем возникновения ОЯ, ч**	
	Раньше на	Позже на
От 2 до 6 включительно	1	2
От 7 до 24 включительно	2	3
От 25 до 48 включительно	3	4
Более 48	4	6

– штормовое предупреждение не оценивается, если ожидавшееся ОЯ не наблюдалось и потребителям была передана отмена этого предупреждения не позднее, чем за 2 ч до ожидаемого срока начала явления. Если отмена предупреждения дана позднее этого срока, штормовое предупреждение считается неоправдавшимся;

– штормовые предупреждения, содержащие уточнение ранее сообщенного времени начала или границ распространения ОЯ, оцениваются как новое предупреждение.

7.3.5.12 Штормовое предупреждение считается оправдавшимся, если ОЯ было отмечено на одном пункте наблюдения или более и по силе (интенсивности) достигали установленного критерия ОЯ по РД 52.88.699.

7.3.5.13 Штормовое предупреждение считается оправдавшимся, если наблюдалось, хотя бы одно ОЯ из нескольких, указанных в штормовом предупреждении ОЯ.

7.3.5.14 Штормовое предупреждение считается оправдавшимся, если одновременно наблюдалось несколько ОЯ, а предусмотрено – хотя бы одно из них.

7.3.5.15 Штормовое предупреждение, содержащее комплекс гидрометеорологических явлений, считается оправдавшимся, если не менее двух перечисленных в нем явлений достигли установленных для обслуживаемой территории значений гидрометеорологических величин и наблюдались в одном пункте наблюдений и более.

Примеры

1 Дано штормовое предупреждение об усилении ветра от 20 до 25 м/с, начиная с 18 ч (критерий ОЯ по ветру равен 25 м/с)

Фактически в 19 ч ветер усилился на станциях от 14 до 18 м/с, на одной станции – до 25 м/с. Штормовое предупреждение оправдалось ($P_{оя} = 100$ %).

2 В прогнозе ожидалась скорость ветра от 18 до 23 м/с (критерий ОЯ равен 25 м/с), штормовое предупреждение не выпускалось.

Фактически по территории моря (десять станций) скорость ветра на трех станциях было от 14 до 16 м/с, на шести станциях – от 19 до 22 м/с, на одной станции – 26 м/с (ОЯ).

В данном случае ОЯ оказалось не предусмотренным, т.к. штормовое предупреждение не составлено и поэтому учитывается как неоправдавшееся ($P_{оя} = 0$ %).

7.3.5.16 Штормовое предупреждение считается неоправдавшимся ($P_{оя} = 0$ %), если:

– прогнозировалось одно ОЯ, а наблюдалось другое ОЯ;

– ОЯ не было предусмотрено штормовым предупреждением, а наблюдалось в одном или нескольких пунктах наблюдений;

– указанные в штормовом предупреждении ОЯ фактически не наблюдались (значения гидрометеорологических величин не достигли установленных критериев ОЯ или комплекса ОЯ).

7.3.5.17 Штормовое предупреждение считается эффективным ($P_{оя} = 100$ %), если оно оправдалось и выпущено (доведено до потребителя) с заблаговременностью 2 ч и более.

Оправдавшиеся, но переданные с заблаговременностью менее 2 ч, а также не оправдавшиеся (включая «пропущенные») штормовые предупреждения считаются не эффективными ($P_{оя} = 0$ %).

Пример – Оценка оправдываемости прогноза тягуна

Оценка прогноза тягуна производится по трем показателям:

– по времени начала явления;

– по интенсивности;

– по продолжительности.

Срок начала явления оценивается только для умеренного, сильного «тягуна», практически влияющего на работу порта.

Прогноз считается оправдавшимся:

– если умеренный до сильного тягун ожидался в ближайшие 6 ч, а фактически явление началось не ранее чем в ближайшие 2 ч и не позднее чем через 8 ч с момента составления прогноза;

– если умеренный до сильного тягун ожидался в ближайшие 12-24 ч, а фактически явление начиналось не раньше ближайших 10 ч и не позднее 24 ч с момента составления прогноза.

По интенсивности прогноз считается оправдавшимся:

– если при ожидаемом очень слабом до слабого тягуне не наблюдался умеренный тягун (даже кратковременно);

– если дан прогноз от умеренного до сильного тягуна и фактически явление осуществилось.

По продолжительности прогноз считается оправдавшимся, если фактическая продолжительность от умеренного до сильного тягуна соответствует данным таблицы .

Таблица – Оценка оправдываемости прогноза продолжительности тягуна

Продолжительность тягуна, ч				
Ожидаемая	*до 6*	*до 12*	*до 24*	*36*
Фактическая	*6±2*	*12±4*	*24±6*	*36±10*

Примечание – В случае отсутствия данных по акватории моря или его части, где ожидалось ОЯ, допустимо использовать рассчитанные данные, полученные на основе фактической погоды и состояния моря за соответствующие сроки наблюдений, с учетом типовых синоптических ситуаций.

7.3.6 Оценка долгосрочных ледовых прогнозов по арктическим морям

7.3.6.1 Основные критерии и принципы оценки

7.3.6.1.1 Долгосрочные прогнозы ледовых явлений включают прогнозы сроков наступления ледовых явлений и их количественных характеристик (первого и устойчивого появления льда, замерзания, вскрытия и очищения, толщины льда, ледовитости, положения кромки льда). Для морей арктического бассейна, кроме указанных видов прогнозов, составляются также прогнозы сроков взлома и разрушения припая, площадей ледовых массивов, полыней и др.

При оценке оправдываемости прогнозов сроков наступления ледовых явлений, не имеющих резко выраженного годового хода, за допустимую ошибку $\delta_{доп}$ принимается величина, равная $\pm\sigma$, $\pm\ 0{,}8\sigma$ или $\pm 0{,}674\sigma$ в зависимости от заблаговременности прогноза. Величина σ вычисляется по формуле (2), как среднее квадратичное отклонение прогнозируемого элемента от нормы за многолетний период в данном районе моря или океана.

При оценке прогнозов тех элементов ледового режима, которые имеют годовой ход (ледовитость, толщина льда, положение кромки льда), значения допустимых погрешностей $\delta_{доп} = \sigma_{\Delta}$ вычисляются как средние квадратичные отклонения изменений от среднего изменения прогнозируемого элемента за период заблаговременности прогноза.

7.3.6.1.2 Работа по оценке оправдываемости долгосрочных ледовых прогнозов начинается со сбора фактического материала по тем элементам, которые были включены в прогноз (таблицы Л.4–Л.6).

Исходным материалом для этого служат данные фактических наблюдений за состоянием льдов с самолетов, ИСЗ, судов и полярных станций, данные радиовех и дрейфующих станций, а также сведения о ходе навигации в арктических морях.

Оценивается оправдываемость всех элементов ледового прогноза и его уточнений.

Оценка прогнозов производится по группам элементов, в которые объединяются прогнозируемые показатели, имеющие режимное сходство; по районам моря или для моря в целом: по заблаговременности прогнозов.

7.3.6.1.3 Все прогнозируемые элементы режима объединены в пять групп.

Группа 1. Взлом и окончательное разрушение припая, куда включаются сведения о сроках взлома и разрушения припая в бухтах, проливах или в районе полярных станций.

Группа 2. Ледовитость морей и площади ледовых массивов, куда включаются сведения о ледовитости моря в целом, о ледовитости отдельных районов моря, о площади ледовых массивов в море.

Группа 3. Распределение льда, куда входят следующие сведения: широта и долгота положения кромки, тип распределения массива, сплоченность, время образования заприпайных полыней или прогалин, время разделения или разрыва массивов и т.д.

Группа 4. Устойчивое ледообразование и нарастание молодого льда, куда включены сведения о сроках начала устойчивого образования льда в бухтах, проливах и в море, а также данные о сроках достижения молодым льдом толщины 5–10, 20–25 см и т.д., лимитирующей плавание транспортных судов и ледоколов в арктических морях осенью.

Группа 5. Навигационные рекомендации.

Данные этой группы элементов ледового прогноза имеют наибольшее практическое значение, так как дают сведения о возможных сроках начала и окончания ледокольного и безледокольного плавания на различных участках трассы Северного морского пути (СМП), сроках выхода последних судов из арктических портов, а также указывают наиболее благоприятное время прохождения судами лимитирующих участков трассы и подхода судов к труднодоступным (по ледовым условиям) пунктам Арктики.

В качестве единого показателя условий плавания на арктических трассах принято отношение эксплуатационной скорости хода судна в одиночном плавании во льду на заданной трассе к эксплуатационной скорости хода судна на чистой воде. Это отношение, называемое коэффициентом трудности плавания K_T, является безразмерным показателем,

позволяющим объективно сравнивать условия ледового плавания в различных физико-географических районах и в разные навигационные периоды

$$K_T = \frac{V_0}{V_{\tilde{i}}} \cdot \frac{S_{\tilde{i}\partial}}{S_0} + \frac{V_0}{V_{9-10}} \cdot \frac{S_{9-10}}{S_0} + \ldots + \frac{V_0}{V_{1-3}} \cdot \frac{S_{1-3}}{S_0} \cdot \frac{S_{\div.\hat{a}.}}{S_0}, \qquad (37)$$

где V_0 – техническая скорость хода судна на чистой воде;

S_0 – общая протяженность рассматриваемой трассы;

$S_{пр}$, S_{9-10}, $S_{ч.в.}$ – протяженность участков в припае, во льдах протяженностью 9–10 баллов и на чистой воде;

$V_{пр}$, V_{9-10} – техническая ледовая скорость хода судна в припае, во льду сплоченностью 9–10 баллов и т.д.

7.3.6.1.4 Оценка прогнозов по элементам ледового режима производится для следующих районов:

– по морям северо-западной Атлантики;

–по Баренцеву морю в целом и по его районам, а также по району Земли Франца-Иосифа;

– по юго-западной и северо-восточной части Карского моря, включая пролив Вилькицкого;

– по морю Лаптевых в целом и отдельно по западной и восточной его части;

– для района Новосибирских островов, куда включается восточная часть моря Лаптевых и западная часть Восточно-Сибирского моря;

– по Восточно-Сибирскому морю в целом и отдельно по западной и восточной его части;

– по району Анадырского залива.

7.3.6.1.5 Оценка по заблаговременности производится для следующих плановых прогнозов и уточнений:

– долгосрочного прогноза, составленного в январе на первую половину навигации (заблаговременность более 6–8 мес);

– основного долгосрочного прогноза, составленного в марте на первую половину навигации (заблаговременность 4–6 мес);

– уточнение ледового прогноза, составляемого в мае (заблаговременность 3–6 мес);

– уточнение ледового прогноза, составляемого в июне (заблаговременность 1–3 мес.);

– долгосрочного прогноза, составляемого в августе на вторую половину навигации (заблаговременность 2–4 мес);

– долгосрочного прогноза, составляемого в сентябре на вторую половину навигации (заблаговременность 1–3 мес).

7.3.6.1.6 Для оценки январского прогноза по элементам режима для всех районов, которые указаны в тексте официального прогноза ФГБУ «ААНИИ», заполняется таблица Л.4.

7.3.6.1.7 Для оценки прогноза, составленного в марте, и последующих его уточнений, а также для прогнозов, выпущенных в августе и в сентябре по элементам режима для всех районов, заполняются таблицы Л.5 и Л.6.

7.3.6.1.8 В соответствующие графы таблиц Л.4–Л.6 в записываются необходимые для проверки прогнозов сведения:

– фактическое состояние элемента в текущем году $x_ф$;

– среднее многолетнее значение данного элемента $\bar{x}$;

– многолетняя амплитуда $A_м$;

– среднее квадратичное отклонение от нормы σ_x;

– прогнозируемое числовое значение элемента $x_{пр}$;

– допустимая ошибка $\delta_{доп}$, выраженная либо в долях многолетней амплитуды, либо в долях σ_x.

Сведения о среднем многолетнем значении приводятся для того, чтобы было видно, на каком уровне относительно нормы происходило явление фактически и по прогнозу. Многолетняя амплитуда $A_м$ и среднее квадратичное отклонение от нормы σ_x даются для подсчета значения допустимых ошибок, выраженных в долях $A_м$ или σ_x.

Показатели $A_м$, $\bar{x}$ и σ_x должны быть получены на одном ряде наблюдений, чтобы имелась полная возможность их сопоставления. Ряд наблюдений за элементом гидрологического режима моря, по которому вычислены значения нормы, амплитуды и σ_x должны быть указаны в тексте. Если ряды наблюдений для различных пунктов неодинаковы, следует указать преобладающую для района или моря длину ряда наблюдений, по которым получены $A_м$, $\bar{x}$ и σ_x.

В соответствующие графы таблиц Л.4–Л.6 записывается допустимая ошибка, выраженная либо в процентах многолетней амплитуды, либо в долях σ_x ($\delta_{доп.1}$ или $\delta_{доп.2}$).

Ошибка прогноза находится из сопоставления фактически наблюдавшегося значения элемента $x_ф$ и ожидавшегося по прогнозу $x_{пр}$.

7.3.6.1.9 Оценка оправдываемости прогноза производится путем сопоставления ошибки прогноза δ с допустимой ошибкой $\delta_{доп.1}$ или $\delta_{доп.2}$. В случае, когда $\delta \le \delta_{доп.1}$ и $\delta \le \delta_{доп.2}$, прогноз считается оправдавшимся и получает оценку 100 %. В случае, когда $\delta > \delta_{доп.1}$ или $\delta > \delta_{доп.2}$, прогноз считается неоправдавшимся и получает оценку 0 %.

7.3.6.1.10 Кроме общепринятой оценки оправдываемости прогноза, когда ошибка прогноза сравнивается с допустимой ошибкой и прогнозу дается одна их двух возможных оценок (100 % или 0 %), производится оценка этого же прогноза в зависимости от ошибки прогноза.

7.3.6.1.11 Оценка прогноза в зависимости от ошибки прогноза выражается в процентах и изменяется в диапазоне от 100 до 0 %.

Оценка прогноза F находится по допустимой ошибке прогноза $\delta_{доп}$ и среднему квадратичному отклонению от нормы σ_x (таблицы Л.1–Л.3).

7.3.6.1.12 Сопоставление значений многолетней амплитуды $A_м$ и среднего квадратичного отклонения от нормы σ_x по материалам для арктических морей, где ряды наблюдений в среднем составляют порядка 30–50 лет, дало следующие соотношения:

$$0{,}25\,A_м = \sigma_x; \qquad 0{,}2\,A_м = 0{,}8\,\sigma_x, \qquad 0{,}17\,A_м = 0{,}674\,\sigma_x.$$

7.3.6.1.13 На основе обработки многолетних рядов наблюдений в Арктике приняты следующие значения допустимых ошибок для оценки долгосрочных прогнозов, выраженные в долях среднего квадратичного отклонения от нормы:

а) при заблаговременности прогнозов более 6 мес. за критерий допустимой ошибки принимается $\pm\sigma_x$;

б) при заблаговременности прогнозов менее 6 мес. за критерий допустимой ошибки принимается $\pm 0{,}8\,\sigma_x$;

в) при заблаговременности прогнозов менее 6 мес. для рядов, приближающихся к 100 годам, за критерий допустимой ошибки берется $\pm 0{,}674\,\sigma_x$.

7.3.6.2 Оценка прогнозов взлома и окончательного разрушения припая

7.3.6.2.1 Оценка прогнозов срока взлома и разрушения припая начинается с подготовки исходного материала. В таблицу Л.4 из прогноза, составленного в январе, и в

таблицу Л.5 из прогноза, составленного в марте, и его уточнений вписываются пункты или районы моря, для которых давался прогноз, прогнозируемые сроки, данные о средних многолетних значениях, данные природной изменчивости и значения допустимых погрешностей.

7.3.6.2.2 По данным полярных станций, ледовых авиаразведок, судовых и спутниковых данных, а также в результате анализа ледово-гидрологических процессов в морях устанавливаются сроки взлома припая в текущем году для всех пунктов, вписанных в таблицы Л.4, Л.5. Из сравнения сроков фактического взлома припая и ожидавшегося по прогнозу находят ошибку каждого прогноза δ.

7.3.6.2.3 Оценка оправдываемости и оценка прогноза в зависимости от ошибки прогноза производится последовательно для всех пунктов, после чего подсчитываются средние оценки прогнозов, составленных в январе и в марте и их уточнений по каждому морю. Результаты подсчета средних оценок вносятся в соответствующие графы сводной таблицы Л.7.

7.3.6.2.4 После заполнения таблиц Л.4, Л.5 и Л.7 следует приступить к анализу результатов проверки прогнозов сроков взлома и окончательного разрушения припая в текущем году.

7.3.6.3 Оценка прогнозов ледовитости моря и площадей ледяных массивов

7.3.6.3.1 Работа по оценке прогнозов ледовитости арктических морей начинается со сбора материалов. Отдельно для каждого моря (Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского), для района Новосибирских островов и Анадырского залива заполняются таблицы Л.4 и Л.5, в которые из официальных прогнозов, составленных в январе и марте (с уточнением в апреле и июне), записываются периоды прогноза ледовитости на первую половину навигации.

В таблицу Л.6 из официальных прогнозов, составленных в августе и сентябре, записываются периоды прогноза ледовитости на вторую половину навигации.

Прогнозы площадей ледовых массивов – Новоземельского, Северо-Земельского, Таймырского, Янского, Айонского и Врангелевского – на первую и вторую половину навигации записываются в таблицы Л.4–Л.6 после прогноза ледовитости того моря, в пределах которого располагался данный массив. В этих таблицах заполняются все графы, содержащие сведения о прогнозируемой ледовитости или площади массива, норма,

данные о природной изменчивости, многолетней амплитуде и допустимые погрешности $\delta_{доп}$.

7.3.6.3.2 Сведения о фактически наблюдавшейся ледовитости моря или площади массива в текущем году вписываются в соответствующие графы таблиц Л.4–Л.6 на основании данных планиметрирования ежедекадных обзорных карт ледовой обстановки в моря, которое производится научно-оперативными группами при штабах морских операций.

7.3.6.3.3 Фактические значения ледовитости за определенные промежутки времени, указанные в прогнозе, определяются путем осреднения или интерполяции данных, полученных из непосредственного планиметрирования обзорных карт за каждую декаду. Из сопоставления фактически наблюдавшихся значений ледовитости и площади массивов с ожидаемыми по прогнозу соответственно заблаговременности находят ошибку прогноза δ.

7.3.6.3.4 Оценка оправдываемости прогноза и оценка прогноза в зависимости от ошибки прогноза производится последовательно для всех показателей ледовитости и площадей массивов по каждому морю и по каждому прогнозу, после чего подсчитываются средние оценки для прогнозов, составленных в январе, марте (с уточнениями), августе и сентябре и полученные данные вписываются в сводную таблицу Л.7.

7.3.6.3.5 После заполнения всех граф таблиц Л.4–Л.7 необходимо тщательно проанализировать материалы, которые были заложены в обоснование прогнозов ледовитости или площади массивов; при этом следует кратко охарактеризовать методику долгосрочных прогнозов данного элемента ледового режима конкретно по морю или району.

В анализе ошибочных прогнозов следует указать, на какой материал по фактическим наблюдениям и на какой материал из долгосрочного метеорологического прогноза опирались при составлении ледового прогноза в текущем году.

7.3.6.3.6 В заключение следует рассмотреть средние оценки оправдываемости и оценки в зависимости от значений ошибок прогноза ледовитости в среднем для каждого моря и для различных по заблаговременности прогнозов.

7.3.6.4 Оценка прогнозов распределения льда

7.3.6.4.1 Оценка прогноза распределения льда может быть произведена количественно и качественно (в зависимости от вида прогноза).

Количественная оценка прогнозов распределения льда производится в том случае, если прогноз дается в виде конкретных цифровых характеристик на основании разработанной методики (например, положение кромки на определенном меридиане или параллели), а также при наличии сведений о природной изменчивости самого явления, показателей этой изменчивости – многолетней амплитуде или средней квадратичной ошибки и определенной по ним допустимой ошибки.

В таблицы Л.4–Л.6 вписываются прогнозы распределения льда с количественными характеристиками, дается оценка оправдываемости и определяется оценка в зависимости от ошибки прогноза.

7.3.6.4.2 Качественную оценку получают прогнозы положения массива, образования прогалины, разрежений льда и разрывов между ледяными массивами.

Прогнозы положения массивов Новоземельского, Таймырского, Айонского и Врангелевского, а также прогнозы взаимного положения массивов могут быть выписаны их текстов прогноза и представлены в виде таблицы, где в соответствующих графах дается оценка оправдываемости каждого прогноза.

7.3.6.4.3 Оценка прогноза появления чукотской заприпайной прогалины, составляемого в марте с последующим уточнением в мае и июне, производится путем сравнения ожидаемого состояния прогалины, выраженного в виде площади чистой воды за припаем, с фактически наблюдавшейся в этом районе ледовой обстановкой, с учетом природной изменчивости или многолетней амплитуды, а также допустимой погрешности прогноза.

7.3.6.4.4 К элементу распределения льда относится также прогноз времени полного очищения района ото льда и прогноз наличия остаточного льда при осеннем ледообразовании в районе пролива, бухты или полярной станции.

7.3.6.4.5 После проверки и оценки всех пунктов ледового прогноза, касающегося распределения льда в арктических морях, результаты проверки заносятся в виде средних оценок в соответствующие графы сводной таблицы Л.7.

7.3.6.4.6 При анализе результатов оценки прогнозов распределения льда необходимо наиболее подробно разобрать случаи плохой оправдываемости прогноза и выявить причины.

7.3.6.5 Оценка прогнозов устойчивого ледообразования и нарастания молодого льда

7.3.6.5.1 Проверка прогнозов устойчивого ледообразования и нарастания льда начинается с подбора исходного материала. В таблице Л.6 из текста прогнозов, составленных в августе и сентябре, вписываются пункты, для которых давался прогноз данного элемента, прогнозируемые сроки, данные о средних многолетних сроках, данные об $A_м, \sigma_x$ и допустимой ошибки $\delta_{доп}$. Критерии допустимых ошибок для прогнозов, составленных в августе и сентябре принимаются $0{,}8\,\sigma_x$, или 20 % от $A_м$.

Отдельно проверяется численный прогноз устойчивого ледообразования или других ледовых фаз по всему морю или отдельным его районам путем сравнения прогностических данных с фактическими данными, снятыми с проанализированных карт в узлах стандартной сетки.

7.3.6.5.2 По данным полярных станций, судовых наблюдений, ледовых авиаразведок и спутниковых снимков, а также в результате анализа ледово-гидрологических процессов в арктических морях, устанавливаются сроки фактического начала устойчивого ледообразования и сроки достижения молодым льдом определенной толщины в текущем году; полученные результаты для каждого пункта записываются в таблицу. На основании сопоставления фактического начала устойчивого ледообразования (или нарастания льда) с ожидавшимся по прогнозу, находят ошибку прогноза δ.

7.3.6.5.3 После определения оценок оправдываемости и оценок в зависимости от ошибки прогноза по каждому пункту и численного прогноза осенних ледовых явлений по акватории моря подсчитываются средние оценки для моря по прогнозам, составленным в августе и сентябре. Результаты подсчета средних оценок вносятся в соответствующие графы сводной таблицы Л.7.

После заполнения всех граф таблиц Л.6 и Л.7 следует приступить к анализу результатов проверки прогнозов сроков устойчивого ледообразования и нарастания молодого льда в текущем году. При анализе необходимо увязать оправдываемость ледового прогноза с оправдываемостью долгосрочного метеорологического прогноза (главным образом оправдываемость аномалий температуры воздуха).

7.3.6.6 Оценка прогнозов навигационных рекомендаций

7.3.6.6.1 Оценка прогнозов навигационных рекомендаций начинается с заполнения таблиц. В таблицы Л.4–Л.5 из прогнозов, составленных в январе и марте, и их уточнений, а также из прогнозов, составленных в августе и сентябре (таблица Л.6), выписываются участки трассы в каждом из арктических морей, для которых давался прогноз навигационных рекомендаций.

7.3.6.6.2 Для отдельных участков Северного морского пути составляются следующие навигационные рекомендации:

а) в Баренцевом море – сроки начала и окончания плавания к архипелагу Земля Франца-Иосифа весной и осенью;

б) в Карском море – сроки начала и окончания плавания с ледоколами и без ледоколов на участках: пр. Карские Ворота – о. Диксон, Баренцево море (вокруг мыса Желания) - о.Диксон, о. Диксон – пр. Велькицкого, о. Диксон – о. Белый – Енисейский залив;

в) в море Лаптевых – сроки начала и окончания плавания с ледоколами и без ледоколов на участках: пр. Вилькицкого – порты моря Лаптевых, б. Тикси – Колыма (через пр. Санникова или через пр. Д.Лаптева), каботажное плавание на участках б.Кожевниково – пос. Тикси, б. Тикси – р. Яна; в навигационных рекомендациях для моря Лаптевых могут указываться сроки проводки единичных судов через Таймырский массив осенью, сроки вывода судов из устьев рек Анабара, Хатанги и Оленька;

г) в Восточно-Сибирском и Чукотском морях – сроки начала и окончания плавания с ледоколами и без ледоколов на участках: б. Певек – Берингов пр., б. Певек – Амбарчик; сроки вывода судов из Колымы и Идигирки осенью; сроки грузовых операций у побережья Чукотки; в Анадырском заливе – сроки плавания на участках м. Наварин – б. Провидения, в заливе Креста сроки грузовых операций в районе б. Угольной, сроки вывода судов осенью из б. Провидения.

7.3.6.6.3 В таблицы, куда вписаны участки по каждому морю, в соответствии с текстом прогноза записываются ожидаемые сроки навигационных рекомендаций, средние многолетние сроки $\bar{x}$, амплитуда и среднеквадратичное отклонение от нормы $A_м$ и σ_x, а также допустимые погрешности, выраженные либо в долях σ_x, либо в долях $A_м$.

Возможные сроки начала и окончания ледокольной проводки и безледокольного плавания на конкретных участках в текущем году устанавливаются, исходя из критериев и фактических ледовых условий на этих участках.

7.3.6.6.4 Ошибка прогноза δ находится при сопоставлении возможного срока с ожидаемым по прогнозу. Оценка оправдываемости получается при сопоставлении ошибок прогноза с допустимой ошибкой $\delta_{доп}$: при $\delta \le \delta_{доп}$ принимается оценка 100 % (прогноз оправдался), при $\delta > \delta_{доп}$ принимается оценка 0 % (прогноз не оправдался).

7.3.6.6.5 Оценка прогноза F в зависимости от ошибки прогноза дается согласно формулам (19), (20) или находится из таблиц Л.2 и Л.3.

7.3.6.6.6 После определения оценок каждого конкретного прогноза подсчитываются средние оценки для прогноза по каждому морю. Результаты прогноза средних оценок вносятся в соответствующие графы сводной таблицы Л.7.

7.3.6.6.7 Результаты проверки прогнозов навигационных рекомендаций подвергаются анализу; наиболее подробно следует остановиться на причинах плохой оправдываемости прогнозов конкретно по каждому морю.

После окончания работы по определению оправдываемости конкретных прогнозов и определения оценки прогнозов в зависимости от ошибки по данным таблиц Л.1–Л.3 подсчитываются средние значения оценок прогнозов для каждой группы элементов ледового режима по морям или отдельным районам моря и для прогнозов различной заблаговременности.

7.3.6.6.8 Средняя оправдываемость прогнозов получается в результате деления суммы всех оценок таблицы Л.6 на число всех слагаемых.

7.3.6.6.9 Средняя оценка прогнозов в зависимости от ошибки прогнозов получается в результате деления суммы всех оценок F на число всех слагаемых.

7.3.6.6.10 Средние оценки прогнозов позволяют сопоставлять количественные результаты прогностической работы от года к году и показывают успешность прогнозов.

Среднее значение оправдываемости прогнозов указывает, какая часть прогностических показателей в процентах от общего числа показателей (за исключением непроверенных) оправдалась, т.е. ошибки таких прогнозов были меньше или равны $\delta_{доп}$, а какая часть не оправдалась (100 % минус средняя оценка оправдываемости в процентах).

7.3.6.6.11 Средняя оценка, определенная в зависимости от ошибок прогноза, дает представление о преобладании ошибок прогноза по значению. При высоких значениях средних оценок (80–100 %) преобладают ошибки прогноза значительно меньше $\delta_{доп}$; при значениях средних оценок, равных 60–70 %, ошибки прогноза в большинстве случаев близки к $\delta_{доп}$; при низких значения оценок преобладают ошибки, превышающие $\delta_{доп}$.

7.3.6.6.12 Между средней оценкой оправдываемости и средней оценкой прогнозов в зависимости от ошибки прогнозов возможны следующие соотношения.

Средняя оценка оправдываемости прогнозов будет выше средней оценки этих же прогнозов, определенных в зависимости от ошибок прогнозов, в тех случаях, когда преобладают ошибки прогноза меньше $\delta_{доп}$, т.е. всем этим прогнозам дается оценка оправдываемости 100 %, в то время как оценку 100 % в зависимости от ошибки прогноза получают только безошибочные прогнозы ($\delta = 0$).

7.3.6.6.13 В результате всей работы по проверке прогнозов составляется сводная таблица Л.7 и проводится анализ средних ошибок прогноза по морям, элементам, заблаговременности и в целом для всех арктических морей по данным таблицы. Здесь же производится сопоставление результатов прогностической работы за текущий год с результатами предыдущего года и т.д.

В заключение приводятся выводы, в которых отмечаются недостатки долгосрочных ледовых прогнозов.

Результаты проверки и оценки долгосрочных ледовых прогнозов обсуждаются на совещании специалистов-прогнозистов.

7.3.7 Оценка долгосрочных ледовых прогнозов по неарктическим морям

7.3.7.1 К неарктическим морям окружающим территорию России традиционно отнесены Каспийское, Черное, Азовское, Балтийское, Белое, Берингово, Охотское и Японское моря.

7.3.7.2 Для долгосрочных ледовых прогнозов по неарктическим морям устанавливаются следующие значения допустимых ошибок:

– при заблаговременности прогнозов до двух месяцев за критерий допустимой ошибки принимается ошибка, равная $\pm 0{,}674\sigma_x$;

– при заблаговременности от двух до шести месяцев за критерий допустимой ошибки принимается ошибка $\pm 0{,}8\sigma_x$;

– при заблаговременности прогнозов более шести месяцев за критерий допустимой ошибки принимается ошибка, равная $\pm \sigma_x$.

7.3.7.3 Допустимые ошибки долгосрочных прогнозов ледовых явлений на неарктических морях с заблаговременностью до двух месяцев определяются в соответствии с правилами, изложенными в пункте 7.2.1.

7.3.7.4 Допустимые ошибки для малой заблаговременности времени наступления ледовых явлений принимаются в зависимости от заблаговременности этих прогнозов по таблице 10.

7.3.7.5 Допустимые ошибки прогнозов толщины льда определяются по табл. 9 в зависимости от величины фактического ее изменения за период от даты выпуска прогнозов, до даты, на которую составлялись прогнозы.

7.3.8 Оценка долгосрочных прогнозов аномалий температуры поверхности океана

7.3.8.1 Поскольку температура морской воды имеет хорошо выраженный годовой ход, величины допустимых ошибок $\delta_{доп}$ для всех видов прогнозов вычисляются как средние квадратичные отклонения изменений температуры от среднего изменения ее за период заблаговременности прогноза.

7.3.8.2 Для долгосрочных прогнозов температуры воды (T_w) в зависимости от заблаговременности устанавливаются следующие критерии допустимой ошибки:

$\delta_{доп} = \pm\sigma_{T_w}$ при заблаговременности больше 6 месяцев;

$\delta_{доп} = \pm 0{,}8 \cdot \sigma_{T_w}$ при заблаговременности от 2 до 6 месяцев;

$\delta_{доп} = \pm 0{,}674 \cdot \sigma_{T_w}$ при заблаговременности до 2 месяцев,

где σ_{T_w} – среднее квадратичное отклонение T_w от среднего многолетнего значения.

7.3.8.3 Для районов океана с малой изменчивостью температуры поверхности воды (например в экваториальных областях океанов или центрах областей высоко давления) значение допустимой ошибки принимается равным 0,5 °С.

7.3.8.4 Для характеристики аномальности температурного поля применяется критерий

$$K = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{\Delta T_w^2}{\sigma_i^2}, \qquad (38)$$

где ΔT_w – аномалия температуры воды ($T_w - \overline{T}_w$);

σ_i – дисперсия аномалий в соответствующих точках.

7.3.8.5 Критерий K характеризует степень аномальности температурного поля, но не дает информации о знаке аномалии. О преобладании положительной или отрицательной аномалии можно судить по параметру ρ, вычисляемому по формуле [21]

$$\rho = \frac{n_+ - n_-}{n_+ + n_-}, \tag{39}$$

где n_+ – число квадратов с положительной аномалией температуры воды;

n_- – число квадратов с отрицательной аномалией.

Оправдываемость прогноза ТПО, по знаку можно определить по формуле

$$P = 50 \cdot (1 + \rho), \tag{40}$$

где параметр ρ вычисляется по формуле

$$\rho = \frac{n_{опр} - n_{неопр}}{N}. \tag{41}$$

Здесь $n_{опр}$ – количество оправдавшихся по знаку прогнозов;

$n_{неопр}$ – количество не оправдавшихся по знаку прогнозов;

N – общее количество составленных прогнозов.

Метод прогноза считается хорошим при $P > 50$ % и $|\delta T| < \sigma_T$, удовлетворительным при $P > 50$ % и $|\delta T| > \sigma_T$ или $P < 50$ % и $|\delta T| < \sigma_T$, неудовлетворительным при $P < 50$ % и $|\delta T| > \sigma_T$.

7.3.8.6 Для оценки качества прогноза ТПО также используется соотношение S / σ_T, где S – среднеквадратичная ошибка прогноза, а σ_T – среднеквадратичное отклонение от нормы. Прогноз считается оправдавшимся, если его ошибка $\delta < \delta_{доп}$ и не оправдавшимся, если $\delta > \delta_{доп}$.

Средняя квадратичная ошибка прогнозов S_T определяется по формуле

$$S_T = \frac{\sum_1^n (T_ф - T_{пр})^2}{n - m}, \tag{42}$$

где n – число членов ряда, для которого определяется ошибка;

m – число степеней свободы, определяемое количеством постоянных величин в прогностическом уравнении.

Оправдываемость P, %, каждого прогноза поля температуры воды определяется процентным отношением числа точек m, в которых прогноз оправдался, к общему числу точек n, по которым составлялись прогнозы

$$P = \frac{m}{n} \cdot 100. \qquad (43)$$

При оценке прогнозов сроков перехода температуры воды через определенные градации, допустимая ошибка выражается в днях и принимается равной среднему квадратичному отклонению от средней многолетней даты перехода температуры воды через заданные градации.

7.3.9 Оценка сверхдолгосрочных прогнозов уровня Каспийского моря

7.3.9.1 Долгосрочные и сверхдолгосрочные прогнозы изменений уровня на сроки до одного года и более разрабатываются, как правило, для замкнутых морей (типа Каспийского или Аральского морей), в которых уровень моря подвержен существенным колебаниям в многолетнем ходе.

7.3.9.2 Существование векового хода уровня Каспийского моря не позволяет рассматривать колебания уровня моря как случайный стационарный процесс. Поэтому для оценки оправдываемости прогноза применяется следующий способ.

7.3.9.3 По материалам годового хода среднего уровня моря в базовых пунктах: Махачкала, Форт-Шевченко, Баку, Туркменбаши, Куули-Маяк, Кара-Богаз-Гол и Жилой определяются величины средних многолетних приращений уровня моря от месяца к месяцу, и статистические характеристики рассчитываются для каждого месяца.

7.3.9.4 Величины допустимых ошибок прогнозов уровня составляют: при заблаговременности до двух месяцев $\pm 0{,}674(\sqrt{\sigma_{\bar{H}}^2 + \sigma_{\Delta H}^2})$, при заблаговременности от двух до шести месяцев $\pm 0{,}8(\sqrt{\sigma_{\bar{H}}^2 + \sigma_{\Delta H}^2})$ и при заблаговременности более шести месяцев $\pm(\sqrt{\sigma_{\bar{H}}^2 + \sigma_{\Delta H}^2})$, где $\sigma_{\bar{H}}$ – вариации среднего уровня моря, $\sigma_{\Delta H}$ – вариации превышений уровня в данном пункте над средним уровнем моря.

7.3.10 Оценка прогнозов, выраженных в вероятностной форме

7.3.10.1 В ряде случаев использование прогнозов в практике связано со знанием отклонений более редкой повторяемости, чем вероятностная погрешность, в связи с чем обычная форма прогноза становится для потребителей недостаточной. Тогда прогноз дается в вероятностной форме.

Вопрос выдачи прогноза в вероятностной форме решается по договоренности с заинтересованными организациями, которые на основании этих прогнозов могут самостоятельно решать свои практические задачи.

7.3.10.2 Под вероятностным прогнозом понимается прогноз, в котором ожидаемая величина дается рядом ее значений с указанием обеспеченности (вероятности) появления каждого из этих значений. Обычно прогноз выражается в табличной форме с указанием ожидаемой величины, обеспеченной на 10 %, 25 %, 50 %, 75 % и 90 %. Расширение диапазона ожидаемой величины за пределы 5 % и 95 % обеспеченности не рекомендуется.

7.3.10.3 Ожидаемая величина заданной обеспеченности определяется по формуле

$$y_{пр} = \bar{y} - \delta_{пр}, \tag{44}$$

где $\bar{y}$ – среднее значение ожидаемой величины по прогнозу; $\delta_{пр}$ – ошибка прогноза заданной обеспеченности.

7.3.10.4 Ошибка прогноза заданной обеспеченности определяется по формуле

$$\delta_{пр} = k_н \cdot \bar{S}_{пр}, \tag{45}$$

где $\bar{S}_{пр}$ – средняя квадратичная ошибка прогноза;

$k_н$ – нормированное отклонение, соответствующее заданной обеспеченности, значение которого можно получить из таблицы 11.

Таблица 11

Обеспеченность, %	10	25	50	75	90
$k_н$	1,28	0,674	0,000	–0,674	–1,28

7.3.10.5 Если используемая для прогноза зависимость установлена без учета резко отклонившихся случаев от линии регрессии, то погрешность прогноза заданной обеспеченности определяется по эмпирическим кривым распределения погрешности. Для этого все погрешности располагаются в убывающем порядке (от наибольшей положительной через нулевое значение к наибольшей отрицательной) и для каждой погрешности определяется ее обеспеченность P, %, по формуле

$$P = \frac{m - 0{,}3}{n + 0{,}4} \cdot 100, \tag{46}$$

где m – порядковый номер ошибки в убывающем ряду;

n – общее число членов ряда.

7.3.11 Учет и оценка долгосрочных морских гидрологических прогнозов ведется в специальном журнале (приложение Н).

7.3.12 Более полное освещение некоторых вопросов, связанных с оценкой вариации статистических переменных и зависимостей между ними приведены в приложении П.

7.4 Оценка эффективности специализированных прогнозов

7.4.1 При специализированном гидрометеорологическом обеспечении морской деятельности важное значение имеет не столько оправдываемость прогнозов, сколько их эффективность. Для оценки эффективности гидрометеорологического обслуживания наибольший интерес представляют данные, характеризующие ту часть ущерба, которая оказывается предотвращенной в результате гидрометеорологического обслуживания.

7.4.2 К специализированным прогнозам относятся прогнозы выпускаемые по заказам потребителей. В заказах обычно конкретизируются требования к району или пункту, где выполняются специальные морские операции производственного или другого характера, пространственно-временному разрешению, заблаговременности и допустимых пороговых значений гидрологических явлений, ограничивающих те или иные виды морских работ. Оценка оправдываемости и эффективности специализированных прогнозов оценивается по тем же критериям, что и прогнозы общего назначения.

7.4.3 Основными видами специализированного гидрометеорологического обеспечения являются:

– обеспечение рыбопромысловых операций;

– проводка судов рекомендуемыми курсами;

– проводка и буксировка плавсредств с ограниченной мореходностью;

– обслуживания морских портов;

– доставка рабочего персонала, грузов и оборудования на геологоразведочные платформы в море и др.

7.4.4 Оценка эффективности проводки судов рекомендуемыми курсами

7.4.4.1 Обслуживание судов рекомендуемыми курсами состоит в выдаче капитанам судов рекомендаций о путях наиболее благоприятного плавания с точки зрения погодных

и навигационных условий [22–24]. Вместе с рекомендацией капитану судна передается прогноз ветра и волнения вдоль рекомендованного маршрута.

7.4.4.2 Оценка оправдываемости прогнозов ветра и высот волн вдоль маршрута осуществляются методами, описанными выше.

7.4.4.3 Эффективность плавания судов рекомендуемыми курсами оценивается по следующим показателям:

– по продолжительности плавания;

– по пройденному расстоянию;

– по числу штормовых дней на переходе через океан;

– по количеству израсходованного топлива;

– по скорости хода судна;

– по выдерживанию запланированного времени рейса

– по количеству часов прерывания погрузо-разгрузочных работ в порту.

7.4.4.4 Для оценки эффективности проводки судов рекомендуемыми курсами может быть применено несколько методов, в зависимости от наличия исходных данных, например, технических данных о судне (водоизмещении, технической скорости, положения метацентрической высоты и др.), видов и характера размещения грузов на судне, графиков потерь скорости хода судна на волнении, гидрометеорологических данных и т.д.

Наиболее распространенными среди них являются:

– сопоставление времени, затраченного на фактическом переходе судна с временем перехода условного судна, следующего кратчайшим расстоянием (дугой большого круга) или по климатическому пути [23];

– сопоставление фактически затраченного времени на переход с плановым временем;

– сопоставление средней путевой скорости хода судна с технической скоростью судна;

– расчет числа штормовых дней на переходе.

7.4.4.5 Количественной характеристикой условий безопасности плавания судна на волнении может служить коэффициент безопасности K, рассчитываемый по формуле

$$K = (\frac{h_m}{h_0}) \cdot (1 + \tau_1) \cdot (1 + \tau_2), \qquad (47)$$

где h_m – максимальная высота волны, м, за время перехода;

h_0 – максимальная допустимая высота, м, (ограничение, сообщаемое капитаном);

τ_1 и τ_2 – повторяемость неблагоприятных, близких к опасным, высот (h_0) и опасных высот волн (8 м и более), соответственно, для судна за период перехода.

Чем больше значение K, тем более трудны и опасны условия плавания. Выбрав некоторые критические значения K, можно разделить условия волнения по пути судна на опасные и безопасные. При использовании коэффициента K предлагается руководствоваться следующими правилами:

– если $K \leq 1$, условия безопасные для судна, имеющего ограничение по высоте волны;

– если $K \leq 2$, условия благоприятны для судна, не имеющего ограничений на высоту волны;

– если $K > 2$, условия плавания неблагоприятны.

Относительная эффективность плавания по рекомендованному пути K_o вычисляется как отношение коэффициента безопасности (K_P) на рекомендованном пути к коэффициенту безопасности (K_A) на альтернативном пути

$$K_o = \frac{K_P}{K_A}. \tag{48}$$

В качестве единого показателя условий плавания судов на арктических трассах рекомендуется использовать коэффициент трудности плавания K_T как отношение

$$K_T = \frac{V_л}{V_0}, \tag{49}$$

где $V_л$ – эксплуатационная ледовая скорость судна в одиночном плавании на заданной трассе;

V_0 – скорость хода судна на чистой воде.

Коэффициент трудности плавания K_T можно рассматривать как отношение затрат времени на переход судна по трассе в конкретных ледовых условиях к затратам времени на переход судна по чистой воде по этой же трассе.

7.4.5 Оценка эффективности обслуживания проводок и буксировок плавсредств с ограниченной мореходностью

7.4.5.1 Эффективность проводок и буксировок плавсредств с ограниченной мореходностью определяется двумя показателями:

– сокращением убытков от аварий и повреждений, вызванных гидрометеорологическими причинами;

– выигрышем ходового времени, затраченного на перегон или буксировку.

7.4.5.2 Выигрыш ходового времени в результате гидрометеорологического обслуживания проводок и буксировок плавсредств с ограниченной мореходностью может быть определен двумя способами.

7.4.5.3 Первый способ основан на сопоставлении фактически затраченного времени на данный перегон или буксировку с плановым временем, которое принято эксплуатационниками для данного типа операции по рассматриваемой трассе на основании имеющегося опыта проводок.

7.4.5.4 Второй, более сложный способ, основан на сравнении фактического времени, затраченного на данную операцию и среднего приведенного времени, которое затрачивалось на аналогичные операции в прошлом.

7.4.5.5 Для определения влияния гидрометеорологических условий на проводку каравана рассчитывается фактическая скорость хода судна V_{δ} по соотношению

$$V_{\phi} = \frac{S}{T_{\phi}}, \tag{50}$$

где S – путь пройденный караваном;

T_{Φ} – фактическое время, затраченное на переход.

Зная V_{Φ} и техническую скорость V_T, рассчитывается коэффициент K, показывающий, в какой степени по времени гидрометеорологические условия увеличили продолжительность данного перегона по сравнению со временем, которое понадобилось бы в случае идеальных гидрометеорологических условий, т.е.

$$K = \frac{K_T}{K_{\phi}}. \tag{51}$$

Имея данные о нескольких таких перегонах, можно найти средний приведенный коэффициент потерь времени $K_{привед}$ по формуле:

$$K_{привед} = \frac{\sum_{i=1}^{n} K_i}{n}, \tag{52}$$

где i – номер каждой конкретной операции;

n – общее число операций.

Разделив время, фактически затраченное на конкретную операцию, $T_ф$ на $K_{привед}$, можно получить время $T_{привед}$, которое потребовалось бы на данный перегон или буксировку

$$T_{привед} = \frac{T_ф}{K_{привед}}. \quad (53)$$

7.4.6 Оценка эффективности обслуживания морских портов

7.4.6.1 Влияние гидрометеорологических условий на производственную деятельность портов выражается в убытках, которые несут порты в результате прекращения погрузочно-разгрузочных работ и аварий судов, портовых сооружений и техники из-за неблагоприятных погодных условий.

Опыт гидрометеорологического обеспечения работ в портах показывает, что основные убытки порты несут в результате внезапно возникающих ОЯ, таких как:

– резкие подъемы и падения уровня воды в порту выше или ниже критических отметок;

– ураганные ветры;

– тягун;

– цунами;

– напоры льда на оградительные сооружения порта;

– обледенение судов у причалов и т.д.

Поэтому важным показателем нормальной работы портов являются штормовые предупреждения об угрозе возникновения ОЯ, учет которых позволяет заблаговременно принять необходимые предупредительные меры и, тем самым, сократить причиняемые убытки.

7.4.6.2 Эффективность работы порта оценивается путем сравнения убытков, которые понес порт в случае не предсказанных ОЯ, или в случае, когда ОЯ было предсказано, но, по тем или иным причинам, штормовое предупреждение не было использовано, с убытками, которые понес порт в случае использования штормового предупреждения. При этом базой для сравнения служат средние убытки, которые мог бы понести порт в случае непредсказанных ОЯ.

Для того, чтобы определить среднюю величину убытков, необходимо произвести осреднение по возможно большему числу случаев. При этом исследуемые случаи должны

быть сравнимы с точки зрения вида штормового явления, его интенсивности, объема работ в порту, количества находившихся в порту судов и т.д.

7.4.6.3 Экономическая эффективность определяется как разность между средними убытками при не предсказанных штормовых явлениях и убытками, которые понес порт, когда явление было предсказано. Следует иметь в виду, что в большинстве случаев в результате наличия непредотвратимого ущерба, убытки в портах возникают даже, когда штормовое явление предсказано с большой заблаговременностью. Общая эффективность обслуживания портов штормовыми предупреждениями за месяц или какой-то другой период времени определяется как результат суммирования всех случаев штормовых явлений за рассматриваемый период.

7.4.6.4 Другим важным показателем эффективности обслуживания портов является уменьшение простоев в работе порта по гидрометеорологическим причинам. Непроизводительные потери рабочего времени в портах складываются из простоев судов из-за не оправдавшихся прогнозов, что обычно происходит в тех случаях, когда по прогнозу предсказывалось штормовое явление, а на самом деле оно не осуществилось. Непроизводительные простои в этих случаях увеличиваются, когда несвоевременно дается отмена не оправдавшегося штормового предупреждения или несвоевременно оповещаются портовые службы о прекращении действия штормового явления.

Указанные непроизводительные потери времени целесообразно выражать в судосутках простоя судов, а затем путем умножения этой величины на стоимость стояночных судосуток, определить убыток в денежном выражении.

Убытки в результате неоправданного сокращения производственных операций в порту определяются не только простоями судов, они могут выражаться также дополнительной потерей скоропортящихся грузов, издержками, связанными с задержкой в сроках поставки грузов потребителями и т.п. Однако все эти дополнительные издержки трудно учитываемы и поэтому при практической оценке ущерба ими часто пренебрегают.

7.4.6.5 Общая эффективность определяется как разность между средними убытками от простоев из-за не оправдавшихся прогнозов за прошлые годы и текущими убытками по тем же причинам. Результирующая эффективность гидрометеорологического обслуживания портов определяется как сумма экономического выигрыша, полученного в результате сокращения аварийности и экономического эффекта, связанного с уменьшением убытков по простоям судов.

7.5 Анализ оправдываемости прогнозов и штормовых предупреждений

7.5.1 Анализ оправдываемости прогнозов является завершающим этапом работы специалиста над прогнозом. Он осуществляется в целях определения эффективности обслуживания потребителей, с одной стороны и выявления и устранения причин ошибок и разработки рабочей гипотезы усовершенствования метода прогноза, с другой.

7.5.2 Анализу подлежат все долгосрочные прогнозы элементов гидрометеорологического режима моря с ошибкой, превышающей $0{,}674\,\sigma_{доп}$, краткосрочные прогнозы ОЯ, ошибка которых превышает допустимую, и краткосрочных прогнозов независимо от величины ошибки, если они привели к значительному ущербу морским отраслям экономики.

7.5.3 Оправдавшиеся прогнозы в зависимости от величины ошибки прогноза подразделяются на:

– отличные, при допустимой ошибке меньше $0{,}30\,\sigma_x$;

– хорошие, при допустимой ошибке от $0{,}30\,\sigma_x$ до $0{,}674\,\sigma_x$;

– удовлетворительные, при допустимой ошибке от $0{,}674\,\sigma_x$ до σ_x.

7.5.4 Прогнозы уровня воды с ошибкой 5 см и меньше, прогнозы дат характерных явлений с ошибкой ± 1 день считаются отличными независимо от допустимой ошибки.

7.5.5 Основным исходным материалом для анализа оправдываемости долгосрочных прогнозов является журнал обоснования этих прогнозов. Он даст возможность проверить весь процесс составления прогноза (анализ предшествующей гидрометеорологической обстановки и ее особенностей в данном году, вычисление исходных для прогноза гидрометеорологических и других данных, обоснование всех отклонений от методики), убедиться в правильности или ошибочности отдельных этапов этого процесса и сделать вывод о причине больших погрешностей прогноза. Выявленные в результате этого анализа причины ошибок прогнозов, а также предложения по их устранению и усовершенствованию метода прогноза должны записываться в журнал обоснований прогнозов.

7.5.6 Анализ оправдываемости краткосрочных морских гидрологических прогнозов строится на тщательной проверке использования метода прогноза и подготовки исходных для прогноза данных. Результат анализа оправдываемости краткосрочных прогнозов гидрологических явлений (величин) записывается в соответствующий журнал анализа оправдываемости краткосрочных прогнозов.

7.5.7 Результат анализа оправдываемости краткосрочных прогнозов должен содержать:

– сущность метода и порядок составления прогноза;

– содержание прогноза и его оправдываемость;

– выявленные или предполагаемые причины погрешностей прогнозов;

– предложения по устранению выявленных причин погрешностей прогноза, усовершенствованию метода и другие предложения.

7.5.8 Результат анализа оправдываемости прогнозов, сразу же после его завершения, обсуждается на совещании специалистов органа СМГП.

7.5.9 Оценка качества прогнозов морских гидрологических величин и явлений и штормовых предупреждений заключается в вычислении их средней оправдываемости $P_{\Delta T}$ за календарный период ΔT (месяц, квартал, год) по формуле

$$P_{\Delta T} = \frac{1}{m}\sum_{1}^{m} P_c , \qquad (54)$$

где P_c – оправдываемость прогнозов за каждые сутки (полусутки, вторые и тетьи сутки) данного месяца, квартала, года.

7.5.10 Характеристики качества штормовых предупреждений за период времени (месяц, квартал, год) содержат следующие показатели:

– оправдываемость ОЯ;

– эффективность ОЯ;

– предупрежденность ОЯ.

Указанные показатели рассчитывают только для акватории моря или части акватории. Вычисление оправдываемости и предупрежденности за период времени (месяц, квартал, год) можно произвести с помощью сокращенной таблицы сопряженности (таблица 12).

Таблица 12 – Сокращенная таблица сопряженности для расчета оправдываемости штормовых предупреждений

Штормовое предупреждение	Число дней		Сумма
	с ОЯ	без ОЯ	
Дано	k_{11}	k_{12}	k_{10}
Не дано	k_{21}		
Сумма	k_{01}		

В таблице 12 введены следующие обозначения:

k_{11} – число оправдавшихся штормовых предупреждений;

k_{12} - число «ложных» штормовых предупреждений, когда они давались, но ОЯ не наблюдались;

k_{10} – общее число составленных штормовых предупреждений за период времени (месяц, квартал, год);

k_{21} – число пропущенных штормовых предупреждений, когда ОЯ наблюдалось, но штормовое предупреждение составлено не было;

k_{01} – число наблюдавшихся ОЯ за период времени (месяц, квартал, год).

7.5.11 Оправдываемость штормовых предупреждений ОЯ за период времени (месяц, квартал, год) $P_{ОЯ}$, %, рассчитывают как отношение числа оправдавшихся штормовых предупреждений к общему числу штормовых предупреждений, в том числе пропущенных, за рассматриваемый промежуток времени:

$$P_{ОЯ} = \frac{k_{11}}{k_{10} + k_{21}} \cdot 100 \ . \qquad (55)$$

7.5.12 Эффективность штормовых предупреждений, в том числе с допусками, за период времени (месяц, квартал, год) с учетом их заблаговременности $Э_{ОЯ}$, %, рассчитывают как отношение числа эффективных штормовых предупреждений к числу оправдавшихся штормовых предупреждений за рассматриваемый промежуток времени:

$$Э_{ОЯ} = \frac{k_{ОЯ \geq 2ч}}{k_{11} + k_{21}} \cdot 100, \qquad (56)$$

где $k_{ОЯ \geq 2ч}$ – число оправдавшихся штормовых предупреждений по территории, переданных с заблаговременностью 2 ч и более.

7.5.13 Предупрежденность случаев ОЯ за период времени (месяц, квартал, год) $П_{ОЯ}$, %, рассчитывают как отношение числа оправдавшихся штормовых предупреждений к общему числу наблюдавшихся ОЯ за рассматриваемый промежуток времени

$$П_{ОЯ} = \frac{k_{11}}{k_{01}} \cdot 100. \qquad (57)$$

7.5.14 Качество предупреждений об ОЯ за месяц, квартал год оценивается по таблице 13.

Таблица 13 – Оценка качества штормовых предупреждений

Оценка	Отлично	Хорошо	Удовлетвори-тельно	Неудовлет-ворительно
Оправдываемость предупреждений, %	95	Менее 95 до 90	Менее 90 до 80	Менее 80

8 Составление и оформление методической записки

8.1 Работа по созданию метода прогноза гидрологического элемента завершается методической запиской, на основании которой составляются морские гидрологические прогнозы.

8.2 В соответствии со своим целевым назначением методическая записка должна давать полное представление о физической сущности, достоинствах и недостатках метода прогноза и содержать исчерпывающие указания в отношении его практического применения. Другими словами, содержание методической записки должно быть таким, чтобы любой специалист, работающий в области морских гидрологических прогнозов, пользуясь методической запиской, мог самостоятельно составлять прогнозы.

8.3 Объем и содержание методической записки зависит в каждом конкретном случае от характера прогнозируемого явления и степени сложности метода прогноза.

8.4 Методическая записка должна быть оформлена по РД 52.14.642 и должна содержать предисловие и следующие разделы:

1) краткая характеристика рассматриваемого явления и физико-географические условия;

3) характеристика исходных данных и приемов их обработки;

4) физические основы и теоретические предпосылки методики прогноза;

5) расчетные приемы и построение корреляционных связей и их оценка;

6) порядок составления прогнозов;

7) допустимые ошибки;

8) приложения;

8.5 В предисловии к методической записке должны содержаться сведения о практическом значении метода прогноза, общая характеристика и оценка предшествующих разработок, если таковые были, и другие пояснительные сведения по усмотрению автора методической записки. Кроме того, должны быть отмечены, имевшие

место при разработке метода прогноза трудности и проблемы, а также перечислены исполнители, разрабатывающие методику прогноза.

8.6 В разделе «Краткая характеристика рассматриваемого явления и физико-географические условия» дается краткое физико-географическое описание района. Оно должно быть проиллюстрировано схематической картой района моря с указанием гидрометеорологических станций, стандартных разрезов и рейдовых точек, маршрутов авиаразведок и экспедиций, материалы наблюдений которых были использованы при разработке метода прогноза.

8.7 В третьем разделе кратко описываются исходные материалы, использованные для разработки метода, их полнота и качество, методы обработки.

8.8 В четвертом разделе записки излагаются основные особенности гидрометеорологического режима моря, основные факторы, формирующие рассматриваемое явление, а также теоретические предпосылки и рабочая гипотеза, положенные в основу разработки данного метода прогноза.

8.9 В пятом разделе описываются расчетные приемы и построение корреляционных связей и статистическая оценка параметров уравнений регрессии.

8.10 В шестом разделе в четкой и ясной форме описывается весь порядок составления прогноза по разработанному методу с обязательной иллюстрацией использования каждой зависимости на практике. При этом должны быть указаны:

– дата составления прогноза;

– объем исходных материалов, использованных для составления прогноза;

– порядок подсчета всех аргументов, входящих в зависимость, с обязательным указанием, по каким пунктам и каким образом они подсчитываются.

8.11 Если метод включен в общую технологию прогноза, то в методической записке должно быть дано описание технических особенностей системы, а также результаты проведенных прогностических экспериментов. Должна быть представлена вычислительная блок-схема численного прогноза, включающая:

1) блок подготовки исходных данных:

– базы объективного анализа;

– архивы;

– локальная и глобальная сеть;

2) вычислительный блок:

– подготовка начальных данных;

– интегрирование численной модели;

– формирование набора выходных полей;

3) блок выходной продукции, который должен связывать базы прогностических характеристик, полученных в результате работы схемы с программами статистических оценок и с системой визуализации результатов прогноза.

8.12 Обязательными приложениями к методической записке являются:

– карта-схема района прогноза;

– систематизированные и обобщенные данные гидрометеорологических наблюдений (в виде таблиц, графиков, номограмм и т.д.), использованные при разработке метода;

– графические и аналитические зависимости для расчета и прогноза;

– таблицы допустимых ошибок прогнозов;

– таблицы проверочных прогнозов.

8.13 Методическая записка рассматривается соответствующим научно-техническим советом УГМС или Ученым советом НИУ, и на основе принятого решения дается рекомендация о практическом использовании методики прогноза. Выписка из решения прикладывается к каждому экземпляру методической записки.

8.14 После одобрения методической записки методическим органом какие-либо исправления ее текста не допускаются. К исправлениям не относятся обязательные дополнения графических зависимостей и таблиц новыми данными (по мере появления новых случаев прогнозируемого явления).

8.15 После того, как принято решение о внедрении метода в практику, должна регулярно оцениваться успешность оперативных прогнозов.

8.16 Систематическая количественная оценка успешности оперативных прогнозов дается с целью:

– установления общего уровня успешности оперативной работы;

– определения эффективности, как различных уточнений метода и прогностических уравнений, так и текущих усовершенствований технологии прогноза в целом;

– накопления средних ошибок и иных показателей успешности прогноза для их использования при выборе способов корректировки прогнозов.

Приложение А
(обязательное)

Форма

№ _____

Карточка морской гидрометеорологической станции (поста)

Море_____ станция (пост) _____

Отметка нуля графика_____ м абс.

Система отметок моря

Порядковый номер	Критерий опасности гидрометеорологического явления			Наименование хозяйственного объекта или населенного пункта	Номер карточки хозяйственного объекта	Дата и причина внесения исправлений и подпись лица, сделавшего исправления
	Уровень над нулем графика	Высота волн, м	Ледовые явления			

Ответственный исполнитель _____ _____ _____
(должность, фамилия, инициалы) (дата) (подпись)

Приложение Б
(обязательное)

Форма

№ _____

Карточка опасного морского гидрометеорологического явления

Наименование явления_____

Порядковый номер	Водный объект	Гидрометеорологическая станция (пост) или участок водного объекта	Хозяйственный объект, которому угрожает гидрометеорологическое явление	Номер карточки хозяйственного объекта	Дата и причина внесения исправлений и подпись лица, сделавшего исправления

Ответственный исполнитель _____ _____ _____
(должность, фамилия, инициалы) (дата) (подпись)

Приложение В
(обязательное)

Форма

№_____

Карточка хозяйственного объекта

Море_____

Наименование хозяйственного объекта_____

_____

Гидрометеорологическая станция (пост)_____

Ведомственная принадлежность_____

Расстояние от гидрометеорологической станции (поста)_____ км

Порядковый номер	Критерий опасности гидрометеорологического явления	В чем заключается опасность	Дата, причина внесения исправлений и подпись лица, сделавшего исправление

Ответственный исполнитель _____ _____ _____
(должность, фамилия, инициалы) (дата) (подпись)

Сведения о вредных воздействиях на объект

Порядковый номер	Год	Число и месяц	Опасное явление, при котором началось вредное воздействие	Краткое описание явления

Ответственный исполнитель _____ _____ _____
(должность, фамилия, инициалы) (дата) (подпись)

Приложение Г
(рекомендуемое)

Бланковые карты морей и океанов

Г.1 В повседневной оперативной работе СМГП используются бланки карт морей и океанов. В целях их унификации и стандартизации рекомендуется пользоваться стандартными проекциями:

а) для карт мира:

– конформной конической проекцией Ламберта при пересечении со сферой по стандартным параллелям 10° и 40° или 30° и 60°;

– проекцией Меркатора для стандартной параллели 0°;

б) для карт Атлантического, Тихого и Индийского океанов:

– стереографической проекцией на плоскость сечения земного шара по стандартной параллели 60°;

– проекцией Меркатора для стандартной параллели 40°;

в) для карт отдельных районов океанов и морей:

– проекцией Меркатора для стандартной параллели 22°30′.

Г. 2 Для морских бланков карт рекомендуется использовать стандартные масштабы:

а) для карт мира – 1:40000000, 1:50000000, 1:30000000; альтернатива – 1:60000000;

б) для полусферных карт – 1:30000000, 1:40000000; альтернатива – 1:60000000;

в) для карт Атлантического, Тихого и Индийского океанов – 1:15000000, 1:20000000; альтернатива – 1:30000000;

г) для карт части океана или моря – 1:75000000, 1:10000000; альтернатива – 1:15000000.

Примечание. Для незначительных частей океана и морей, окружающих территорию России используются более крупные масштабы карт от 1:5000000 до 1:500000.

Г.3 Наименование проекции, масштабы следует указывать на каждом бланке карты.

Приложение Д
(обязательное)

Форма

Журнал учета карточек каталога ОЯ

Порядковый номер	Наименование водного объекта или гидрометеорологической станции (поста), к которому привязаны критерии опасности	Сведения проверены на:			Карточка исключена из каталога		Отметка о направлении карточки в ФГБУ «Гидрометцентр России» или УГМС (ЦГМС)
					Число, месяц, год	Подпись ведающего каталогом	

Ответственный исполнитель _____ _____ _____
(должность, фамилия, инициалы) (дата) (подпись)

Приложение Е
(обязательное)

Форма

Журнал учета штормовых предупреждений

Номер выпуска предупреждения	Гидрометеорологическое явление, об опасности которого дано предупреждение	Дата составления и выпуска предупреждения	Водный объект	Пункт (акватория) на водном объекте	Содержание предупреждения	Наименование организации, которой дано предупреждение	Фамилии принявшего и передавшего предупреждение	Заблаговременность предупреждения	Оправдываемость предупреждения	Подпись составившего предупреждение

Ответственный исполнитель _____ _____ _____
(должность, фамилия, инициалы) (дата) (подпись)

Приложение Ж
(обязательное)

Форма

Журнал учета экстренной информации

Порядковый номер	Море	Станция (пост)	Дата	Время	Волнение (прибой)	Уровень моря	Ледовая обстановка	Дополнительные сообщения	Время подачи телеграммы	Время поступления телеграмм

Ответственный исполнитель _____ _____ _____
(должность, фамилия, инициалы) (дата) (подпись)

Приложение И
(обязательное)

Форма

Сведения об ОЯ за месяц (год)

Порядковый номер	Дата, период	Территория, акватория, пункт	Краткая характеристика ОЯ	Заблаговременность штормового предупреждения	Нанесенный ущерб

Ответственный исполнитель _____ _____ _____
(должность, фамилия, инициалы) (дата) (подпись)

Приложение К
(рекомендуемое)

Номенклатура информационных ресурсов об обстановке в Мировом океане центра ЕСИМО ФГБУ «Гидрометцентр России»

Наименование технологии	Характеристика информационных ресурсов	Форма доведения	Доступность
Система усвоения океанографических данных	*Диагностическая информация о гидрологических условиях Мирового океана и отдельных регионов* (Северо-Европейский бассейн, Северо-западная часть Тихого океана). Параметры: температура, соленость и плотность морской воды; средняя скорость течений на разных горизонтах; толщина и теплосодержание ВПС; интегральный перенос водных масс через основные океанические створы. Тип ресурса: оперативный анализ. Сетка: 1° x 1°. Период обобщения и обновления информации: 7–10 сут. Система хранения: циклическая БД обновляемых цифровых и графических файлов	Ресурс СРБД, автономное приложение, Web-сайт	Все пользователи
Технология оперативного представления данных спутниковой альтиметрии	*Данные синоптических аномалий уровня моря*. Район: Мировой океан и моря России (Черное, Каспийское, Японское, Охотское, Берингово). Параметры: синоптические аномалии уровня моря. Тип ресурса: оперативный анализ в задержанном режиме. Сетка: 0,3° x 0,3°. Период обобщения и обновления информации: 7 сут. Система хранения: циклическая БД обновляемых цифровых и графических файлов.	Ресурс СРБД, Web-сайт	
Технология интерактивного доступа к данным о температуре поверхности океана (по заказу СИАЦ)	*Данные текущего и ретроспективного анализа среднемесячных полей ТПО по Мировому океану.* Параметры; среднемесячные и аномалии температуры поверхности воды. Тип ресурса: оперативный анализ. Период обобщения и обновления информации: 1 мес. Система хранения: БД графических файлов.	Ресурс СРБД, автономное приложение, Web-сайт	

Наименование технологии	Характеристика информационных ресурсов	Форма доведения	Доступность
Технология представления прогноза метеорологических полей с высоким пространственным разрешением	*Прогноз метеорологических полей по Мировому океану и морям России.* Район: Мировой океан и моря России (Черное и Азовское, Каспийское, Балтийское, Белое, Баренцево, Японское, Охотское, Берингово). Параметры: скорость ветра, температура и влажность воздуха, осадки, поверхностные потоки тепла и пресной воды. Тип ресурса: оперативный прогноз. Сетка: 0,3° x 0,3°. Заблаговременность прогноза 5 суток с дискретностью 12 ч. Период обновления прогностических полей: 1 сутки. Система хранения: циклическая БД обновляемых цифровых и графических файлов.	Ресурс СРБД, Web-сайт	Все пользователи
Технология глобального прогноза и диагноза параметров состояния приводного слоя Мирового океана	*Прогностические и диагностические данные приводного слоя Мирового океана.* Параметры: ветер, атмосферное давление, температура воздуха, осадки, облачность. Тип ресурса: оперативный прогноз/анализ. Сетка: 1,25° x 1,25°. Период обновления информации: 12 ч. Система хранения: циклическая БД обновляемых цифровых и графических файлов.	Ресурс СРБД, Web-сайт	
Технология прогноза параметров ветрового волнения в Мировом океане	*Прогноз ветрового волнения в Мировом океане.* Параметры: высота, направление и период ветровых волн и зыби. Тип ресурса: оперативный прогноз. Сетка: 2,5° x 2,5°. Период обновления информации: 12 ч. Система хранения: циклическая БД обновляемых цифровых и графических файлов	Ресурс СРБД, Web-сайт	
Технология анализа температуры поверхности воды в Мировом океане	*Диагностические данные ТПО в Мировом океане за декаду.* Параметры: температура поверхности воды. Тип ресурса: оперативный прогноз. Сетка: 1,0° x 1,0°. Период диагноза: 10 дней. Период обновления информации: 1 сут. Система хранения: циклическая БД обновляемых цифровых и графических файлов.	Ресурс СРБД, Web-сайт	

Наименование технологии	Характеристика информационных ресурсов	Форма доведения	Доступность
Технология прогноза уровня и течений в Каспийском море	*Прогноз уровня и течений в Каспийском море.* Параметры: течения (по горизонтам), уровень моря (по площади). Тип ресурса: оперативный прогноз. Сетка: 4 х 4 км. Дискретность прогностических полей: 3 ч. Период обновления информации: 1сут. Система хранения: циклическая БД обновляемых цифровых и графических файлов.	Ресурс СРБД, Web-сайт	Все пользователи

Приложение Л
(рекомендуемое)

Формы оценки прогнозов

Таблица Л.1 – Оценка прогноза F, рассчитанная по формуле (18)

$\delta_{доп}$	Оценка прогноза F при σ_x																			
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	94	96	97	98	98	98	99	99	99	99	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	79	84	87	91	93	94	95	96	96	97	97	98	98	98	98	98	98	98	98	98
3	58	68	76	81	84	87	90	91	92	94	94	95	95	96	96	97	97	97	97	98
4	38	51	61	68	74	79	82	84	87	89	90	91	92	93	93	94	95	95	95	96
5	22	34	47	55	63	68	73	77	80	83	84	86	88	89	90	91	92	92	93	94
6	12	22	33	43	51	58	64	68	73	76	79	80	83	84	86	87	89	90	90	91
7	5	13	22	32	40	48	54	60	64	68	72	75	78	79	81	84	84	86	87	88
8	2	7	14	22	30	38	45	51	57	61	65	68	72	74	76	79	80	82	84	84
9	1	3	8	15	22	30	35	43	49	54	58	62	66	68	71	74	76	78	79	81
10	0	2	5	10	16	22	29	35	41	46	51	55	59	63	66	69	71	73	76	77
11		1	2	6	11	16	22	29	34	40	44	49	53	57	61	65	66	69	71	73
12		0	1	3	7	12	17	22	28	35	38	43	47	53	55	58	61	64	66	68
13			1	2	4	8	12	17	22	27	32	37	41	46	50	53	57	59	62	64
14			0	1	3	5	9	13	18	22	27	32	36	41	44	48	52	55	57	60
15				0	2	3	6	10	14	18	20	27	31	35	39	43	47	50	53	55
16					1	2	4	7	10	14	18	22	26	31	33	38	42	45	49	51
17						1	3	5	8	11	15	18	22	26	30	34	38	41	44	47
18						1	2	3	6	8	12	15	19	22	26	30	33	37	40	43
19						0	1	2	4	6	9	12	15	19	22	26	29	33	36	39
20							1	2	3	5	7	10	12	16	19	22	26	29	32	35
21							0	1	2	3	5	8	10	12	16	19	22	26	29	32
22								1	1	2	4	6	8	11	13	16	19	22	25	28
23								0	1	2	3	4	6	9	11	14	16	19	22	25
24									1	1	2	3	5	7	8	12	14	17	20	22
25									0	1	2	3	4	6	7	10	12	14	17	20
26										1	1	2	3	4	6	8	10	12	15	17
27											1	2	2	3	5	6	8	10	13	15
28											0,6	1	2	3	4	5	7	9	11	13
29											0	0,7	1	3	3	4	6	7	9	12
30												0	0,9	2	2	3	5	6	8	10

Таблица Л.2 – Оценка прогноза F, рассчитанная по формуле (19).

$\delta_{доп}$	Оценка прогноза F при σ_x																			
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	96	97	98	98	99	99	99	99	99	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	85	90	92	94	95	96	97	97	98	98	98	98	99	99	99	99	99	99	99	99
3	70	79	83	87	90	91	93	94	95	96	96	97	97	97	98	98	98	98	98	99
4	54	65	73	79	83	85	88	90	91	92	93	94	95	95	96	96	97	97	97	97
5	38	51	61	68	74	79	82	84	87	89	90	91	92	93	93	94	95	95	96	96
6	25	38	49	58	65	71	75	79	81	83	85	87	89	90	90	91	92	93	93	94
7	16	28	39	49	57	63	68	73	76	79	82	83	85	87	88	90	90	91	91	92
8	8	18	28	38	43	54	60	65	69	73	76	79	80	83	84	86	87	88	89	90
9	4	11	20	29	38	45	52	58	63	67	70	73	76	79	80	82	83	85	86	87
10	2	7	14	22	30	38	45	51	56	61	65	68	71	74	76	79	80	82	83	84
11	0,9	4	9	14	23	31	38	44	50	55	59	63	66	70	73	74	76	79	80	82
12	0	2	6	11	18	25	32	38	44	49	54	58	62	65	67	70	73	74	77	79
13		1	3	8	13	19	26	32	38	44	48	53	56	61	64	66	69	71	73	76
14		0	2	5	9	15	21	27	33	38	43	45	52	55	59	62	65	68	70	72
15			1	3	7	11	16	22	28	33	38	43	47	51	55	58	61	64	66	68
16			0,6	2	5	8	13	18	23	28	33	38	43	46	50	54	57	60	62	65
17			0	1	3	6	10	15	17	24	29	34	38	42	46	50	53	56	59	61
18				0,7	2	4	7	11	16	20	25	29	34	38	42	45	49	52	55	58
19				0	1	3	6	9	13	15	21	25	30	34	38	42	45	49	52	54
20					0,8	2	4	7	10	14	18	22	26	30	34	38	41	45	48	51
21					0	1	3	5	8	11	15	19	23	27	31	34	38	41	44	48
22						0,9	2	4	6	9	12	16	20	23	27	31	35	38	41	44
23						0,6	1	3	5	6	10	13	17	20	24	28	31	35	38	41
24						0	1	2	4	6	8	11	14	18	21	25	28	32	35	38
25							0,6	1	3	4	7	9	12	15	19	22	25	29	32	35
26							0	1	2	3	5	8	10	13	16	19	22	26	29	32
27								1	1	3	4	6	9	11	14	17	20	23	26	29
28								0	1	2	3	5	7	9	12	15	18	21	24	27
29									0	1	2	4	6	8	10	13	16	19	21	24
30										1	2	3	5	7	8	11	14	16	19	22

Таблица Л.3 – Оценка прогноза F, рассчитанная по формуле (20)

$\delta_{доп}$	Оценка прогноза F при σ_x																			
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	98	98	99	99	99	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	91	94	95	96	97	98	98	98	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100	100	100
3	81	86	90	92	94	95	96	96	97	97	98	98	98	98	99	99	99	99	99	99
4	68	77	83	86	89	91	92	94	95	95	96	96	97	97	97	98	98	98	98	98
5	55	66	74	79	84	86	89	90	91	92	94	94	95	96	96	96	97	97	97	98
6	43	55	65	72	77	81	84	86	89	90	91	92	93	94	94	95	95	96	96	96
7	31	45	55	64	70	75	79	82	84	86	88	90	90	91	92	93	94	94	95	95
8	22	35	46	55	62	68	73	77	80	83	84	86	88	89	90	91	92	92	93	94
9	15	26	38	47	55	62	68	72	76	79	81	83	85	86	88	89	90	90	91	92
10	9	19	30	40	48	55	61	66	70	74	77	79	82	84	85	86	88	89	90	90
11	6	14	23	33	41	49	55	61	66	70	73	74	78	80	82	84	85	86	88	89
12	3	9	18	26	35	43	50	55	61	65	68	72	75	77	79	81	83	84	85	86
13	2	6	13	21	29	37	44	50	55	60	64	68	71	73	76	78	79	81	83	84
14	1	4	9	16	24	31	38	45	51	55	60	64	67	70	73	75	77	79	80	82
15	0	2	7	13	19	26	33	40	46	51	55	59	63	66	69	72	74	76	78	79
16		1	4	9	16	22	29	35	41	46	51	55	59	62	66	68	71	73	76	77
17		0,9	3	7	12	18	24	31	36	42	47	51	55	59	62	65	68	70	73	74
18		0	2	5	9	15	21	26	32	38	43	47	52	55	59	62	65	68	70	72
19			1	4	7	12	17	23	28	34	39	44	48	52	55	59	62	64	67	69
20			0,8	2	5	9	14	19	25	30	35	40	44	48	52	55	58	61	64	66
21			0	2	4	7	12	16	21	26	31	36	41	45	49	52	55	58	61	64
22				1	3	6	9	14	18	23	28	33	37	41	45	49	52	55	58	61
23				0,8	2	4	8	11	16	20	25	30	34	38	42	46	49	53	55	58
24				0	2	3	6	9	13	16	22	26	31	35	39	43	46	50	53	55
25					1	2	5	7	11	15	19	24	29	32	36	40	43	47	50	53
26					0,7	2	4	6	9	13	17	21	25	29	33	37	41	44	47	50
27					0	1	3	5	8	11	15	19	22	26	30	34	38	41	44	47
28						1	2	4	6	9	13	16	20	24	28	31	35	38	42	45
29						0,6	2	3	5	8	11	14	18	22	25	29	33	36	39	42
30						0	1	2	4	7	9	13	16	19	23	26	30	33	37	40

Таблица Л.4 – Оценка долгосрочных ледовых прогнозов

_____

(элемент прогноза)

составленных для_____ в январе 20___ г.

(море, район, пункт)

.

Фактическое значение элемента прогноза в _____г. $x_ф$	Среднее многолетнее значение элемента прогноза $\overline{x}$	Многолетняя амплитуда $A_м$	Среднее квадратичное отклонение от нормы σ_x	Прогнозируемое значение элемента прогноза $x_{пр}$	Ошибка прогноза δ	Критерий оценки оправдываемости			Оправдываемость	Ошибка прогноза в зависимости от оценки прогноза F
						$0{,}2\,A_м$ $(\delta_{доп.1})$	$0{,}8\,\sigma_x$ $(\delta_{доп.2})$	$0{,}2\,A_м / 0{,}8\,\sigma_x$		

Таблица Л.5 – Оценка долгосрочных ледовых прогнозов _____
(элемент прогноза)
составленных для_____ в марте 20____г.
(море, район, пункт)

с последующим уточнение уточнением в апреле и июне 20 ___г.

Фактическое значение элемента прогноза в _____г $x_ф$	Среднее многолетнее значение элемента прогноза $\bar{x}$	Многолетняя амплитуда $A_м$	Среднее квадратичное отклонение σ_x	Прогноз составлен _____ марта 2011 г.						
				Прогнозируемое значение элемента прогноза	Ошибка прогноза δ	Критерий оценки оправдываемости			Оправдываемость	Ошибка прогноза в зависимости от оценки прогноза F
						$0{,}2\,A_м$ $(\delta_{доп.1})$	$0{,}8\,\sigma_x$ $(\delta_{доп.2})$	$0{,}2\,A_м / 0{,}8\,\sigma_x$		

Уточнение дано _____апреля 20___ г.							Уточнение дано _____июня 2011 г.						
Прогнозируемое значение элемента прогноза	Ошибка прогноза δ	Критерий оценки оправдываемости			Оправдываемость	Ошибка прогноза в зависимости от оценки прогноза F	Прогнозируемое значение элемента прогноза	Ошибка прогноза δ	Критерий оценки оправдываемости			Оправдываемость	Ошибка прогноза в зависимости от оценки прогноза F
		$0{,}2\,A_м$ $(\delta_{доп.1})$	$0{,}8\,\sigma_x$ $(\delta_{доп.2})$	$0{,}2\,A_м / 0{,}8\,\sigma_x$					$0{,}2\,A_м$ $(\delta_{доп.1})$	$0{,}8\,\sigma_x$ $(\delta_{доп.2})$	$0{,}2\,A_м / 0{,}8\,\sigma_x$		

Таблица Л.6 – Оценка долгосрочных ледовых прогнозов _____
(элемент прогноза)

составленных для_____ в августе и сентябре 20____ г.
(море, район, пункт)

Фактическое значение элемента прогноза в _____г $x_ф$	Среднее многолетнее значение элемента прогноза $\bar{x}$	Многолетняя амплитуда $A_м$	Среднее квадратичное отклонение σ_x	Прогноз составлен _____ августа 20____ г.						
				Прогнозируемое значение элемента прогноза	Ошибка прогноза δ	Критерий оценки оправдываемости			Оправдываемость	Ошибка прогноза в зависимости от оценки прогноза F
						$0{,}2\,A_м$ $(\delta_{доп.1})$	$0{,}8\,\sigma_x$ $(\delta_{доп.2})$	$0{,}2\,A_м/$ $0{,}8\,\sigma_x$		

Прогноз составлен _____сентября 20___ г.						
Прогнозируемое значение элемента прогноза	Ошибка прогноза	Критерий оценки оправдываемости			Оправдываемость	Ошибка прогноза в зависимости от оценки прогноза F
		$0{,}2\,A_м$ $(\delta_{доп.1})$	$0{,}8\,\sigma_x$ $(\delta_{доп.2})$	$0{,}2\,A_м/$ $0{,}8\,\sigma_x$		

Таблица Л.7 – Средние оценки долгосрочных ледовых прогнозов по всем элементам для арктических морей в 20_____г.

Порядковый номер	Море	Дата выпуска прогноза		Взлом и разрушение припая						Ледовитость и площадь массивов					
		Календарный месяц	Число	Количество показателей	Оправдываемость	Не оправдалось	Не проверено	Средняя оценка оправдываемости	Средняя оценка по ошибкам	Количество показателей	Оправдываемость	Не оправдалось	Не проверено	Средняя оценка оправдываемости	Средняя оценка по ошибкам
1.	Баренцево	1 3 4 6 8 9													
	Карское	1 3 4 6 8 9													
	Лаптевых	1 3 4 6 8 9													
	Восточно-Сибирское	1 3 4 6 8 9													
	Чукотское	1 3 4 6 8 9													
	Анадырский залив	1 3 4 6 8 9													
	Все арктические моря	1 3 4 6 8 9													
	Всего														

Продолжение таблицы Л.7

Порядковый номер	Море	Дата выпуска прогноза		Распределение льда						Ледообразование и нарастание льда					
		Календарный месяц	Число	Количество показателей	Оправдываемость	Не оправдалось	Не проверено	Средняя оценка оправдываемости	Средняя оценка по ошибкам и	Количество показателей	Оправдываемость	Не оправдалось	Не проверено	Средняя оценка оправдываемости	Средняя оценка по ошибкам и
1.	Баренцево	1 3 4 6 8 9													
	Карское	1 3 4 6 8 9													
	Лаптевых	1 3 4 6 8 9													
	Восточно-Сибирское	1 3 4 6 8 9													
	Чукотское	1 3 4 6 8 9													
	Анадырский залив	1 3 4 6 8 9													
	Все арктические моря	1 3 4 6 8 9													
	Всего														

Продолжение таблицы Л.7

Порядковый номер	Море	Дата выпуска прогноза		Навигационные рекомендации						Итого по всем элементам					
		Календарный месяц	Число	Количество показателей	Оправдываемость	Не оправдалось	Не проверено	Средняя оценка оправдываемости	Средняя оценка по ошибкам	Количество показателей	Оправдываемость	Не оправдалось	Не проверено	Средняя оценка оправдываемости	Средняя оценка по ошибкам
1.	Баренцево	1 3 4 6 8 9													
2	Карское	1 3 4 6 8 9													
3	Лаптевых	1 3 4 6 8 9													
4	Восточно-Сибирское	1 3 4 6 8 9													
	Чукотское	1 3 4 6 8 9													
5	Анадырский залив	1 3 4 6 8 9													
6	Все арктические моря	1 3 4 6 8 9													
	Всего														

Приложение М
(рекомендуемое)

Форма

Журнал учета и оценки краткосрочных и среднесрочных морских гидрологических прогнозов

Порядковый номер	Дата составления прогноза	Море, район	Станция (пост)	Заблаговременность	Предсказано	Наблюдалось	Допустимая ошибка прогноза	Ошибка прогноза		Оправдываемость	Примечание	Подпись составившего прогноз
								абсолютная	в долях допустимой ошибки			

Ответственный исполнитель _____ _____ _____
(должность, фамилия, инициалы) (дата) (подпись)

Приложение Н
(рекомендуемое)

Форма

Журнал учета и оценки долгосрочных морских гидрологических прогнозов

Порядковый номер	Дата составления прогноза	Море, район	Станция (пост)	Заблаговременность	Предсказано	Наблюдалось	Допустимая ошибка погрешность прогноза	Ошибка прогноза		Оправдываемость	Примечание	Подпись составившего прогноз
								абсолютная	в долях допустимой ошибки			

Ответственный исполнитель _____ _____ _____
(должность, фамилия, инициалы) (дата) (подпись)

Приложение П

(справочное)

Оценка вариации гидрометеорологических переменных и связи между ними

П.1 Общие положения

П.1.1 Океанолог-прогнозист, приступая к изучению определенных статистических закономерностей, прежде всего знакомится с фактическим материалом, представляющим ряды наблюдений за морскими гидрологическими явлениями, которые могут рассматриваться как система случайных взаимосвязанных величин. Поэтому в исследованиях нельзя ограничиваться изучением отдельных явлений, а нужно исследовать множество явлений, взаимосвязанных друг с другом.

П.1.2 Случайные величины, называемые признаками, обычно обозначаются прописными буквами латинского алфавита X, Y, Z, а их конкретные значения, называемые вариантами, обозначаются строчными буквами латинского алфавита с индексом. Например, если случайная величина X имеет n возможных значений, то они обозначаются как: $x_1, x_2, ..., x_n$.

По форме выражения признаки подразделяются на атрибутивные, построенные по качественным признакам, и количественные, построенные по количественному признаку. В свою очередь, количественные признаки подразделяются на дискретные (прерывные) и непрерывные, принимающие любые значения, как целые, так и дробные.

П.1.3 Множество признаков представляет собой статистическую совокупность. Различают генеральную и выборочную совокупности.

Генеральная совокупность – это весь мыслимо возможный набор случайной величины.

Выборочная совокупность – любая последовательность значений случайной величины, извлеченная из генеральной совокупности.

П.1.4 Задача статистического анализа временного (вариационного) ряда состоит в изучении его основных свойств: изменчивости и характеристик его периодических и непериодических колебаний. Знание этих свойств помогает разрешить основную задачу, а именно: предсказать поведение временного ряда в будущем.

П.2 Обработка гидрометеорологических данных наблюдений

П.2.1 Статистическая обработка гидрометеорологических данных наблюдений осуществляется в следующей последовательности:

– анализ ошибок наблюдений;

– систематизация данных рядов наблюдений;

– нахождение взаимосвязи между данными;

– оценка значимости конечного результата.

П.2.2 Обработка гидрометеорологической информации начинается с изучения качества наблюдений. Наблюдения никогда не бывают абсолютно точными, а имеют некоторую долю ошибок. Поэтому, прежде чем приступать к статистическому анализу ряда, необходимо оценить величину ошибок наблюдений. Без анализа ошибок наблюдений нельзя сказать что-либо определенное относительно точности конечного результата. Ошибки наблюдений могут быть систематическими, случайными, субъективными и грубыми.

Анализ ошибок наблюдений должен являться непременной составной частью проверки однородности рядов. Все случаи нарушения однородности должны быть устранены. Могут быть разные причины, приводящие к нарушению однородности ряда, среди них, такие как изменение поправок приборов, изменение методов измерений и т.д. Только после приведения ряда к однородности можно рассчитывать его статистические характеристики: математическое ожидание (среднее), среднее квадратичное отклонение и т.д.

П.2.3 Систематизация (упорядочение) данных рядов наблюдений заключается в построении кривых распределения частот (повторяемостей), которые позволяют легко и быстро проанализировать их статистическую структуру.

П.2.4 Ряд распределения – это ряд чисел, в котором значения изучаемого признака расположены в определенном порядке: либо в порядке возрастания, либо убывания (ранжируются). После процедуры ранжирования данные наблюдений группируются так, чтобы в каждой группе величина принимала одно и то же значение, называемое вариантом x. Кроме вариантов в ряд распределения включаются также частоты m – величины, показывающие, сколько раз каждый вариант встречается в данной совокупности. Таким образом, ряд распределения состоит из вариантов и частот и представляет собой, для однородной совокупности достаточно большого объема, эмпирическую, т.е. полученную в результате наблюдения и систематизации данных, закономерность распределения изучаемого признака.

По ряду распределения можно сделать заключение о том, какие варианты встречаются чаще других, а какие реже, какие наибольшие и наименьшие значения принимает признак, каков характер распределения частот между вариантами.

При достаточно большом числе наблюдений характер изменения частот весьма правильно отражает закономерность, лежащую в основе изучаемого признака совокупности. Искажение закономерности, в результате действия случайных причин, уменьшается при увеличении числа наблюдений, ввиду уравновешивания действия одних случайных причин действием других.

П.2.5 Интервал случайной переменной, на который распространяется данная группа, называется частотой (или интервалом группировки).

Ряд распределения обычно оформляется в виде таблицы (таблица П.1), в первой графе которой располагаются варианты x_i, а во второй – соответствующие вариантам частоты m_i. Такие таблицы называются таблицами распределения.

Таблица П.1 – Таблица распределения

x_i	m_i	$\sum m_i$
x_1	m_1	m_1
x_2	m_2	m_1+m_2
.	.	.
.	.	.
.	.	.
x_n	m_n	$m_1+m_2+\ldots+m_n=n$

П.2.6 По данным таблиц распределения строят графики распределения (гистограммы, полигоны, огивы и дифференциальные и интегральные кривые распределения). Гистограмма, полигон и кривая распределения строятся на основании данных первого и второго столбца таблицы распределения, а огива и интегральная кривая – на основании данных первого и третьего столбца.

П.2.7 Оценкой функции распределения является эмпирическая функция распределения, оценкой плотности функции распределения является гистограмма.

На рисунке П.1 приведен пример гистограммы распределения годовых приращений уровня Каспийского моря.

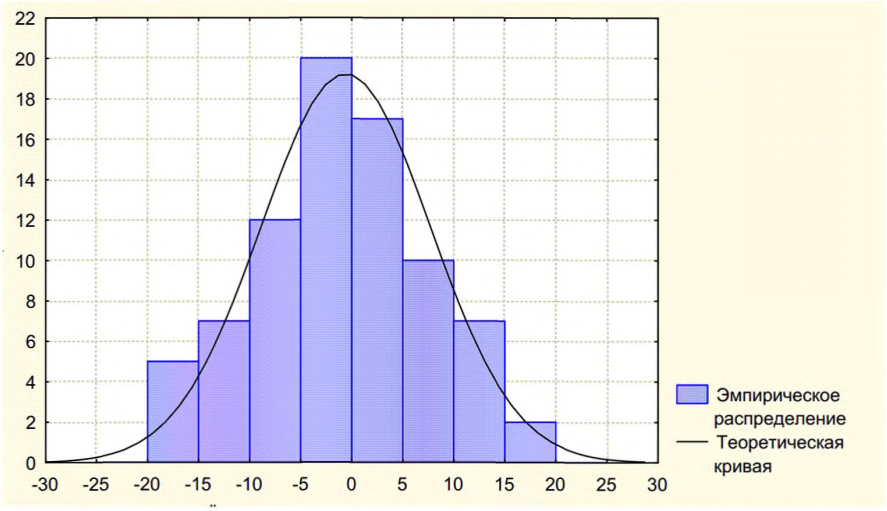

Рисунок П.1 – Гистограмма сглаженных значений годовых приращений уровня Каспийского моря с наложенной нормальной плотностью распределения (длина ряда 105 лет).

При построении гистограммы по оси абсцисс откладываются значения переменной (в данном случае уровня), а по оси ординат – частоты. Гистограмма состоит из смежных прямоугольников, основаниями которых являются отрезки между последовательными математическими границами, а высотами – частоты каждой градации. Таким образом, площадь каждого прямоугольника равна произведению его высоты на основание. Общая площадь под гистограммой равна $n \cdot i$, где n – число членов ряда, а i – число градаций. Площади пропорциональны частотам только в том случае, если градации равны.

П.2.8 Гистограмма вероятностей аналогична гистограмме, показанной на рисунке Т.1, за исключением того, что высота прямоугольника является частотой, деленной на общее число наблюдений. В этом случае площадь каждого прямоугольника равна $\frac{m_i}{n} \cdot i$. Общая площадь под гистограммой равна i.

В гистограмме плотности вероятности высотой каждого прямоугольника на графике является величина $P = \frac{m_i}{n \cdot i}$, а общая площадь под гистограммой равна 1.

П.2.9 Полигон частот представляет собой график (рисунок П.2), построенный путем нанесения частот градаций для точек, соответствующих серединам этих градаций. Значения частот соединяются затем прямыми линиями.

При длинных рядах наблюдений полигон и гистограмма приближается к плавной кривой, называемой кривой распределения (рисунок П.2 – кривая 2).

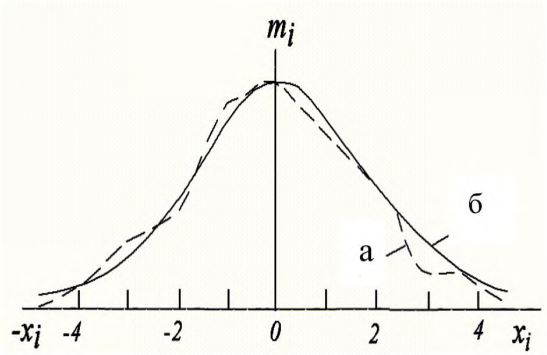

Рисунок П.2 – Полигон (1) и кривая распределения (2).

П.2.10 Для того, чтобы найти, как часто повторяются значения гидрометеорологических элементов большие или меньшие заданных величин, используется распределение накопленных (кумулятивных) частот, называемое огивой (рисунок П.3 – кривая 1). Эта кривая в пределе стремится к сглаженной интегральной кривой распределения (на рисунке П.3 – кривая 2).

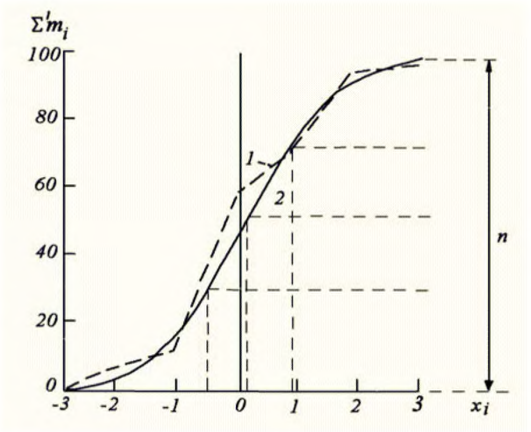

Рисунок П.3 – Огива (1) и интегральная кривая распределения (2).

По оси абсцисс (как и в случае гистограммы) откладываются последовательные верхние математические границы, по оси ординат – процентные частоты (или число случаев) значений переменной, меньших соответствующей математической границы; каждой верхней границе соответствует одна частота. Эти частоты наносятся на график и соединяются прямыми линиями. Таким образом, огива на графике всегда начинается в точке нулевой частоты и заканчивается в точке 100 % (если по оси ординат нанесена

накопленная процентная частота) или в точке, соответствующей общему числу случаев (если по оси ординат нанесена накопленная частота).

П.3 Меры изменчивости статистических характеристик случайных величин

П.3.1 Числовые характеристики распределения

П.3.1.1 Вариационные ряды позволяют получить первое представление об изучаемом распределении. Далее исследуются числовые характеристики распределения более высокого порядка: характеристики положения (среднее арифметическое, медиана, мода); характеристики рассеяния (дисперсия, среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации); характеристики меры скошенности (коэффициент асимметрии) и островершинности (эксцесс) распределения.

П.3.1.2 Среднее арифметическое (среднее) является наиболее часто применяемой величиной. Эту величину получают, суммируя все значения случайной переменной в выборке и деля сумму на общее число случаев, вошедших в данную выборку.

П.3.1.3 Среднее арифметическое невзвешенное вычисляется по формуле

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}, \qquad (П.1)$$

где x_i – вариант;

n – число членов ряда.

П.3.1.4 Среднее арифметическое взвешенное вычисляется по формуле

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i \cdot m_i}{\sum m_i}, \qquad (П.2)$$

где m_i – частота; $\sum m_i = n$.

Под взвешиванием понимается процедура умножения вариантов на частоты.

П.3.1.5 Медиана – значение случайной переменной, находящееся в середине ряда распределения. Для ее определения достаточно расположить в порядке возрастания или убывания все значения переменной; срединное значение и будет медианой. Медиана Me может быть рассчитана по формуле

$$Me = N_1 - \frac{h \cdot (\frac{n}{2} - S)}{m_i}, \qquad (П.3)$$

где N_1 – конец меридианного интервала;

h – размер интервала;

S – накопленная частота до значения N_1.

П.3.1.6 Мода – значение случайной переменной в изучаемой совокупности, которому соответствует наибольшая частота. Моду используют при выявлении наиболее часто встречающегося значения изучаемого признака. Мода *Mo* может быть рассчитана по формуле

$$Mo = \bar{x} - 3 \cdot (Me - \bar{x}). \qquad (П.4)$$

П.3.1.7 При симметричном распределении частот среднее арифметическое, медиана и мода совпадают. При ассиметричном распределении медиана располагается между средним арифметическим и модой. При правосторонней асимметрии мода принимает меньшие значения, а среднее арифметическое большие, при левосторонней асимметрии – наоборот.

Использование медианы и моды целесообразно при анализе резко ассиметричных распределений. Когда среднее арифметическое уже не является достаточно представительным параметром распределения, то его целесообразно дополнить медианой и модой.

П.3.1.8 Для полной характеристики случайной переменной средней, медианы и моды бывает недостаточно. Известно несколько показателей, характеризующих вариацию ряда распределения: размах вариации, среднее абсолютное отклонение, среднее квадратичное отклонение, дисперсия, коэффициент вариации.

П.3.1.9 Размах вариации A представляет собой разность между наибольшим $x_{макс}$ и наименьшим $x_{мин}$ вариантами в ряду наблюдений

$$A = x_{макс} - x_{мин}. \qquad (П.5)$$

П.3.1.10 Из характеристик изменчивости, не имеющей сильной систематической зависимости от длины ряда наблюдений, наиболее важными являются среднее абсолютное и среднее квадратичное отклонение.

Среднее абсолютное отклонение *CAO* определяется по формуле

$$CAO = \frac{\sum |(x - \bar{x})|}{n}. \qquad (П.6)$$

Основное преимущество среднего абсолютного отклонения состоит в легкости его подсчета, лучше всего выполняемой с помощью формулы (П.6). Недостаток его состоит в том, что в формуле (П.6) фигурируют абсолютные величины, что затрудняет выполнение

математических выкладок. Другим недостатком является то, что среднее абсолютное отклонение «слабо» характеризует изменчивость, так как вклад малых и больших отклонений учитывается одинаково.

П.3.1.11 Среднее квадратичное отклонение σ – показатель вариации, измеряющий величину, на которую все варианты в среднем отклоняются от среднего арифметического, рассчитывается по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}}, \qquad (П.7)$$

П.3.1.12 Среднее квадратичное отклонение имеет те же единицы измерения, что и варианты. Среднее квадратичное отклонение является лишь суммарной мерой вариации статистической переменной, поэтому оно не дает полного представления о характере распределения отклонений от нормы. Оно мало зависит от незначительных отклонений от среднего значения.

П.3.1.13 Дисперсией называется квадрат среднего квадратичного отклонения. Если σ – среднее квадратичное отклонение для генеральной совокупности, то дисперсия этой совокупности σ^2 равна

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}. \qquad (П.8)$$

Понятие дисперсии весьма важно, поскольку оно широко применяется при анализе факторов, обуславливающих рассеяние случайных переменных.

П.3.2 Характеристики меры скошенности и островершинности распределения

П.3.2.1 Коэффициент вариации

П.3.2.1.1 Для удобства сравнения изменчивости отдельных рядов среднее квадратичные отклонения выражаются в относительных единицах $\sigma_x / \bar{x}$. Относительное среднее квадратичное отклонение называется коэффициентом вариации, или изменчивости и вычисляется по формуле

$$C_v = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}}{n \cdot \bar{x}^2}. \qquad (П.9)$$

П.3.2.1.2 Среднее характеризует квазистационарную часть ряда, а среднее квадратичное отклонение σ_x – его переменную часть.

Если $C_v < 1$, то изменчивость невелика, а если $C_v > 1$, то изменчивость велика. При $C_v \le 0{,}2$ можно приближенно считать ряд нормально распределенным.

П.3.2.1.3 Формула (П.9) предполагает истинное значение X_N генеральной совокупности при $N \to \infty$. Реальные ряды величин представляют лишь ограниченную выборку в n членов из генеральной совокупности, и в формуле (П.9) вместо N принимается $n < N$.

Разница между $\overline{X}_{N\to\infty}$ и $\bar{x}_n$, как правило, тем больше, чем короче ряд наблюдений. В математической статистике принимается

$$\sigma_{N\to\infty} = \sigma_n \sqrt{\frac{n}{n-1}} \quad . \tag{П.10}$$

П.3.2.2 **Показатели асимметрии**

П.3.2.2.1 Распределение частот называют положительно асимметричным, если средняя больше моды, и отрицательно асимметричным, если средняя меньше моды. Характеристикой асимметрии (скошенности) распределения случайной величины X является коэффициент асимметрии K_A. Коэффициент асимметрии величина безразмерная, его можно определить по формуле

$$K_A = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^3}{m\sigma^3}. \tag{П.11}$$

Так как $(\bar{x} - Mo)$ приблизительно равна $3\cdot(\bar{x} - Me)$, то формулу (П.11) можно переписать в виде

$$K_A = \frac{\bar{x} - Me}{\sigma}. \tag{П.12}$$

П.3.2.2.2 Если распределение имеет левостороннюю асимметрию, то сумма отрицательных кубов отклонений превышает сумму положительных кубов, т.е. показатель асимметрии отрицательный ($K_A < 0$), если асимметрия правосторонняя, то показатель асимметрии положительный ($K_A > 0$). При симметричном распределении показатель асимметрии равен нулю ($K_A = 0$). Образцы кривых распределения вероятности с положительной и отрицательной асимметрией показаны на рисунке П.4.

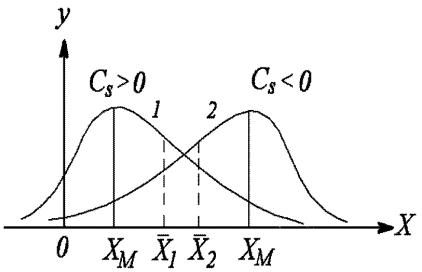

Рисунок П.4 – Кривые распределения вероятности с положительной (1) и отрицательной асимметрией (2).

П.3.2.2.3 Таким образом, асимметричная кривая может характеризоваться средним арифметическим значением переменной $\bar{x}$, средним квадратом отклонений членов ряда от их средней величины $\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n}$: σ_x или $\frac{\sigma_x}{\bar{x}}=C_s$, и средним кубом этих отклонений: $\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^3}{n}$ или $\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^3}{nC_v^3}=C_s$.

П.3.2.2.4. Поправку на асимметрию можно определить по таблице П.2.

Таблица П.2 – Поправка на асимметрию в зависимости от значения переменной

x	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	66,5	66,5	66,4	66,4	66,3	66,2	66,1	66,0	65,8	65,6
0,1	65,5	65,3	65,1	64,8	64,6	64,3	64,0	63,6	63,3	63,0
0,2	62,6	62,2	61,8	61,4	60,9	60,5	60,0	59,5	59,0	58,4
0,3	57,8	57,3	56,7	56,1	55,5	54,9	54,2	53,5	52,9	52,2
0,4	51,6	50,8	50,1	49,4	48,6	47,9	47,1	46,3	45,5	44,7
0,5	44,0	43,2	42,4	41,5	40,7	39,9	39,0	38,1	37,3	36,4
0,6	35,5	34,6	33,7	32,9	32,0	31,1	30,2	29,3	28,4	27,5
0,7	26,5	25,6	24,7	23,8	22,9	22,0	21,0	20,1	19,2	18,3
0,8	17,4	16,5	15,6	14,7	13,8	12,9	12,0	11,1	10,2	9,3
0,9	8,4	7,5	6,7	5,8	5,0	4,1	3,3	2,5	1,7	0,9
1,0	0,0	–0,8	–1,6	–2,4	–3,2	–3,9	–4,7	–5,4	–6,1	–6,9
1,1	–7,6	–8,3	–9,0	–9.7	–10,4	–11,1	–11,7	–12,3	–12,9	–13,6
1,2	–14,2	–14,8	–15,4	–16,0	–16,6	–17,2	–17,7	–18,2	–18,7	–19,2
1,3	–19,7	–20,2	–20,7	–21,1	–21,5	–21,9	–22,3	–22,7	–23,1	–23,5
1,4	–23,9	–24,3	–24,6	–24,9	–25,2	–25,5	–25,8	–26,1	–26,4	–26,7
1,5	–27,0	–27,2	–27,4	–27,6	–27,8	–28,0	–28,2	–28,4	–28,6	–28,7
1,6	–28,8	–28,9	–29,0	–29,1	–29,2	–29,3	–29,4	–29,5	–29,6	–29,6
1,7	–29,6	–29,6	–29,6	–29,6	–29,6	–29,6	–29,6	–29,6	–29,6	–29,6
1,8	–29,5	–29,4	–29,3	–29,2	–29,1	–29,0	–28,9	–28,8	–28,7	–28,6
1,9	–28,5	–28,4	–28,3	–28,1	–28,0	–27,8	–27,7	–27,5	–27,3	–27,2
2,0	–27,0	–26,8	–26,6	–26,4	–26,2	–26,0	–25,8	–25,6	–25,4	–25,2
2,1	–25,0	–24,8	–24,6	–24,3	–24,1	–23,9	–23,7	–23,4	–23,2	–22,9
2,2	–22,7	–22,5	–22,2	–22,0	–21,7	–21,5	–21,3	–21,0	–20,8	–20,5

x	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
2,3	–20,3	–20,1	–19,8	–19,5	–19,3	–19,0	–18,8	–18,5	–18,3	–18,0
2,4	–17,8	–17,5	–17,3	–17,0	–16,8	–16,5	–16,3	–16,0	–15,8	–15,6
2,5	–15,3	–15,1	–14,9	–14,6	–14,4	–14,2	–13,8	–13,7	–13,5	–13,3
2,6	–13,0	–12,8	–12,6	–12,4	–12,1	–11,9	–11,7	–11,5	–11,3	–11,1
2,7	–10,9	–10,7	–10,5	–10,3	–10,1	–9,9	–9,8	–9,6	–9,4	–9,2
2,8	–9,0	–8,9	–8,7	–8,5	–8,3	–8,2	–8,0	–7,8	–7,7	–7,5
2,9	–7,3	–7,2	–7,0	–6,9	–6,7	–6,6	–6,5	–6,3	–6,2	–6,0
3,0	–5,9	–5,8	–5,7	–5,5	–5,4	–5,3	–5,2	–5,0	–4,9	–4,8
3,1	–4,7	–4,6	–4,5	–4,4	–3,3	–4,2	–4,1	–4,0	–3,9	–3,8
3,2	–3,7	–3,6	–3,5	–3,4	–2,5	–3,2	–3,1	–3,0	–2,9	–2,8
3,3	–2,8	–2,7	–2,7	–2,6	–1,9	–2,5	–2,4	–2,3	–2,3	–2,2
3,4	–2,2	–2,1	–2,1	–2,0	–1,5	–1,9	–1,8	–1,8	–1,7	–1,7
3,5	–1,6	–1,6	–1,5	–1,5	–1,1	–1,4	–1,4	–1,3	–1,3	–1,3
3,6	–1,2	–1,2	–1,1	–1,1	–0,8	–1,0	–1,0	–1,0	–0,9	–0,9
3,7	–0,9	–0,9	–0,9	–0,8	–0,6	–0,8	–0,8	–0,8	–0,7	–0,7
3,8	–0,7	–0,6	–0,6	–0,6	–0,4	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5
3,9	–0,5	–0,5	–0,4	–0,4	–0,3	–0,3	–0,3	–0,3	–0,3	–0,3
4,0	–0,3	–0,3	–0,3	–0,3	–4,3	–0,3	–0,3	–0,3	–0,2	–0,2

П.3.2.3 **Показатели эксцесса**

П.3.2.3.1 Два распределения частот, имеющие одинаковые значения средней, дисперсии и асимметрии, могут различаться величиной эксцесса. Для характеристики меры эксцесса обычно используют четвертый центральный момент распределения. Для удобства сопоставления эмпирического распределения с нормальным законом распределения показатель эксцесса записывается в виде

$$E = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3. \qquad (П.12)$$

П.3.2.3.2 Эксцесс характеризует заостренность или уплощенность (по сравнению с нормальным распределением) графика плотности распределения. Для нормального распределения $\frac{\mu_4}{\sigma^4}$=3, отсюда и появляется число 3 в определении E.

В качестве характеристики заостренности или уплощенности статистического ряда принимается величина:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^4}{\left[\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2\right]^2} - 3.$$

П.3.2.3.3 Если $E > 0$, то распределение является островершинным; если $E < 0$, то распределение плосковершинное относительно нормального распределения. При $E = 0$

распределение считается нейтральным в отношении эксцесса (рисунок П.5). На этом рисунке нормальная кривая соответствует σ_2.

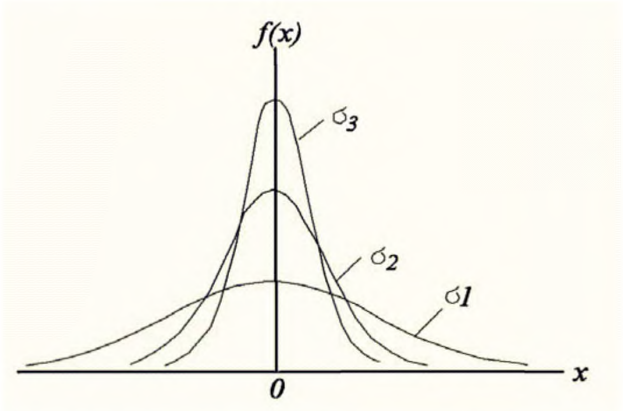

Рисунок П.5 – Характер изменчивости явлений при $\bar{x}_1 = \bar{x}_2 = \bar{x}_3$ и $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.

П.3.2.3.4 Если эмпирическая кривая распределения оказалась ниже нормальной кривой, то показатель эксцесса будет отрицательным. При этом E будет равен минус трем в том случае, если все частоты оказались равными нулю. Если эмпирическая кривая легла выше нормальной кривой, то показатель эксцесса будет положительным.

П.3.2.3.5 Знак асимметрии можно получить, даже не прибегая к расчету стандартного момента, а по последовательности положения моды, медианы. Поправку на эксцесс можно определить по таблице П.3.

Таблица П.3 – Поправка на эксцесс в зависимости от значения переменной

x	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
0,1	4,9	5,4	5,9	6,4	6,9	7,3	7,8	8,3	8,7	9,2
0,2	9,6	10,1	10,5	11,0	11,4	11,8	12,3	12,7	13,1	13,5
0,3	13,9	14,3	14,7	15,0	15,4	15,8	16,1	16,5	16,8	17,1
0,4	17,4	17,8	18,1	18,3	18,6	18,9	19,2	19,4	19,6	19,9
0,5	20,2	20,4	20,6	20,8	21,0	21,2	21,4	21,6	21,7	21,9
0,6	22,0	22,1	22,3	22,4	22,5	22,5	22,6	22,7	22,8	22,8
0,7	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,8
0,8	22,8	22,7	22,7	22,6	22,4	22,4	22,3	22,2	22,1	22,0
0,9	21,9	21,8	21,6	21,4	21,3	21,1	20,9	20,8	20,6	20,4
1,0	20,2	20,0	19,8	19,6	19,3	19,1	18,9	18,6	18,4	18,2
1,1	17,9	17,7	17,4	17,1	16,8	16,6	16,3	16,0	15,7	15,4
1,2	15,1	14,9	14,6	14,3	14,0	13,7	13,4	13,1	12,8	12,5
1,3	12,2	11,9	11,6	11,3	10,9	10,6	10,3	10,0	9,7	9,4
1,4	9,1	8,8	8,5	8,2	7,9	7,6	7,3	7,0	6,7	6,4
1,5	6,1	5,8	5,5	5,2	4,9	4,6	4,4	4,1	3,8	3,5
1,6	3,3	3,0	2,8	2,5	2,2	1,9	1,7	1,4	1,1	0,9
1,7	0,7	0,4	0,2	0,0	–0,2	–0,4	–0,6	–0,8	–1,0	–1,2
1,8	–1,4	–1,6	–1,8	–1,9	–2,1	–2,3	–2,5	–2,7	–2,9	–3,0
1,9	–3,2	–3,3	–3,4	–3,6	–3,7	–3,8	–4,0	–4,1	–4,2	–4,3
2,0	–4,5	–4,6	–4,7	–4,8	–4,9	–5,0	–5,0	–5,1	–5,2	–5,3

x	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
2,1	–5,4	–5,4	–5,5	–5,6	–5,6	–5,7	–5,8	–5,8	–5,9	–6,0
2,2	–6,0	–6,1	–6,1	–6,1	–6,1	–6,1	–6,2	–6,2	–6,2	–6,2
2,3	–6,2	–6,2	–6,2	–6,2	–6,3	–6,3	–6,3	–6,3	–6,2	–6,2
2,4	–6,2	–6,2	–6,2	–6,2	–6,1	–6,1	–6,1	–6,0	–6,0	–5,9
2,5	–5,9	–5,9	–5,8	–5,8	–5,8	–5,7	–5,7	–5,6	–5,6	–5,5
2,6	–5,5	–5,5	–5,4	–5,4	–5,3	–5,3	–5,2	–5,2	–5,1	–5,1
2,7	–5,0	–5,0	–4,9	–4,9	–4,8	–4,8	–4,7	–4,7	–4,6	–4,6
2,8	–4,5	–4,5	–4,4	–4,4	–4,3	–4,3	–4,2	–4,1	–4,1	–4,0
2,9	–3,9	–3,9	–3,8	–3,8	–3,7	–3,7	–3,6	–3,5	–3,5	–3,4
3,0	–3,3	–3,3	–3,2	–3,2	–3,1	–3,1	–3,0	–3,0	–2,9	–2,9
3,1	–2,8	–2,8	–2,7	–2,7	–2,6	–2,6	–2,5	–2,5	–2,4	–2,4
3,2	–2,3	–2,3	–2,2	–2,2	–2,1	–2,1	–2,1	–2,0	–2,0	–1,9
3,3	–1,9	–1,9	–1,8	–1,8	–1,7	–1,7	–1,6	–1,6	–1,6	–1,5
3,4	–1,5	–1,5	–1,4	–1,4	–1,4	–1,3	–1,3	–1,3	–1,2	–1,2
3,5	–1,2	–1,2	–1,1	–1,1	–1,1	–1,0	–1,0	–1,0	–0,9	–0,9
3,6	–0,9	–0,9	–0,9	–0,8	–0,8	–0,8	–0,8	–0,8	–0,7	–0,7
3,7	–0,7	–0,7	–0,7	–0,6	–0,6	–0,6	–0,6	–0,5	–0,5	–0,5
3,8	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5	–0,4	–0,4	–0,4	–0,4	–0,4
3,9	–0,4	–0,4	–0,4	–0,4	–0,4	–0,3	–0,3	–0,3	–0,3	–0,3
4,0	–0,3	–0,3	–0,3	–0,3	–0,3	–0,2	–0,2	–0,2	–0,2	–0,2

П.3.3 Кривые повторяемости и обеспеченности

П.3.3.1 Средняя величина, среднее квадратичное отклонение являются лишь суммарной мерой вариации статистической переменной, поэтому они не дают полного представления о характере распределения отклонений от нормы. Полную картину вариации переменной дают кривые распределения, которые могут выражаться в двух видах: дифференциальной, часто называемой кривой повторяемости, и интегральной, именуемой кривой обеспеченности.

П.3.3.2 Под обеспеченностью понимается вероятность превышения заданного значения статистической переменной, что символически записывается как $P(x \geq x_m)$, или вероятность непревышения заданного значения переменной, что запишется как $P(x \leq x_m)$. Последнее понятие чаще всего употребляется применительно к погрешностям прогноза и, в частности, при сравнении их с допустимой погрешностью.

П.3.3.3 Дифференциальная кривая распределения дает представление о частоте (повторяемости) появления определенных значений статистической переменной. Интегральная кривая распределения представляет собой результат интегрирования дифференциальной кривой и дает возможность определить как вероятность (обеспеченность) появления определенного значения переменной в заданном интервале

$P(\bar{x} \pm \Delta)$, так и вероятность (обеспеченность) превышения заданных значений $P[x \geq (\bar{x} - \Delta)]$ или $P[x \geq (\bar{x} + \Delta)]$.

Построение кривых распределения может быть выполнено для любой статистической переменной, в том числе и для отклонения от нормы, при наличии ряда наблюдений. Такие кривые получили название эмпирических кривых распределения.

П.3.3.4 Обеспеченность данного значения переменной в процентах вычисляется по формуле

$$P(x \geq x_m) = \frac{m - 0{,}3}{n - 0{,}4}, \qquad (П.14)$$

где m – порядковый номер члена ряда, расположенного в убывающем порядке;

n – общее число членов ряда.

П.3.3.5 Пример эмпирической кривой обеспеченности показан на рисунке П.6.

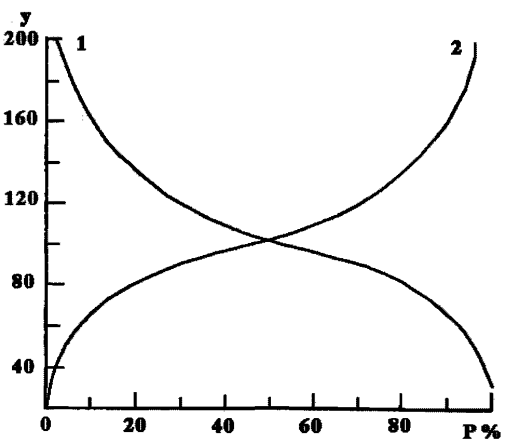

Рисунок П.6 – Кривая обеспеченности превышения (1) и непревышения (2) заданного значения переменной.

П.3.3.6 Имея обеспеченность превышения, легко вычислить также обеспеченность непревышения данного значения переменной по формуле

$$P(x \leq xm) = 1 - P(x \geq xm). \qquad (П.15)$$

Пример кривой обеспеченности непревышения – кривая 2 на рисунке П.6.

П.3.3.7 Построение эмпирической кривой повторяемости проще всего выполняется путем графического дифференцирования кривой обеспеченности (рисунок П.7).

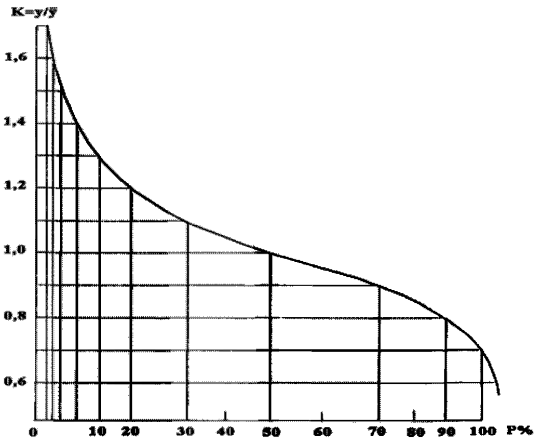

Рисунок П.7 – Построение кривой повторяемости по кривой обеспеченности.

Вертикальная шкала графика на рисунке П.7 разбивается горизонтальными линиями на ряд произвольных небольших одинаковых интервалов Δx. Из точек пересечения этих линий с кривой опускаются перпендикуляры, дающие на оси абсцисс приращения ΔP, которые и являются вероятностью появления переменной в заданном интервале. Откладывая эти величины от вертикальной оси, получаем ступенчатый график распределения повторяемости, или гистограмму. Плавное соединение столбиков гистограммы дает непрерывную эмпирическую кривую распределения.

П.3.3.8 Распределение повторяемости можно получить и непосредственно из ряда эмпирических значений статистической переменной. Для этого амплитуда переменной разбивается на ряд одинаковых интервалов. После этого подсчитывается число попаданий значений переменной в каждый из этих интервалов. Делением числа попаданий на общее число членов ряда переменной получают искомую вероятность попадания переменной в данный интервал. Пример подсчета повторяемости и обеспеченности отклонений уровня моря от нормы приведен в таблице П.4.

Такого рода интегральные распределения необходимы, в частности, для оценки эффективности метода прогноза.

Эмпирическое распределение дает картину вариации статистической переменной лишь в пределах того ряда, по которому установлено это распределение.

Таблица П.4 – Пример расчета повторяемости и обеспеченности отклонения уровня моря от нормы

Интервал отклонений, см	Повторяемость отклонений		Обеспеченность попадания отклонения в заданный интервал			Обеспеченность превышения заданного отклонения		
	Число случаев	%	Интервал, см	Число случаев	%	Отклонение, см	Число случаев	%
От 141 до 80	2	5	± 90	12	30	140	2	5
От 101 до 140	2	5	±60	26	65	100	4	10
От 61 до 100	4	10	±100	34	85	60	8	20
От 21до 60	6	15	±140	38	95	20	14	35
От –21 до 20	12	30	±180	40	100	–20	26	65
От –61 до –20	8	20	–	–	–	–60	34	85
От –101 до 60	4	10	–	–	–	–100	38	95
От –140 до –100	2	5	–	–	–	–140	40	100

П.4 Теоретические функции распределения

П.4.1 Общие положения

П.4.1.1 В практике исследований и расчетов различных случайных величин и явлений используют различные кривые распределения.

Выбор той или иной теоретической кривой как математической модели, описывающей непериодический колебательный процесс, может быть перспективным, если она будет удовлетворять основным свойствам эмпирических кривых распределения, а также практическим требованиям. Соответствие теоретических кривых распределения, или обеспеченности, эмпирическим кривым устанавливается путем сопоставления при построении их на совмещенных графиках.

С этой целью исследуются общие характеристики эмпирических кривых распределения или частоты, которые строятся по материалам наблюдений.

П.4.1.2 При применении корреляционного анализа в практике морских гидрологических прогнозов часто приходится иметь дело со сравнительно короткими рядами эмпирических данных. Поэтому достоверность эмпирических кривых распределения оценивается по отношению к теоретическому распределению для неограниченной длины ряда. Наиболее широкое применение получило так называемое нормальное распределение (или закон Гаусса), хотя в практике морских гидрологических прогнозов приходится применять и другие виды распределений, например: биноминальное распределение, экспоненциальное распределение, распределение Стьюдента и др.

П.4.2 Нормальный закон распределения

П.4.2.1 Закон нормального распределения случайной величины наиболее часто используется при разработке методов прогнозов и оценки их качества. Главная особенность закона нормального распределения состоит в том, что он является предельным законом, к которому, при определенных условиях, приближаются другие законы распределения.

П.4.2.2 Дифференциальная функция нормального распределения описывается уравнением

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\Delta)^2}{2\sigma_x^2} \right], \qquad (П.16)$$

где Δ – заданное отклонение от нормы, равно $x - \bar{x}$;

σ_x – среднее квадратичное отклонение от нормы.

Нормальное распределение является симметричным, что подтверждается равной вероятностью равных по абсолютному значению положительных и отрицательных отклонений от нормы.

П.4.2.3 Кривая нормального распределения, часто именуемая кривой Гаусса, показана на рисунке П.8.

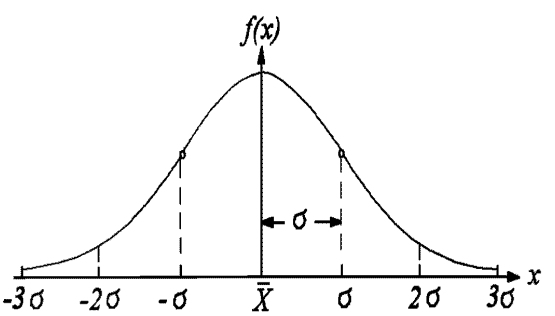

Рисунок П.8 – Кривая нормального распределения.

Кривая Гаусса имеет максимум при $x = a$ и две точки перегиба при $x = a \pm \sigma$; при $x \to -\infty$ и при $x \to +\infty$ кривая асимптотически стремится к оси x.

П.4.2.4 Основные свойства нормального распределения сводятся к следующему.

П.4.2.4.1 Расстояние от средней до точки перегиба равно среднему квадратичному отклонению σ.

Р.4.2.4.2 Между ($\overline{X}+\sigma$) и ($\overline{X}-\sigma$) находится 68 % общей площади под кривой.

Р.4.2.4.3 Вероятная ошибка, определенная из условия, что половина площади под нормальной кривой лежит в пределах ($\overline{X}+\Delta$) и ($\overline{X}-\Delta$) равна $0{,}67449\,\sigma$.

Р.4.2.4.4 95 % площади под кривой заключено примерно между ($\overline{X}+2\sigma$) и ($\overline{X}-2\sigma$), т.е. между($\overline{X}+3\Delta$) и ($\overline{X}-3\Delta$).

П.4.2.5 Вероятность того, что случайная величина X, распределенная по нормальному закону, отклонится от математического ожидания $M(X)=a$ не более, чем на величину $\varepsilon>0$, равна

$$P(|X-a|<\varepsilon)=2\Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right). \qquad (П.17)$$

П.4.2.6 Вероятность того, что нормально распределенная случайная величина X отклонится от $M(X)=a$ на σ, 2σ, 3σ равна

$$P(|X-a|<\sigma)=2\Phi\left(\frac{\sigma}{\sigma}\right)=2\Phi(1)=2\cdot 0{,}3413=0{,}6826, \qquad (П.18)$$

$$P(|X-a|<2\sigma)=2\Phi\left(\frac{2\sigma}{\sigma}\right)=2\Phi(2)=2\cdot 0{,}4772=0{,}9544, \qquad (П.19)$$

$$P(|X-a|<3\sigma)=2\Phi\left(\frac{3\sigma}{\sigma}\right)=2\Phi(3)=2\cdot 0{,}4965=0{,}9973. \qquad (П20)$$

Отсюда следует *правило* 3σ: если случайная величина X имеет нормальное распределение, то отклонение этой величины от ее математического ожидания по абсолютной величине не превышает утроенное среднее квадратичное отклонение (3σ).

П.4.2.7 Вероятность того, что переменная попадет в заданный интервал, определяется путем интегрирования уравнения (П.16).

Таблица значений вероятности $P(\overline{x}\pm k_p\sigma)$ дается в справочниках (под названием интеграла вероятности Гаусса) для различных значений отклонения переменной от нормы, выраженной в долях среднего квадратичного отклонения $k_p\Delta/\sigma$. Некоторые характерные значения вероятности для различных значений k_p даны в таблице П.5.

Таблица П.5 – Характерные значения вероятности для различных значений k_p

	Значения вероятности при k_p							
	0,015	**0,125**	**0,260**	**0,355**	**0,525**	**0,674**	**0,842**	**0,935**
$P\left[\bar{x} \pm k_p\sigma_x\right]$	0,010	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,650
$P\left[x \geq (\bar{x} - k_p\sigma_x)\right]$	0,505	0,550	0,600	0,650	0,700	0,750	0,800	0,825
$P\left[x \geq (\bar{x} + k_p\sigma_x)\right]$	0,495	0,450	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,175
	1,000	**1,035**	**1,150**	**1,280**	**1,440**	**1,640**	**1,960**	**2,580**
$P\left[\bar{x} \pm k_p\sigma_x\right]$	0,684	0,700	0,750	0,800	0,850	0,900	0,950	0,990
$P\left[x \geq (\bar{x} - k_p\sigma_x)\right]$	0,158	0,850	0,875	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
$P\left[x \geq (\bar{x} + k_p\sigma_x)\right]$	0,842	0,150	0,125	0,100	0,075	0,050	0,025	0,005

П.4.2.8 Отклонение от нормы, равное $\pm 0{,}674\sigma$, принято называть вероятным отклонением. Обеспеченность вероятного отклонения при нормальном распределении будет равна

$$P(\bar{x} \pm 0{,}674\sigma) = 0{,}5. \qquad (П.21)$$

П.4.2.9 Зная вероятность (обеспеченность) отклонений от нормы $P(\bar{x} \pm k_p\sigma_u)$, легко перейти к вероятности превышения крайних в данном диапазоне значений переменной. Так как нормальное распределение симметрично, то обеспеченность верхнего предела диапазона вычисляется из соотношения

$$P\left[x \geq (\bar{x} + k_p\sigma)\right] = \frac{1 - P(\bar{x} \pm k_p\sigma)}{2}, \qquad (П.22)$$

а обеспеченность нижнего предела из соотношения

$$P\left[x \geq (\bar{x} - k_p\sigma)\right] = \frac{1 + P(\bar{x} \pm k_p\sigma)}{2}. \qquad (П.23)$$

Пример - обеспеченность попадания значения переменной в диапазон $x \pm \sigma$ ***будет равна***

$$P(\bar{x} \pm \sigma) = 0{,}684 = 68{,}4 \cdot \%.$$

Обеспеченность верхнего предела этого диапазона составляет

$$P\left[x \geq (\bar{x} + \sigma)\right] = \frac{1 - 0.684}{2} = 0.158 = 15{,}8 \cdot \%.$$

Обеспеченность нижнего предела равна

$$P\left[x \geq (\bar{x} - \sigma)\right] = \frac{1 + 0.684}{2} = 0.842 = 84{,}2 \cdot \%.$$

Таким образом, зная интегральное распределение вероятности отклонений от нормы $\overline{P}(x \pm \sigma)$, легко перейти к распределению обеспеченности самих значений переменной.

П.4.3 Биномиальное распределение

П.4.3.1 Биномиальное распределение применяется, когда речь идет о двух возможных исходах, при этом, если нормальное распределение является непрерывным, то биномиальное распределение дает вероятности только в дискретных точках. Для этого точки биномиального распределения рассматриваются как средние точки в градациях. Например, точка 35 в биномиальном распределении отражает градацию 34,5–35,5 в нормальном. Формула для биномиального распределения имеет вид

$$P(m) = \frac{N!}{m!(N-m)} \cdot P^m (1-P)^{N-m}. \qquad (П.24)$$

П.4.3.2 Среднее квадратичное отклонение для биномиального распределения равно $\sqrt{N \cdot P \cdot (1-P)}$. Биномиальное распределение особенно быстро приближается к нормальному распределению, когда $P = 1 - P = 0{,}5$. В этом случае распределение можно считать нормальным уже при $N > 25$. Для несимметричного распределения величина $\sqrt{N \cdot P \cdot (1-P)}$ должна превышать 9, чтобы нормальное распределение хорошо его описывало. Аппроксимация биномиального распределения нормальным при достаточно большом N сильно упрощает расчеты.

П.4.3.3 **Распределение Пуассона**

П.4.3.3.1 Распределение Пуассона представляет предел биномиального распределения, когда вероятность некоторого события P мала при условии, что ожидаемое число событий постоянно. Вероятность того, что редкое событие произойдет в данный период x раз, выражается формулой

$$P(x) = \frac{\mu^x e^{-\mu}}{x!}, \qquad (П.25)$$

где x – целое число;

μ – ожидаемое число событий в данный период.

В данном случае μ является как средним значением, так и дисперсией для распределения частот и оценивается из выборки путем вычисления $\overline{X}$ как среднего числа появления данного события за прошедший период той же продолжительности. Предполагается, что μ (или $\overline{X}$) имеет порядок единицы.

Пример – Известно, что в Махачкале в среднем за год наблюдается 5 случаев со штормовым нагоном. Какова вероятность того, что за год произойдет только один нагон?

В этом случае $\mu = 5$ и $x = 1$ и вероятность равна:

$$P(x) = \frac{5^1 e^{-5}}{1} \approx 3\,\%.$$

П.4.3.4 **Распределение Пирсона**

П.4.3.4.1 Пусть X_1, $X_2,\ldots,X_n$ одинаково распределенные по нормальному закону случайные величины, являющиеся взаимонезависимыми, для которых математическое ожидание равно нулю, а среднеквадратичное отклонение равно 1, тогда сумма квадратов этих случайных величин носит название случайной величины χ^2 – хи-квадрат с n степенями свободы:

$$\chi_n^2 = \sum_{i=1}^{n} X_i^2 . \qquad (П.26)$$

Дифференциальная функция распределения χ^2 задается формулой:

$$f(\chi^2) = \frac{1}{2^{\frac{n}{2}} \cdot \tilde{A}\left(\frac{n}{2}\right)} \cdot (\chi^2)^{n/2} \cdot e^{x^2/2}, \qquad (П.27)$$

где $\tilde{A}(x) = \int_0^{+\infty} t^{x-1} \cdot e^{-t} dt$ – гамма функция Эйлера.

П.4.3.4.2 Критические точки χ^2 – распределения Пирсона приведены в таблице П.6.

Таблица П.6

n	Критические точки χ^2 при уровне значимости α					
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	1,642	2,706	3,841	5,412	6,635	10,827
2	3,219	4,605	5,991	7,824	9,210	13,815
3	4,642	6,251	7,815	9,837	11,345	16,266
4	5,989	7,779	9,488	11,668	13,277	18,467
5	7,289	9,236	11,070	13,388	15,086	20,515

6	8,558	10,645	12,592	15,033	16,812	22,457
7	9,803	12,017	14,067	16,622	18,475	24,322
8	11,030	13,362	15,507	18,168	20,090	26,125
9	12,242	14,684	16,919	19,679	21,666	27,877
10	13,442	15,987	18,307	21,161	23,209	29,588
11	14,631	17,275	19,675	22,618	24,725	31,264
12	15,812	18,549	21,026	24,054	26,217	32,909
13	16,985	19,812	22,362	25,472	27,688	34,528
14	8,151	21,064	23,685	26,783	29,141	36,123
15	19,311	22,307	24,996	28,259	30,578	37,697
16	20,465	23,542	26,296	29,633	32,000	39,252
17	21,615	24,769	27,587	30,995	33,409	40,790
18	22,760	25,989	28,869	32,346	34,805	42,312
19	23,900	27,204	30,144	33,687	36,191	43,820
20	25,038	28,412	31,410	35,020	37,566	45,315
21	26,171	29,615	32,671	36,343	38,932	46,797
22	27,301	30,813	33,924	37,659	40,289	48,268
23	28,429	32,007	35,172	38,968	41,638	49,728
24	29,553	33,196	36,415	40,270	42,980	51,179
25	30,675	34,382	37,652	41,566	44,314	52,620
26	31,795	35,563	38,885	42,856	45,642	54,052
27	32,912	36,741	40,113	44,140	46,963	55,476
28	34,027	37,916	41,337	45,419	48,278	56,893
29	35,139	39,087	42,557	46,693	49,588	58,302
30	36,250	40,256	43,773	47,962	50,892	59,703

П.4.3.5 **Распределение Стьюдента**

П.4.3.5.1 Это распределение имеет важное значение при статистических вычислениях, связанных с нормальным законом распределения, где σ - неизвестный параметр распределения, который приходится оценивать из относительно небольших выборок данных. Безразмерная величина t называется распределением Стьюдента и определяется по формуле

$$t = \frac{X}{\sqrt{\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} X_i^2}} = \frac{X}{\sqrt{\frac{\chi_k^2}{k}}} \qquad (П.28)$$

Распределение Стьюдента не зависит от σ в силу его безразмерности.

Дифференциальная функция $f(t)$ – распределения с k степенями свободы имеет вид

$$f(t) = \frac{\Gamma\left(\frac{k+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi k}\cdot\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)}\left(1+\frac{t^2}{k}\right)^{\frac{k+1}{2}}, \qquad (П.29)$$

где t стремится к нормальному закону распределения быстрее, чем χ^2

П.4.3.5 .2 Критические точки t – распределения Стьюдента приведены в таблице П.7.

Таблица П.7

Число степеней свободы $(n-1)$	Значения критерия Стьюдента при уровне значимости α (двухсторонняя критическая область)				
	0,1	0,05	0,02	0,01	0,001
1	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619
2	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
3	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690
28	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659
30	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
50	1,676	2,009	2,403	2,678	3,496
60	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
80	1,664	1,990	2,374	2,639	3,416
100	1,660	1,984	2,364	2,626	3,390
120	1,658	1,980	2,358	2,617	3,374
150	1,655	1,976	2,352	2,609	3,357
200	1,652	1,972	2,345	2,601	3,340
300	1,650	1,968	2,339	2,592	3,323
500	1,648	1,965	2,334	2,586	3,310

П.5 Методы графического и аналитического выражения зависимостей, линейная корреляция между ними

П.5.1 Корреляционно-регрессионный анализ

П.5.1.1 Корреляционно-регрессионный анализ выполняется в следующей последовательности:

– исходя из целей и задач исследования зависимости устанавливаются результативный (y) и факторные (x_j) переменные (предиктант и предикторы);

– по данным наблюдений формируются ряды значений этих переменных;

– обосновывается модель уравнения регрессии для случая парной зависимости обычно графическим способом;

– методом наименьших квадратов определяются параметры уравнения регрессии;

– определяется теснота связи между изучаемыми переменными;

– оценивается значимость уравнения связи, его параметров и показателей тесноты связи.

П.5.1.2 Когда проведен первичный физический анализ явления, подлежащий предсказанию, и установлены определяющие его факторы, приступают к построению зависимостей между числовыми характеристиками, как предсказываемого явления, так и тех факторов, которые эти явления определяют.

П.5.1.3 Построение зависимости сводится к расчету эмпирических коэффициентов линейной корреляции с двумя или более переменными. После того как зависимость построена проверяется ее применимость для прогноза в конкретных физико-географических условиях. При этом может быть установлено, что зависимость применима без каких-либо уточнений. Но может оказаться, что для ее применения в данных конкретных условиях необходимо уточнить коэффициенты. Наконец, может быть установлено, что зависимость, дававшая хорошие результаты при применении ее в других условиях, в данном случае совершенно не применима.

П.5.1.4 Аналитическим выражением статистической связи служит уравнение регрессии, т.е. такое уравнение, применение которого при составлении прогноза давало бы наименьшие ошибки между вычисленными и фактическими величинами.

При анализе связи между двумя переменными одну из переменных, например x, принято считать независимой, а другую, y, зависимой. Иногда x называют предиктором, а y – предиктантом. На практике предиктор обычно основан на данных наблюдений. Но это могут быть данные, полученные и расчетным путем.

П.5.1.5 Простейшим случаем является линейная связь между двумя переменными x и y:

$$y = ax + b \ . \qquad \text{(П.30)}$$

Данное уравнение будет хорошо удовлетворять исходным данным. Прямую, выражающую эту зависимость можно провести на глаз так, чтобы она как можно ближе

проходила около средних значений $\bar{x}$ и $\bar{y}$ при условии, что x нанесено по горизонтали, а y – по вертикали.

П.5.1.6 Наиболее удовлетворительным способом получения наилучшей для целей прогноза прямой является способ наименьших квадратов, с помощью которого определяются коэффициенты в линейном уравнении (П30). Подобранную с помощью метода наименьших квадратов прямую называют линией регрессии. Согласно определению, сумма квадратов отклонений отдельных величин y от значений, которые предсказываются с помощью линии регресс, является минимальной.

П.5.1.7 Применяемые в морских гидрологических прогнозах статистические связи являются приближенными, они характеризуются типом, теснотой, реальностью и устойчивостью во времени.

П.5.1.7.1 Тип связи характеризует степень изменения функции при изменении аргумента. По данному признаку статистические связи подразделяются на линейные и нелинейные (рисунок П.9).

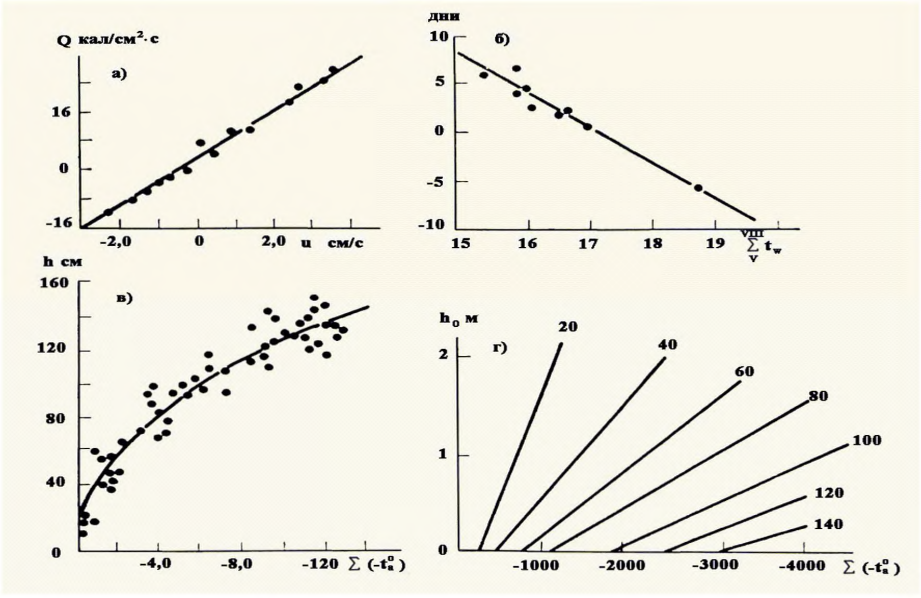

Рисунок П.9 – Примеры корреляционных зависимостей: а) прямолинейная связь между скоростью течения u и адвекцией тепла Q ($r > 0$); *б)* обратная связь между средними отклонениями от нормы (дни) сроков осенних ледовых фаз и теплосодержанием ($r < 0$); *в)* нелинейная связь между толщиной льда h и суммой отрицательных температур воздуха; *г*) корреляционная связь между тремя переменными (числа у изолиний – прирост льда в см).

П.5.1.7.2 Теснота связи обычно оценивается коэффициентом корреляции r, реальность связи удобно определять по соотношению коэффициента корреляции и его вероятного отклонения E_r.

П.5.1.7.3 Необходимой характеристикой любой прогностической зависимости следует считать устойчивость во времени, под которой понимают изменение тесноты и реальности связи при изменении продолжительности ряда наблюдений.

П.5.1.8 Наиболее простым видом связи между переменными является функциональная зависимость, когда каждому значению одной величины x соответствует вполне определенное значение другой величины y.

П.5.1.9 При исследовании связей между физическими явлениями в море на основе натурных наблюдений чаще приходится иметь дело не с функциональными зависимостями, а с корреляционными. В этом случае каждому значению одной величины соответствует множество возможных значений другой величины. Разброс этих возможных значений носит случайный характер и объясняется, с одной стороны, неточностью наблюдений, а с другой – не учетом большого числа влияющих второстепенных факторов.

П.5.1.10 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 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, которые затем нанести на график. Затем по нанесенным точкам плавно проводится линия связи.

Р.5.1.11 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 график построен правильно; в противном случае его необходимо

уточнить, путем подключения второстепенных неучтенных факторов и построить новый график связи.

Обычно проверка прогностической связи производится не на том ряде наблюдений, на основании которых построена связь, а на независимом ряде. Поэтому при построении прогностических зависимостей используют не весь имеющийся ряд наблюдений, а только часть его с тем, чтобы полученную связь можно было проверить на наблюдениях, не вошедших в ряд наблюдений, использованных для построения прогностической зависимости. Это делается для того, чтобы оценить устойчивость связи во времени.

После того, как полученная зависимость удовлетворяет исследователя, он находит количественное или аналитическое выражение этой связи, т.е. определяет количественную характеристику тесноты связи – коэффициент корреляции и вид уравнения.

П.5.1.12 Меру зависимости между величинами при линейной регрессии характеризует безразмерный коэффициент корреляции r, который по абсолютной величине не превосходит единицы:

$$|r| \le 1.$$

П.5.1.12.1 Коэффициент корреляции характеризует меру уклонения корреляционной связи от линей функциональной связи. Он может иметь значения от минус 1 до плюс 1. Значения минус 1 и плюс 1 будут в случае точной линейной функциональной зависимости между величинами. При $r = 0$ связь отсутствует в том смысле, что среднее значение каждой величины не зависит от значений другой величины. Коэффициент корреляции есть число отвлеченное, не зависящее ни от начала отсчета u и v, ни от единиц измерения.

П.5.1.12.2 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.

П.5.1.12.3 Методы линейной корреляции применимы только в тех случаях, когда связь между величинами x и y линейна, т.е. представляет прямую линию. При нелинейной связи применяют другие методы.

П.5.1.12.4 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 регрессии. На рисунке П.10 изображены две линии регрессии, уравнения которых имеют вид

$$y = a_1 x + b_1 , \qquad (П.31)$$
$$x = a_2 y + b_2 .$$

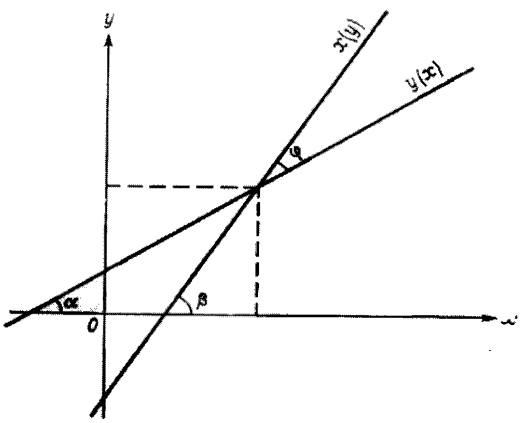

Рисунок П.10 – Прямые регрессии $x(y)$ и $y(x)$.

Направления этих прямых определяются коэффициентами регрессии:

$$a_1 = tg\alpha ; \quad a_2 = tg\beta .$$

П.5.1.12.5 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 линиями будет равен нулю. По величине угла φ можно судить о тесноте связи между x и y: при увеличении угла φ, связь ухудшается, а при уменьшении угла φ связь приближается к функциональной.

При совпадении прямых линий $x(y)$ и $y(x)$, т.е. φ=0:

$$tg\alpha \cdot tg\beta = 1 .$$

При отсутствии связи между величинами x и y:

$$tg\alpha \cdot tg\beta = 0 .$$

Коэффициент корреляции r служит мерой тесноты связи:

$$r = \sqrt{tg\alpha \cdot tg\beta} . \qquad (П.32)$$

Так как $a_1 = tg\alpha$, $a_2 = tg\beta$, то

$$r = \sqrt{a_1 \cdot a_2} . \qquad (П.33)$$

П.5.1.13 **Оценка достоверности и значимости коэффициента корреляции**

П.5.1.13.1 Рассмотрим способы оценки коэффициентов корреляции в случаях, когда коэффициент корреляции маленький ($|r| < 0{,}3$–$0{,}4$), а ряд большой ($n > 30$–40). Для этого используется следующая формула

$$\sigma_r = (1 - r^2)/\sqrt{n} . \qquad (П.34)$$

Отсюда видно, что чем больше значения r и n, тем меньше ошибка коэффициента корреляции.

Если $|r|/\sigma_r > 3$, то можно уверенно утверждать, что искомый коэффициент корреляции надежен и достоверно отражает связь между переменными.

П.5.1.13.2 Для оценки генерального коэффициента корреляции строятся доверительные интервалы на основе t – статистики Стьюдента

$$r - t_{кр}\sigma_к \langle r \langle r + t_{кр}\sigma_к , \qquad (П.35)$$

где $t_{кр}$ – критерий Стьюдента при уровне значимости $\alpha = 0{,}05$ и числе степеней свободы $\nu = n - 2$.

П.5.1.13.3 Оценка значимости коэффициента корреляции осуществляется на основе нулевой гипотезы, которая в этом случае выбирается относительно проверки r на равенство нулю, т.е. H_o: $|r| = 0$ при H_1: $|r| \neq 0$. Коэффициент корреляции считается значимым, если он отличается от нуля неслучайным образом, т.е. его величина существенно выше (прямая связь) или ниже (обратная связь) нуля. Для проверки нулевой гипотезы используется критерий Стьюдента в виде $t = |r|\sqrt{n-2}/\sqrt{1-r^2}$. Затем осуществляется проверка неравенства $t \rangle t_{кр}(\alpha, \nu = n - 2)$. Если данное неравенство

выполняется, то нулевая гипотеза отвергается и делается вывод, что коэффициент корреляции значим. Если же оно не выполняется, то есть основания полагать, что коэффициент корреляции незначим, т.е. отклоняется от нуля случайным образом.

П.5.1.13.4 В том случае, если распределение коэффициентов корреляции является резко асимметричным, т.е. когда коэффициент корреляции большой ($|r| \rangle 0{,}3-0{,}4$), а ряд маленький ($n \langle 30-40$) точность коэффициента корреляции оценивается с помощью преобразования Фишера, основанного на использовании специальной переменной z, функционально связанной с r следующим выражением

$$z = 0{,}5\ln(1=r)/(1-r). \qquad \text{(П.36)}$$

Значения величины z для значений коэффициентов корреляции r от 0,00 до 0,99 приведены в таблице П.8.

Таблица П.8 – Значения величины z для значений коэффициентов корреляции r

r	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,000	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050	0,060	0,070	0,080	0,090
0,1	0,100	0,110	0,121	0,131	0,141	0,151	0,161	0,172	0,182	0,192
0,2	0,203	0,213	0,224	0,234	0,245	0,255	0,266	0,277	0,288	0,299
0,3	0,309	0,321	0,332	0,343	0,354	0,365	0,377	0,388	0,400	0,412
0,4	0,424	0,436	0,448	0,460	0,472	0,485	0,497	0,510	0,523	0,536
0,5	0,549	0,563	0,576	0,590	0,604	0,618	0,633	0,647	0,662	0,678
0,6	0,693	0,709	0,725	0,741	0,758	0,775	0,793	0,811	0,829	0,848
0,7	0,867	0,887	0,908	0,929	0,950	1,973	0,996	1,020	1,045	1,071
0,8	1,099	1,127	1,157	1,188	1,221	1,256	1,293	1,333	1,376	1,422
0,9	1,472	1,527	1,589	1,658	1,738	1,832	1,946	2,092	2,298	2,647

П.5.2 Построение уравнений регрессии и оценка их надежности

П.5.2.1 Выбор предикторов

П.5.2.1.1 Построению прогностического уравнения регрессии предшествует процедура отбора наиболее информативных предикторов из числа предварительно выбранных предикторов, исходя из общих физических соображений. От удачного выбора предикторов часто зависит надежность построенной связи. Поэтому выбор оптимального количества предикторов важен при построении корреляционных связей. Часто излишне большое число предикторов не улучшает качество метода, а только увеличивает объем вычислений.

Основная цель выбора предикторов (аргументов) – как можно полнее описать те свойства гидрометеорологических процессов, которые несут информацию о будущем значении функции предиктанта. Сама эта информация выражается посредством уравнения регрессии, построенного по данным выборки.

П.5.2.1.2 Всякий раз, когда это возможно, предикторы следует выбирать на основании физических соображений. Однако только одних физических соображений для выбора предикторов бывает недостаточно.

П.5.2.1.3 Выбор наилучших предикторов зависит от разрабатываемого метода. Для каждого предиктанта, возможно, существуют свои наилучшие предикторы. Например, известно, что изменения температуры воды поверхностного и деятельного слоев, образования льда в море, а также таяние ледяного покрова являются следствием непостоянства теплового баланса. Однако прогнозист не всегда располагает данными о составляющих теплового баланса. В этом случае для прогноза этих процессов, используется некоторый параметр, косвенно связанный с тепловым балансом. В качестве такого параметра часто используется сумма положительных или отрицательных температур воздуха, а адвекция тепла течениями учитывается косвенно с помощью количественных характеристик, характеризующих атмосферную циркуляцию.

П.5.2.1.4 Другой важный вопрос возникает при определении числа предикторов. Трудно установить оптимальное число предикторов. Оно зависит как от характеристик переменной, так и от характера взаимосвязи, которую необходимо установить. Компьютерные программы сильно упрощают эту задачу. Они позволяют по специальной методике перебрать большое количество комбинаций различных предикторов и выбрать среди них наиболее оптимальный вариант.

Число предикторов должно быть намного меньше длины ряда наблюдений. Насколько именно меньше, зависит от сложности метода прогноза. Если прогноз дается с помощью линейных уравнений, то может быть использовано сравнительно большое количество предикторов. Число предикторов в уравнении регрессии ориентировочно должно составлять 0,1–0,2 от объема выборки. Обычно число предикторов в уравнении регрессии не должно превосходить десяти. О числе предикторов можно судить по изолиниям, представляющим собой графическое изображение уравнения регрессии. Чем проще конфигурация изолиний, тем большее число предикторов можно использовать.

П.5.2.1.5 Выбор наиболее информативных предикторов осуществляется способом «просеивания» с помощью метода пошаговой линейной множественной корреляции. Процедура представляет собой стандартное просеивание по максимуму прироста множественного коэффициента корреляции.

П.5.2.1.5.1 На первом шаге строится уравнение регрессии со всеми предикторами и выбирается предиктор, которому соответствует наибольший общий (сводный) коэффициент корреляции. На втором шаге проводится полный перебор всех предикторов из числа оставшихся после первого шага и выбирается второй предиктор, которому соответствует наибольший общий коэффициент корреляции.

П.5.2.1.5.2 Для окончательного принятия решения о включении очередного предиктора в уравнении регрессии или об ограничении числа предикторов можно использовать показатель

$$F_k = \frac{R_k^2 - R_{k-1}^2}{1 - R_k^2} \cdot (n - k - 1), \qquad (П.37)$$

где n – объем выборки, по которой оценивается корреляция всех предикторов с предиктантом;

k – число ранее отобранных предикторов;

R_k^2, R_{k-1}^2 – соответственно квадрат множественного коэффициента корреляции при учете (k) и $(k-1)$-го предикторов.

Эта процедура прекращается, если прирост коэффициента корреляции на очередном шаге будет минимальным.

П.5.2.1.6 Отбор наиболее информативных предикторов также удобно произвести с помощью построения ковариационной матрицы.

П.5.2.2 Нахождение уравнений связи по способу наименьших квадратов

П.5.2.2.1 Аналитическим выражением статистической связи служит уравнение регрессии вида (П30). Метод наименьших квадратов является наиболее приемлемым для этой цели. Многие задачи гидрометеорологии, в которых применяется метод наименьших квадратов, заключается в определении коэффициентов линейного уравнения регрессии вида

$$y = a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i + b. \qquad (П.38)$$

Выражение (П.38) есть функция неизвестных параметров a и b.

П.5.2.2.2 Для оценки параметров a и b применяется метод наименьших квадратов, согласно которому отклонения фактически измеренных величин от рассчитанных по уравнению регрессии будут стремиться к минимуму, т.е.

$$S = \sum_{i=1}^{n} (y_i - ax_i - b)^2 \to \min . \qquad (П.39)$$

Чтобы значение суммы в (П.39) достигло минимума, параметры a и b нужно определить из системы уравнений, приравняв к нулю частные производные по переменным a и b от суммы (П.39). В результате указанных действий для определения параметров a и b получим систему из двух уравнений

$$a\sum_{i=1}^{n} x_i + b = \sum_{i=1}^{n} y_i , \qquad (П.40)$$

$$a\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + b\sum_{i=1}^{n} x_i = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i , \qquad (П.41)$$

где суммы берутся по всем членам выборки.

Решая эту систему уравнений относительно a и b, находим

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i y_i - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y})}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2}, \qquad (П.42)$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x} . \qquad (П.43)$$

Параметр a называется коэффициентом регрессии, его можно привести к виду

$$a = r \cdot \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_x} \right), \qquad (П.44)$$

где r – коэффициент корреляции между переменными x и y, который можно вычислить по формуле

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2}} . \qquad (П.45)$$

П.5.2.2.3 В результате уравнение регрессии запишется в виде

$$y - \bar{y} = r \cdot \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_x} \right) \cdot (x - \bar{x}), \qquad (П.46)$$

где $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$; $\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n}$; $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta x_i^2}{n}}$; $\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta y_i^2}{n}}$.

П.5.2.2.4 Средние ошибки уравнений регрессии вычисляются по формуле

$$\bar{\delta} = \sigma_u \cdot \sqrt{1 - r^2} . \qquad (П.47)$$

Чем ближе $|r|$ к единице, тем меньше средняя погрешность уравнения регрессии. В таблице П.9 приведен порядок расчета параметров уравнения регрессии.

Таблица П.9

Порядковый номер	y_i	x_i	Δy_i	Δx_i	Δy_i^2	Δx_i^2	$\Delta x_i \cdot \Delta y_i$	Проверка	
								$\Delta x_i + \Delta y_i$	$(\Delta x_i + \Delta y_i)^2$
1	y_1	x_1	Δy_1	Δx_1	Δy_1^2	Δx_1^2	$\Delta x_1 \cdot \Delta y_1$	$\Delta x_1 + \Delta y_1$	$(\Delta x_1 + \Delta y_1)^2$
2	y_2	x_2	Δy_2	Δx_2	Δy_2^2	Δx_2^2	$\Delta x_2 \cdot \Delta y_2$	$\Delta x_2 + \Delta y_2$	$(\Delta x_2 + \Delta y_2)^2$
…	…	…	…	…	…	…	….	….	…..
n	y_n	x_n	Δy_n	Δx_n	Δy_n^2	Δx_n^2	$\Delta x_n \cdot \Delta y_n$	$\Delta x_n + \Delta y_n$	$(\Delta x_n + \Delta y_n)^2$
Σ	Σ_2	Σ_3			Σ_6	Σ_7	Σ_8		Σ_{10}

П.5.2.2.5 Пользуясь графическими способами, предварительно устанавливают характер связи и в зависимости от этого выбирают приемы вычислений. В случае линейной связи двух переменных по имеющимся рядам наблюдений величин y и x составляется таблица П.9, по данным которой вычисляются основные параметры: средние $(\bar{x}, \bar{y})$, среднеквадратичные отклонения (σ_x, σ_y) и коэффициент корреляции.

Для вычисления указанных параметров используются известные формулы

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n};\ \bar{y} = \frac{\sum y_i}{n};\ \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum \Delta x^2}{n}};\ \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum \Delta y^2}{n}};\ r_{xy} = \frac{\sum \Delta x \Delta y}{\sigma_x \sigma_y n};\quad E = \pm 0{,}67 \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}},$$

где E – вероятное отклонение r. Значение r меняется от 0 до 1.

П.5.2.2.6 Более упрощенный порядок расчета параметров уравнения регрессии для двух переменных (с вычислением отклонений от нормы) приведен в таблице П.10.

Таблица П.10

Порядковый номер	x_i	y_i	$\Delta x = x - \bar{x}$	$\Delta y = y - \bar{y}$	Δx_i^2	Δy_i^2	$\Delta x_i \cdot \Delta y_i$
1	x_1	y_1	Δx_1	Δy_1	Δx_1^2	Δy_1^2	$\Delta x_1 \cdot \Delta y_1$
2	x_2	y_2	Δx_2	Δy_2	Δx_2^2	Δy_2^2	$\Delta x_2 \cdot \Delta y_2$
…	…	…	…	…	…	…	….
n	x_n	y_n	Δx_n	Δy_n	Δx_n^2	Δy_n^2	$\Delta x_n \cdot \Delta y_n$
Сумма	$\sum x_i$	$\sum y_i$	0	0	$\sum \Delta x^2$	$\sum \Delta y^2$	
Среднее	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$	$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$	–	–	$\frac{\sum \Delta x^2}{n}$	$\frac{\sum \Delta y^2}{n}$	

Далее рассчитывают среднее квадратичное отклонение σ_x и σ_y и коэффициент корреляции r_{xy}.

П.5.2.3 Множественная корреляция

П.5.2.3.1 Если найденное уравнение для двух переменных оказалось ненадежным, то в этом случае находится дополнительный влияющий фактор z и анализируется зависимость вида

$$y = ax + bz + c\,. \qquad (П.48)$$

П.5.2.3.2 Для определения степени связности трех переменных и нахождения коэффициентов уравнения a, b, c составляется корреляционная таблица для трех переменных и определяются основные параметры

$$\bar{y},\ \bar{x},\ \bar{z};$$
$$\sigma_y,\ \sigma_x,\ \sigma_z;$$
$$r_{yx},\ r_{yz},\ r_{xz}.$$

Коэффициенты корреляции между функцией и аргументирующими факторами (r_{yx}, r_{yz}) носят названия главных коэффициентов.

П.5.2.3.2.1 Средние, средние квадратичные отклонения и частные коэффициенты корреляции вычисляются по формулам

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^{n} \frac{y_i}{n}\ ;\quad \bar{x} = \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{n}\ ;\quad \bar{z} = \sum_{i=1}^{n} \frac{z_i}{n}; \qquad (П.49)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta x_i^2}{n}};\quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta y_i^2}{n}};\quad \sigma_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta z_i^2}{n}}\,. \qquad (П.50)$$

$$r_{yz} = \sum \frac{\Delta y \cdot \Delta z}{\sigma_y \cdot \sigma_z \cdot n};\ r_{yx} = \sum \frac{\Delta y \cdot \Delta x}{\sigma_y \cdot \sigma_x \cdot n};\ r_{xz} = \sum \frac{\Delta x \cdot \Delta z}{\sigma_x \cdot \sigma_z \cdot n}\,.$$

П.5.2.3.2.2 Общий коэффициент корреляции рассчитывается по формуле

$$R = \sqrt{\frac{r_{yz}^2 + r_{yx}^2 - 2 \cdot r_{yx} \cdot r_{xz} \cdot r_{yz}}{1 - r_{xz}^2}}\,, \qquad (П.51)$$

а его вероятное отклонение по формуле

$$E = \pm \frac{0{,}67 \cdot (1 - R^2)}{\sqrt{n}}\,. \qquad (П.52)$$

П.5.2.3.2.3 Множественный коэффициент корреляции R по своему численному значению не может быть меньше наибольшего из значений частных коэффициентов корреляции. Эффективность связи трех переменных определяется близостью множественного коэффициента корреляции к единице. Если $R \geq 0{,}80$, то связь между тремя переменными достаточно надежная.

П.5.2.3.2.4 При $R > r_{макс}$ находится уравнение регрессии вида

$$y - \bar{y} = a \cdot (x - \bar{x}) + b \cdot (z - \bar{z}) + c, \qquad (П.53)$$

где $a = \left[\frac{r_{xy} - r_{yz}r_{xz}}{1 - r_{xz}^2}\right] \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$; $b = \left[\frac{r_{yz} - r_{yx}r_{xz}}{1 - r_{xz}^2}\right] \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_z}$.

П.5.2.3.2.5 Квадратичное отклонение данного уравнения вычисляется по формуле

$$\sigma = \sigma_y \cdot \sqrt{1 - R^2}\,. \qquad (П.54)$$

П.5.2.3.2.6 В таблице П.10 показан порядок расчета коэффициента корреляции для трех переменных: в ней находится связь между средней за зиму (декабрь–май) ледовитостью Охотского моря (y), аномалиями атмосферного давления за январь–февраль (x) и июль предшествующего года (z).

Далее с учетом формул (П.49)–(П.52) получаем:

$\sigma_y = \sqrt{1156/26} = 6{,}67$;

$\sigma_x = \sqrt{6159/26} = 15{,}39$;

$\sigma_z = \sqrt{169/26} = 2{,}55$;

$r_{yx} = -14{,}66/(26 \times 6{,}67 \times 15{,}39) = -0{,}55$;

$r_{yz} = 261/(26 \times 6{,}67 \times 2{,}55) = 0{,}59$;

$r_{xz} = -86/(26 \times 15{,}39 \times 2{,}55) = -0{,}08$;

$$R = \sqrt{\frac{(-0{,}55)^2 + (0{,}59)^2 - 2 \cdot (-0{,}55 \times 0{,}59 \times (-0{,}08))}{1 - (0{,}08)^2}} = 0{,}78.$$

Значения коэффициентов уравнения регрессии по результатам таблицы П.10 будут равны:

$a = (6{,}67/15{,}39) \times [0{,}55 - (0{,}59 - 0{,}08)]/0{,}9936 = -0{,}22$;

$b = 2{,}62 \times (0{,}59 - 0{,}04)/0/9936 = 1{,}45$.

Тогда окончательный вид уравнения регрессии получается следующим образом:

$y - 53 = -0{,}22(x + 5) + 1{,}45(z + 2)$; $y = -0{,}22x + 1{,}45z + 54{,}8$.

Таблица П.10 – Схема расчета коэффициента корреляции для трех переменных

Годы	y	x	z	Δy	Δx	Δz	$\Delta y \cdot \Delta x$	$\Delta y \cdot \Delta z$	$\Delta x \cdot \Delta z$	Δy^2	Δx^2	Δz^2	$\sum \Delta$	$\sum \Delta^2$	$y_в$	Погреш-ность
1946	54	–38	–7	1	–33	–5	–33	–5	165	1	1089	25	–37	1369	53	1
1947	60	–9	–3	7	–4	–1	–28	–7	4	49	16	1	2	4	52	8
1948	46	18	–1	–7	23	1	–161	–7	23	49	529	1	17	289	49	–3
1949	61	–11	–1	8	-6	1	–48	8	–6	64	36	1	3	8	56	5
1950	63	11	0	10	16	2	160	20	32	100	256	4	28	784	52	11
1951	59	–19	1	6	–14	3	–84	18	–42	36	196	9	–5	25	58	1
1952	43	7	–4	–10	12	–2	–120	20	–24	100	144	4	0	0	47	–4
1953	54	–7	–3	1	–2	–1	–2	–1	2	1	4	1	–2	4	52	2
1954	53	3	1	0	8	3	0	0	24	0	64	9	11	121	54	–1
1955	46	–9	–3	–7	–4	–1	28	7	4	49	16	1	–12	144	52	-6
1956	41	8	–4	–12	13	–2	–156	24	–26	144	169	4	–1	1	47	-6
1957	42	13	–7	–11	18	–5	–198	55	–90	121	324	25	2	4	42	0
1958	53	–20	–5	0	–15	–3	0	0	45	0	225	9	–18	324	52	1
1959	61	–11	0	8	–6	2	–48	16	–12	64	36	4	4	16	57	4
1960	60	–46	–1	7	–41	1	–287	7	–41	49	1681	1	–33	1089	64	–4
1961	59	–8	0	6	–3	2	–18	12	–6	36	9	4	5	25	57	2
1962	47	0	–2	–6	5	0	–30	0	0	36	25	0	–1	1	52	–5
1963	45	–2	–4	–8	3	–2	–24	16	–6	64	9	4	–7	49	49	–4
1964	48	14	–3	–5	19	–1	–95	5	–19	25	361	1	13	169	47	1
1965	48	20	–3	–5	25	–1	–125	5	–25	25	625	1	19	361	46	2
1966	54	–11	–3	1	–6	–1	-6	–1	6	1	36	1	–6	36	53	1
1967	64	–21	3	11	–16	5	–176	55	–80	121	256	25	0	0	64	0
1968	49	–1	–6	–4	4	–4	–16	16	–16	16	16	16	–4	16	46	3
1969	55	–5	–1	2	0	1	0	2	0	4	0	1	3	9	54	1
1970	53	–11	–3	0	–6	–1	0	0	6	0	36	1	–7	49	53	0
1971	52	-6	2	–1	–1	4	1	–4	–4	1	1	16	2	4	59	–7
Σ	1370	–141	–57				–1466	261	–86	1156	6159			4902		
N =22																
Среднее	53	-5	-2													

П.5.2.3.3 Другой способ определения коэффициента корреляции состоит в вычислении ковариации $\mathrm{cov}(x, y)$ величин x и y по формуле

$$\mathrm{cov}(x, y) = \frac{\sum n_{xy}(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n}, \qquad (П.55)$$

где n_{xy} – повторяемость каждой пары значений x и y.

В этом случае коэффициент корреляции равен

$$r = \frac{\mathrm{cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y}. \qquad (П.56)$$

Ковариацию можно вычислить по более удобной формуле

$$\mathrm{cov}(x, y) = \frac{\sum n_{xy} xy}{n} - \overline{xy}. \qquad (П.57)$$

Используя эту формулу, можно вычислить среднеквадратичные отклонения σ_x и σ_y по формулам

$$\sigma_x = \left(\frac{\sum n_x x^2}{n} - \bar{x}^2 \right)^{0,5}, \qquad (П.58)$$

$$\sigma_y = \left(\frac{\sum m_y y^2}{n} - \bar{y}^2 \right)^{0,5}, \qquad (П.59)$$

где n_x и m_y – частоты соответствующих значений x и y.

П.5.2.4 Оценка надежности уравнения регрессии

П.5.2.4.1 На основе результатов вычислений по выше приведенным формулам решается вопрос о целесообразности дальнейших вычислений. Первоначально определяется надежность связи.

Связь считается достаточно надежной, если коэффициент корреляции достаточно велик ($|r \geq 0{,}80|$ и, кроме того, если он не менее чем в 6–10 раз больше своего вероятного отклонения $E(r / E \geq 6)$.

Необходимость вычисления критерия надежности обусловлена тем, что не всегда высокий коэффициент корреляции является показателем надежности корреляционной связи. Так при коротких рядах наблюдений высокий коэффициент корреляции иногда является лишь результатом случайного совпадения. Ряд считается достаточно длинным,

если вероятное отклонение E, являющееся функцией числа наблюдений, достаточно мало, т.е. $r / E \geq 10$. Если это неравенство не соблюдается, то ряд необходимо увеличить.

Как известно, корреляционные связи надежно работают относительно короткое время в силу их эмпиричности, т.е. они неустойчивы во времени. Существует два способа проверки устойчивости связи. Первый способ заключается в следующем. Весь ряд наблюдений разбивается на две примерно равные части и для каждой из них отдельно вычисляют коэффициенты корреляции (r_1 и r_2) и соответствующие вероятные отклонения E_1 и E_2. Если модальная разность между коэффициентами корреляции не превосходит суммы их вероятных ошибок, т.е. если выполняется соотношение

$$|r_1 - r_2| \leq E_1 + E_2,$$

то связь устойчива.

Второй способ проверки надежности связи заключается в сравнении коэффициентов корреляции двух частей исходного ряда с коэффициентом корреляции всего ряда. Если их значения и не выходят за пределы значений коэффициента корреляции всего ряда, то связь считается устойчивой.

П.5.2.4.2 Мерой точности корреляционной связи является средняя квадратичная ошибка, часто называемой стандартной ошибкой. Средняя квадратичная ошибка вычисляется по тем же данным, на основании которых установлена сама корреляционная связь по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \delta_i^2}{n}}, \qquad (П.60)$$

где δ_i – отклонение эмпирических точек от линии связи.

Вычисленная по формуле (П.60) стандартная ошибка характеризуется дисперсией эмпирических точек относительно линии или кривой связи в целом для данной выборки. Эта ошибка одновременно может служить и мерой точности предвычисленных значений функции по заданным значениям аргумента (аргументов). Однако такой мерой она может служить лишь в том случае, когда определенно известно, что любые новые исходные значения независимой переменной принадлежат к той же генеральной совокупности, для которой справедлива эмпирическая связь, т.е. вполне сравнимы с ранее использованными данными.

Полученная на основании ограниченной выборки стандартная ошибка S отличается от истинного ее значения для всей генеральной совокупности и тем больше, чем меньше объем выборки. Значение средней стандартной ошибки вычисляется по формуле

$$\overline{S} = S\sqrt{\frac{n}{n-m}}\ , \qquad (П.61)$$

где m – число, зависящее от вида уравнения регрессии и равное количеству постоянных величин в нем.

Для линейного уравнения вида $y = ax + b$ число m равно двум. В случае нелинейной зависимости m равно числу констант в уравнении связи (если последнее задано), а при графическом построении кривой, равным числу постоянных такого математического уравнения, которому близка по виду кривая связи.

Увеличение количества переменных в линейном уравнении (П.48) ведет к повышению вероятности значительных изменений постоянных эмпирических коэффициентов по мере увеличения количества членов вариационных рядов.

Достоверность постоянных эмпирических коэффициентов обратно пропорциональна относительному количеству переменных. Так, если количество определяющих факторов равно количеству членов вариационных рядов, достоверность эмпирических коэффициентов приближается к нулю.

П.5.2.4.3 Распределение отклонений эмпирических точек от прямой или кривой линии связи, установленной по способу наименьших квадратов, является, как правило, близким к нормальному распределению. Поэтому при рассмотрении вопросов точности корреляционных связей и точности расчетов по ним исходят из нормального распределения ошибок.

Исходной величиной для определения ошибок различной вероятности является при этом средняя квадратичная ошибка, вычисляемая по формуле (П.57) на основании эмпирических данных. Обеспеченность различных по величине ошибок, выраженных в долях средней квадратичной ошибки, определяется из таблицы интеграла вероятности Гаусса. Ошибку, равную ±0,674, принято называть вероятной ошибкой. Погрешность прогнозов зависит от изменчивости самого гидрологического явления или величины. Иногда погрешность прогноза выражается в процентном отношении от средней квадратичной ошибки, называемой относительной ошибкой прогноза.

П.5.2.4.4 Степень взаимосвязи между двумя или несколькими статистическими переменными можно охарактеризовать различными показателями. Наиболее простой и то же время универсальной мерой взаимосвязи является корреляционное отношение:

$$\rho = \sqrt{1 - \frac{S^2}{\sigma_x^2}} \quad . \qquad (П.62)$$

Для линейных зависимостей корреляционное отношение численно совпадает с коэффициентом корреляции ($\rho = r$).

П.5.2.4.5 Зная отношение S/σ_x и пользуясь формулой (П.62) или пользуясь графиком (рисунок П.11) легко определить величину индекса корреляции ρ.

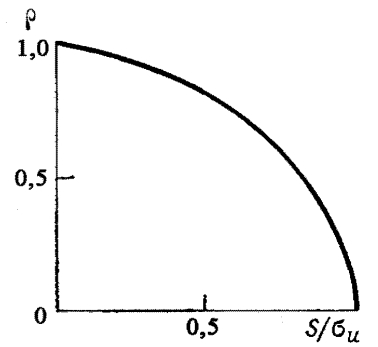

Рисунок П.11 – График связи между ρ и S/σ_x.

Этот график представляет собой четверть окружности с центром в начале координат и радиусом, равным единице.

П.5.2.4.6 Одно из преимуществ корреляционного отношения как меры связи заключается в том, что в его выражение в явном виде входят те величины, которые характеризуют, с одной стороны, природную вариацию переменной относительно нормы σ_x, а с другой – точность корреляционной зависимости S. Отношение этих величин характеризует тот выигрыш, который дает расчет перед природным распределением.

Другое преимущество корреляционного отношения заключается в том, что его легко вычислить для любых зависимостей, в том числе и для проводимых на глаз, не прибегая там, где к этому нет необходимости, к трудоемким расчетам уравнений регрессии. Это особенно важно в случаях нелинейных зависимостей.

П.5.2.4.7 Основные свойства корреляционного отношения ρ:

– корреляционное отношение всегда положительно ($0 \le \rho \le 1$);

– корреляционное отношение должно быть не менее численного значения соответствующего коэффициента корреляции;

– при $\rho = |r|$ зависимость линейна;

– если между y и x корреляционная связь отсутствует, то $\rho_y = 0$; если y связано с x однозначной связью, то $\rho_y = 1$ (связь между y и x называется однозначной, когда всякому значению x соответствует определенное значение y);

– чем ближе ρ к единице, тем корреляционная связь y с x теснее; чем ближе ρ к нулю, тем эта связь слабее.

П.5.2.4.8 Корреляционное отношение оценивается при помощи приближенного значения его среднего квадратичного отклонения

$$\sigma_{\rho_y} = \frac{1 - n_y^2}{\sqrt{n-1}}. \qquad (П.63)$$

Надежность определения коэффициента корреляции и индекса корреляции характеризуется вероятной ошибкой. Она зависит от самого коэффициента корреляции или корреляционного отношения и от длины исходного ряда наблюдений.

Вероятная ошибка коэффициента корреляции r для линейных зависимостей вычисляется по формуле

$$E_r = \pm 0{,}674 \frac{1 - r^2}{\sqrt{n-1}}. \qquad (П.64)$$

Для определения вероятной ошибки общего коэффициента множественной корреляции R используется формула

$$E_r = \pm 0{,}674 \frac{1 - R^2}{\sqrt{n-1}}. \qquad (П65)$$

При этом обеспеченность непревышения вероятной ошибки равна 50 %. Для определения других значений обеспеченностей в формулах (П.64) и (П.65) вместо величины 0,674 необходимо подставить соответствующее значение k_P, взятое из таблицы П.5.

Надежность уравнения регрессии или положения графически проведенной прямой связи зависит от того, с какой ошибкой определяется этот коэффициент. Вероятная ошибка определения углового коэффициента вычисляется по формуле

$$E_P = \pm 0{,}674 \frac{\overline{S}}{\sigma_x \sqrt{n}}. \qquad (П.66)$$

Вероятная ошибка положений прямой регрессии в любой заданной части корреляционного поля определяется по формуле

$$\sigma_{y'} = 0{,}674\frac{\overline{S}}{\sqrt{n}}\cdot\sqrt{1+\left(\frac{x-\overline{x}}{\sigma_x}\right)^2}\,. \qquad (П.67)$$

П.5.2.4.9 Формула (П.67) позволяет вычислить границы, в которых с вероятностью 50 % находится истинная линия связи.

Как видно из формулы (П.67) и рисунка П.12, точность определения положения линии связи уменьшается по мере увеличения отклонения от нормы.

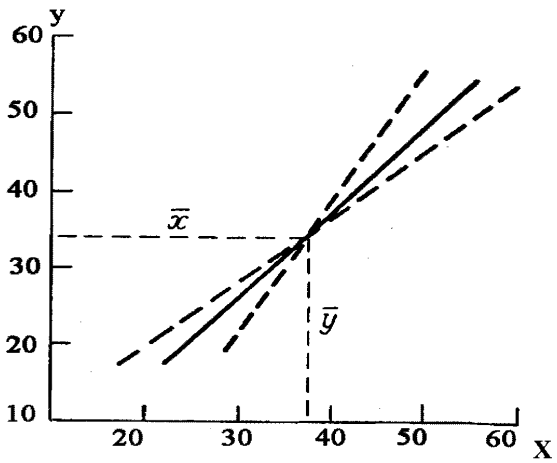

Рисунок П.12 – Корреляционная зависимость с указанием диапазона, в котором лежит истинная прямая регрессии с вероятностью 0,68.

П.5.2.5 Расчет постоянных эмпирических коэффициентов для линейной корреляции со многими переменными

П.5.2.5.1 Расчет постоянных эмпирических коэффициентов осуществляется пошагово.

П.5.2.5.2. Составляется таблица исходных данных (таблица П.11).

П.5.2.5.3. Подсчитывается сумма значений членов каждого вариационного ряда и определяется среднее арифметическое значение.

Таблица П.11

Год	Значения исходных данных				
	u	x	y	z	$u+x+y+z$
1943	70,5	–12,1	4,5	36	123,1
1944	18,6	–15,0	–19,6	27	11,0
1945	41,4	–1,8	–13,6	25	51,0

1946	38,3	–4,0	–8,3	11	37,0
1947	52,1	14,5	–23,7	44	86,9
1948	18,8	–3,3	–16,6	26	24,9
1949	43,9	1,4	–11,0	24	58,3
1950	26,9	–1,5	–15,7	18	27,7
1951	20,4	–3,0	–22,1	22	17,3
1952	40,8	4,9	–13,2	10	42,5
1953	25,7	8,9	–21,6	12	25,0
1954	39,4	7,4	–15,1	12	43,7
1955	68,3	22,8	–3,6	31	118,5
1956	68,5	18,9	–2,9	51	135,5
1957	45,6	–3,3	–16,7	39	64.6
1958	20,0	–3,5	–21,8	18	12.7
1959	36,0	–3,2	–8.7	7	31.1
1960	32,3	9,7	–11.2	7	37.8
Σ	707,5	62,0	–240,9	420	948.6
$\frac{1}{n}\Sigma$	39,3	3,4	–13,4	23,3	
Σ^2	32685,17	1787,50	4196,85	12660	75355.64
$\frac{1}{n}\Sigma^2$	1815,84	99,31	233,16	703,33	

П.5.2.5.4. Рассчитывается среднее квадратичное отклонение всех вариационных рядов по формуле

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n}\sum x^2 - \bar{x}^2}\ . \qquad (П.68)$$

П.5.2.5.5. Подсчитываются суммы произведений соответствующих членов двух вариационных рядов для всех возможных сочетаний их них.

П.5.2.5.6. На этом этапе вычислений имеется возможность проверить полученные результаты по формуле

$$\sum(u+x+y+z...)^2 = \sum u^2 + \sum x^2 + \sum y^2 + \sum z^2 + ...$$
$$+2\sum ux + 2\sum uy + 2\sum uz + ... + 2\sum xy + 2\sum xz + ... + 2\sum yz + ...$$

П.5.2.5.7. После проверки определяются средние значения сумм произведений соответствующих членов двух вариационных рядов для всех возможных сочетаний из них.

П.5.2.5.8. Расчет частных коэффициентов корреляции двух вариационных рядов для всех сочетаний из них производится по формуле

$$r = \frac{\frac{1}{n}\sum xy - \overline{xy}}{\sigma_x \sigma_y}, \qquad (П.69)$$

при этом расчет достаточно производить до четвертого знака после запятой.

П.5.2.5.9. Составляется система уравнений для расчета коэффициентов α, β, γ по формулам

$$\left.\begin{aligned} r_{ux} &= \alpha + \beta r_{yx} + \gamma r_{xz} + \ldots \\ r_{uy} &= \alpha r_{xy} + \beta + \gamma r_{yz} + \ldots \\ r_{uz} &= \alpha r_{xz} + \beta r_{yz} + \gamma + \ldots \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} \qquad \text{(I)}$$

Расчет коэффициентов α, β, γ осуществляется по схеме

	m	Σ	
$0{,}719 = \alpha + 0{,}4512\beta + 0{,}364\gamma$	–0,3641	1,0434	$\alpha = \frac{0{,}2990}{0{,}7135} = 0{,}4191$
$0{,}7566 = 0{,}4512\,\alpha + \beta + 0{,}1793\gamma$	–0,1793	0,8739	
$0{,}5853 = 0{,}3641\alpha + 0{,}1793\beta + \gamma$	–1,0000	0,9581	$\beta = \frac{0{,}6517 - 0{,}3859 - 0{,}4191}{0{,}9679} = 0{,}5062$
$0{,}55878 = 0{,}8674\alpha + 0{,}3859\beta$	–0,3987	0,6945 / 0,6946	$\gamma = 0{,}5853 - 0{,}3641 \cdot 0{,}4191 - 0{,}1793 \cdot 0{,}5062 = 0{,}3419$
$0{,}6517 = 0{,}3859\alpha + 0{,}9679\beta$	–1,0000	0,7021 / 0,7021	
$0{,}2990 = 0{,}7135\alpha$		0,4145 / 0,4146	

(II)

Расчет постоянных коэффициентов:

$$a = \alpha \frac{\sigma_u}{\sigma_x} = 0{,}4191 \cdot \frac{16 \cdot 47}{9{,}37} = 0{,}74;$$

$$b = \beta \frac{\sigma_u}{\sigma_y} = 0{,}5062 \cdot \frac{16 \cdot 47}{7{,}32} = 1{,}14;$$

$$c = \gamma \frac{\sigma_u}{\sigma_z} = 0{,}3419 \cdot \frac{16 \cdot 47}{12{,}67} = 0{,}44.u$$

Формирование уравнений:

$$u - \bar{u} = a(x - \bar{x}) + b(y - \bar{y}) + c(z - \bar{z});$$

$$u - 39{,}3 = 0{,}74(x - 3{,}4) + 1{,}14(y - 13{,}4) + 0{,}44(z - 23{,}3);$$

$$u = 0{,}74x + 1{,}14y + 0{,}44z + 41{,}9.$$

П.5.2.5.10. Справа от системы уравнений в столбце с индексом записывается для каждой строки алгебраическая сумма численных значений всех коэффициентов и свободного члена со знаком, соответствующим его переносу в правую часть.

П.5.2.5.11. В столбце с индексом m записывается для каждой строки множитель m, который определяется как взятое с обратным знаком частное от деления каждого численного коэффициента последнего столбца системы уравнений на коэффициент в этом же последнем столбце последней (нижней) строки. Таким образом, каждой строке уравнений соответствует свой множитель m.

П.5.2.5.12 Производится сокращение последнего члена в уравнении каждой строки следующим образом:

– индекс m первой строки умножается на свободный член в левой части последней строки;

– произведение индекса m первой строки и свободного члена последней строки алгебраически складывается со свободным членом в левой части первой строки;

– полученный результат записывается под исходной системой уравнений (I) как свободный член в левой части первой строки вновь формируемой системы уравнений (II);

– таким же образом поступают с численными коэффициентами при α: множитель m первой строки умножается на коэффициент при α в последней строке, и это произведение складывается с коэффициентом при α в первой строке, а результат записывается как численный коэффициент при α в правой части первой строки вновь формируемой системы уравнений (II);

– аналогично определяются новые численные значения при следующих коэффициентах вновь формируемой правой части первой строки преобразованной системы уравнений (II);

– естественно, что согласно определению множителя m и последующих операций с ним для последнего члена первой строки вновь полученный численный коэффициент должен быть равен нулю. Таким образом, происходит освобождение от одного члена;

П.5.2.5.13 После формирования первой строки новой системы уравнений производится проверка, которая состоит в следующем:

– коэффициент m первой строки умножается на значение суммы последней строки, и произведение алгебраически складывается со значением суммы первой строки;

– результат записывается в аналогичный столбец и индексом Σ для преобразованной системы уравнений (II) соответственно в первой строке над чертой. Под чертой записывается сумма численных значений всех коэффициентов и свободного члена со знаком, соответствующим его переносу в правую часть.

П.5.2.5.14 Эти величины (над и под чертой) должны совпадать, расхождения не должны превышать предела ошибок округления. Аналогичным образом формируются следующие строки преобразований системы уравнений (II):

– естественно, что при этом полностью исключается последняя строка исходной системы уравнений;

– далее, определив соответствующие множители m для каждой строки преобразованной системы уравнений (II), как взятое с обратным знаком частное от деления каждого численного коэффициента при последнем члене каждой строки на таковой в последней строке, и производя действия, изложенные в пунктах $а-3$, освобождаемся еще от одного столбца и одной строки;

– подобные преобразования производятся для приведения исходной системы уравнений (II) к одному уравнению с одним неизвестным α.

Из последнего уравнения с одним неизвестным определяется величина α.

П.5.2.5.15 Значения других коэффициентов определяют обратным ходом, используя при этом для расчетов уравнения с наибольшим численным значением при определяемом коэффициенте:

а) $\sigma_u = \sqrt{\frac{1}{n}\sum u^2 - \bar{u}^2} = \sqrt{1815{,}84 - 1544{,}49} = 16{,}47;$

$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n}\sum x^2 - \bar{x}^2} = \sqrt{99{,}37 - 11{,}56} = 9{,}37;$

$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{n}\sum y^2 - \bar{y}^2} = \sqrt{233{,}16 - 179{,}56} = 7{,}32;$

$\sigma_z = \sqrt{\frac{1}{n}\sum z^2 - \bar{z}^2} = \sqrt{703{,}33 - 542{,}89} = 12{,}67;$

$\sum ux = 4549{,}38;\ \sum xy = -263{,}23;\ \sum uy = -7836{,}79;$

$\sum xz = 2203{,}5;\ \sum uz = 18680{,}6;\ \sum yz = -5320{,}6;$

б) проверка:

$$\sum (u+x+y+z)^2 = \sum u^2 + \sum x^2 + \sum y^2 + \sum z^2 + 2\sum ux + 2\sum uy + 2\sum uz + 2\sum xy + 2\sum zx + 2\sum yz; 75355{,}64 = 75355{,}64;$$

$\frac{1}{n}\sum ux = 252{,}74;\ \frac{1}{n}\sum xy = -14{,}62;\ \frac{1}{n}\sum uy = -435{,}38;$

$\frac{1}{n}\sum xz = 122{,}42;\ \frac{1}{n}\sum uz = 1037{,}82;\ \frac{1}{n}\sum yz = -295{,}59;$

в) расчет коэффициентов корреляции:

$$r_{ux} = \frac{\frac{1}{n}\sum ux - \overline{ux}}{\sigma_u \sigma_x} = \frac{252{,}74 - 133{,}62}{16{,}47 \cdot 9{,}37} = 0{,}7719;$$

$$r_{uy} = \frac{\frac{1}{n}\sum uy - \overline{uy}}{\sigma_u \sigma_y} = \frac{-435{,}38 - 526{,}67}{16{,}47 \cdot 7{,}32} = 0{,}7566;$$

$$r_{uz} = \frac{\frac{1}{n}\sum uz - \overline{uz}}{\sigma_u \sigma_z} = \frac{1037{,}82 - 915{,}69}{16{,}47 \cdot 12{,}67} = 0{,}5853;$$

$$r_{xy} = \frac{\frac{1}{n}\sum xy - \overline{xy}}{\sigma_u \sigma_x} = \frac{-14{,}62 + 45{,}56}{9{,}37 \cdot 7{,}32} = 0{,}4512;$$

$$r_{xz} = \frac{\frac{1}{n}\sum xz - \overline{xz}}{\sigma_x \sigma_z} = \frac{122{,}46 - 79{,}22}{9{,}37 \cdot 12{,}67} = 0{,}3641;$$

$$r_{yz} = \frac{\frac{1}{n}\sum yz - \overline{yz}}{\sigma_y \sigma_z} = \frac{-295{,}59 + 312{,}22}{7{,}32 \cdot 12{,}67} = 0{,}1793.$$

После определения коэффициентов α, β, γ вычисляются постоянные эмпирические коэффициенты α, b, c в установленном типе зависимости

$$a = \alpha \frac{\sigma_u}{\sigma_x}; \qquad b = \beta \frac{\sigma_u}{\sigma_y}; \qquad c = \gamma \frac{\sigma_u}{\sigma_z}.$$

Затем составляется искомое уравнение

$$u - \overline{u} = a(x - \overline{x}) + b(y - \overline{y}) + c(z - \overline{z}) + \ldots$$

П.5.2.6 Определение погрешности прогноза различной вероятности и представление ее в виде кривой обеспеченности

П.5.2.6.1 Ошибка прогноза не зависит от предсказываемой величины, а ее распределение близко к нормальному распределению. В этом случае ошибка прогноза заданной обеспеченности будет равна

$$\delta_P = k_P \cdot S_{y-y'}, \qquad \text{(П.70)}$$

где $S_{y-y'}$ – средняя квадратичная ошибка прогноза, k_P – нормированное отклонение, соответствующее заданной обеспеченности.

П.5.2.6.2 Ожидаемое значение заданной обеспеченности определяется по формуле

$$I_P = I' + k_P \cdot S_{y-y'}, \qquad (П71)$$

где I' – среднее значение ожидаемой величины, снятое с графика связи или вычисленное согласно методике прогноза.

П.5.2.6.3 В качестве примера приведен рисунок П.13, где показан график связи между суммой отрицательных температур воздуха в Баренцбурге с ледовитостью Баренцева моря. На рисунке видно, что погрешность прогноза не зависит от предсказываемой величины, а разброс погрешностей близок к нормальному распределению.

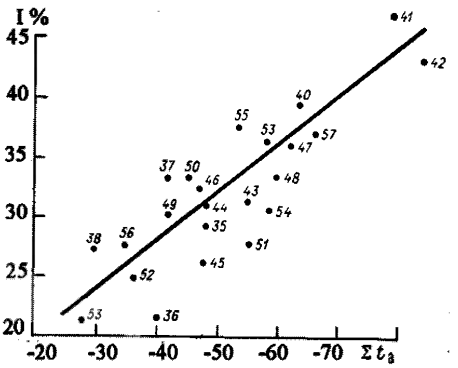

Рисунок П.13 – График связи суммы отрицательных температур воздуха в Баренцбурге с ледовитостью Баренцева моря.

Исходные данные для построения этой связи приведены в таблице П.12.

Средняя квадратичная ошибка связи, подсчитанная по таблице П.12, будет равна

$$S = \sqrt{\frac{\sum (y - y')^2}{n - m}} = \sqrt{\frac{554}{25 - 2}} = 4{,}9 .$$

Средняя квадратичная ошибка прогноза $S_{y-y'}$ принимается равной средней квадратичной ошибке связи S, так как поправка за счет неточности проведения связи при числе членов 25 мала и в расчет не принимается.

По средней квадратичной ошибке прогноза $S_{y-y'}$ = 4,9 % и, пользуясь таблицей нормированных отклонений k_p, можно определить ошибку прогноза и ожидаемые значения различной обеспеченности. Для рассмотренного примера такой расчет сделан в таблице П.13 при двух значениях исходных данных: $x = -80^{\circ}$ и $x = -35^{\circ}$.

Таблица П.12

Порядковый номер	Год	Сумма температур воздуха в Баренцбурге x, °С	Ледовитость Баренцева моря y, %	Ледовитость Баренцева моря по прогнозу y', %	$y - y'$	$(y - y')^2$
1	1934	-42,7	36	28	8	64
2	1935	-47,7	28	30	-2	4
3	1936	-40,5	20	27	-7	49
4	1937	-35,6	23	24	-1	1
5	1938	-30,5	27	22	5	25
6	1939	-49,1	34	31	3	9
7	1940	-64,6	38	38	0	0
8	1941	-78,5	43	44	-1	1
9	1942	-87,5	40	48	-8	64
10	1943	-55,9	30	38	-8	64
11	1944	-45,0	30	29	1	1
12	1945	-66,5	31	39	-8	64
13	1946	-44,9	31	29	2	4
14	1947	-60,9	33	36	-3	9
15	1948	-58,0	31	35	-4	16
16	1949	-40,1	29	26	3	9
17	1950	-43,1	32	28	4	16
18	1951	-68,4	36	39	-3	9
19	1952	-56,2	27	34	-7	49
20	1953	-26,0	18	20	-2	4
21	1954	-58,3	29	35	-6	36
22	1955	-55,8	36	38	-2	4
23	1956	-32,7	27	23	4	16
24	1957	-39,4	32	26	6	36
25	1958	-59,2	35	35	0	0
						Σ 554

Таблица П.13

	Ошибка прогноза при обеспеченности, %						
	5	10	25	50	75	90	95
k_P	1,64	1,28	0,674	0,0	–0,674	1,28	–1,64
$k_P \cdot S_{y-y'} = k_P \cdot 4{,}9$	8,0	6,3	3,3	0,0	–3,3	–6,3	–8,0
При $x = -80°$ $I_P = 40 + k_P \cdot 4{,}9$	48,0	46,3	43,3	40,0	36,7	337	32,0
При $x = -35°$ $I_P = 25 + k_P \cdot 4{,}9$	33,0	31,3	28,3	25,0	21,7	18,7	17,0

Графическое изображение прогноза в виде кривой обеспеченности представлено на рисунке П.14.

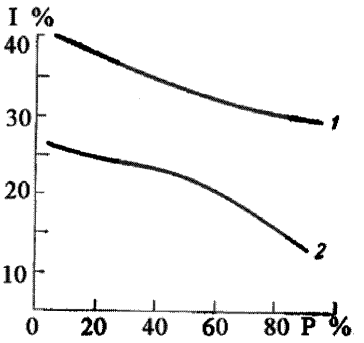

Рисунок П.14 – Кривая обеспеченности P ожидаемой ледовитости I при $\sum t_a = -80^\circ C$ (1) и $\sum t_a = -35^\circ C$ (2).

П.6 Анализ внутренней структуры временных рядов

П.6.1. Задачи статистического анализа временного ряда

П.6.1.1 Статистический анализ временного ряда состоит в следующем:

– изучить основные свойства временного ряда;

– оценить изменчивость и характеристики его периодических и непериодических колебаний;

– разделить исходный временной ряд на периодические и непериодические компоненты и изучить каждую из компонент в отдельности.

П.6.1.2 При применении статистических методов необходимо соблюдение ряда условий. Исходные ряды наблюдений должны быть стационарными, нормальными, локально однородными и обладать свойством эргодичности.

Известно, что в общем случае временные ряды гидрометеорологических наблюдений являются нестационарными. Это связано, в первую очередь, с годовым, сезонным и суточным ходом многих элементов, а также с возможными колебаниями и изменениями климата. Всякая нестационарность должна быть заранее исключена. Существенным требованием к переменным, используемым в качестве предиктанта и предикторов, является соблюдение постоянства сдвига во времени наблюдений для любой пары реализаций.

П.6.1.3 Выполнение перечисленных выше условий позволяет случайный процесс описать с помощью нескольких наиболее информативных статистических характеристик:

математического ожидания (средней), дисперсии, автокорреляционной функции и функции спектральной плотности.

П.6.2 Метод выделения периодических колебаний

П.6.2.1 Используется корреляционно-спектральный метод. Гармонический анализ Фурье является наиболее распространенным методом анализа, применяемого для исследования периодического ряда. Такой анализ дает возможность понять физическую сущность периодических флуктуаций. Первая (или основная) гармоника имеет период, равный длине всего исследуемого периода. Вторая гармоника имеет период, равный половине основного, третья имеет период, равный одной трети основного и т д. Различные гармоники выделяются таким образом, чтобы каждую из них можно было рассматривать независимо от других и объяснять ее физические причины. Однако каждая гармоника в отдельности не обязательно имеет отчетливый физический смысл.

Остаток временного ряда после исключения из исходного ряда периодических колебаний называется непериодическим временным рядом.

П.6.2.2 Влияние короткопериодных флуктуаций может быть в значительной степени исключено с помощью применения методики скользящих средних или скользящих сумм. Если, например, ряд состоит из 100 средних годовых значений G_1, G_2, ..., G_{100}, то этот ряд можно заменить другим, состоящим из членов:

$(G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5)/5$,

$(G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6)/5$,

...,

$(G_{96} + G_{97} + G_{98} + G_{99} + G_{100})/5$.

Такой ряд получается существенно более сглаженным.

П.6.3 Исключение тренда

П.6.3.1 Медленное, постепенное изменение случайной переменной в течение анализируемого периода называется трендом. Тренд никогда не длится бесконечно, а скорее является частью колебаний, длительность которых сравнима с периодом рассматриваемого ряда. Тренд может быть выделен и проанализирован с помощью метода наименьших квадратов. В простейшем случае тренд можно принять линейным. Наклон линии регрессии этого тренда задается формулой:

$$m = \frac{\overline{X} \cdot t - \overline{X} \cdot \bar{t}}{\bar{t}^2 - (\bar{t})^2}. \qquad (П.72)$$

Черта обозначает осреднение. Если наклон тренда рассчитан, то можно записать уравнение для прямой, описывающей тренд, в виде линии проходящей через точку $\overline{X}, \bar{t}$. Тогда уравнение тренда примет вид

$$m = \frac{\overline{X} \cdot t}{\bar{t}^2}. \qquad (П.73)$$

П.6.3.2 Прежде чем рассчитывать тренд, следует убедиться, что временной ряд однородный. Не следует пользоваться трендами для прогнозов. Попытки составления прогнозов, основанных на экстраполяции трендов, оказались безуспешными. Тренды описывают только поведение переменной в прошлом и могут прекратиться в любой момент времени.

Если тренд характеризуется определенной кривизной, к нему можно применить метод наименьших квадратов. Пусть тренд имеет параболический вид, описываемый формулой

$$X = a + b \cdot t + c \cdot t^2. \qquad (П.74)$$

Тогда коэффициенты a, b и c можно получить, решив систему уравнений

$$\begin{aligned} \sum X &= \sum a + b\sum t + c\sum t^2, \\ \sum X \cdot t &= a\sum t + b\sum t^2 + c\sum t^3, \\ \sum X \cdot t^2 &= \sum a + b\sum t^3 + c\sum t^4. \end{aligned} \qquad (П.75)$$

П.6.3.3 Расчеты могут быть упрощены, если начало системы отсчета времени выбрать в центре временного ряда. В этом случае члены с $\sum t^2$ и $\sum t^3$ исчезают. Как и в случае линейного ряда, параболический ряд не может быть точно экстраполирован. Наконец, для описания тренда можно с помощью метода наименьших квадратов подобрать синусоидальную кривую. Однако в этом случае формула будет такой же, что и при гармоническом анализе.

П.6.4 Проверка на стационарность

П.6.4.1 Термин «стационарность» означает, что, несмотря на кажущуюся хаотичность ряда, определенные статистические характеристики будут оставаться постоянными от одного периода к другому (на протяжении всего временного ряда).

П.6.4.2 Наиболее простой способ оценивания стационарности реализации заключается в рассмотрении физической природы процесса, которому эта реализация принадлежит. Если основные физические факторы, определяющие процесс не зависят от времени, то можно полагать изучаемый процесс стационарным. Для проверки на стационарность используют разные способы – от визуального просмотра реализаций опытным специалистом до детального статистического оценивания различных параметров процесса. В любом случае, если исследователь намеревается установить стационарность процесса по отдельной реализации, он должен сделать существенные допущения.

П.6.4.3 Нестационарность процесса характеризуется наличием тренда. Основной процедурой сведения к стационарности является выделение тренда. Для этого можно применить три метода:

а) метод регрессионного анализа. Он позволяет построить математическую модель, которая наиболее полно описывает функциональный вид тренда;

б) метод скользящих средних. Если априорная информация о характере тренда отсутствует, то для его удаления используют метод скользящих средних. Этот метод основан на представлении нестационарной части временного ряда $a(t)$ в виде последовательности средних значений исходного ряда, вычисленных на коротком временном интервале, центр которого «скользит» вдоль всего ряда. Далее вычитанием $\bar{x}(t)$ из исходного ряда осуществляется переход к стационарной последовательности

$$u(t) = x(t_i) - \bar{x}(t_i)\,. \qquad \text{(П.76)}$$

П.6.5 Проверка на нормальность

П.6.5.1 При изучении эмпирических распределений, отличных от нормального распределения, возникает необходимость количественно оценить это различие. Часто для этой цели используется третий и четвертый моменты - коэффициент асимметрии и коэффициент эксцесса. Предположение о нормальности позволяет существенно упростить аналитические исследования свойств случайного процесса (не содержащего периодических составляющих), поэтому желательно предварительно проверить гипотезу о нормальности случайного процесса.

П.6.5.2 Наиболее простой путь проверить, подчиняется ли реализация стационарного случайного процесса нормальному закону, построить по эмпирическим данным кривую плотности вероятности значений процесса и сравнить ее с кривой теоретического нормального распределения. Если длина реализации достаточно велика и ошибки измерений малы по сравнению с отклонениями функции от нормальной кривой, то несоответствие ее нормальному распределению будет очевидной.

П.6.6 Корреляционно-спектральный анализ временных рядов

П.6.6.1 Автокорреляционная функция

П.6.6.1.1 Изучение внутренней структуры временного ряда осуществляется с помощью метода спектрального анализа. Он основан на автокорреляционной функции. Автокорреляционная функция означает корреляцию параметра с самим собой. Иными словами, коэффициенты автокорреляции являются обычными коэффициентами линейной корреляции между двумя последовательными значениями ряда. Если наблюдатель видит ряд синусоидальных волн, то он может совершенно определенно сказать о колебания в различные моменты времени, но если наблюдается случайный процесс, то нельзя быть уверенным о форме волны в будущем. Наиболее вероятной ожидаемой величиной в этом случае является средняя арифметическая величина из числа наблюдений. Оценить колебательный процесс можно, если скоррелировать колебания поверхности воды в момент t_1 и $t + \Delta t$.

П6.6.1.2 Для практических целей коэффициент автокорреляции определяется по формуле

$$r_j = \frac{\sum_i (X_i - \overline{X})(X_{i+l} - \overline{X})}{S_x^2 \cdot N}. \qquad (П.77)$$

Интервал l называется запаздыванием (лагом). Если $l = 0$, то $r_j = 1$. По мере увеличения l коэффициент автокорреляции уменьшается и может даже стать отрицательным. Это может означать, например, что если сегодня температура выше нормы, то через определенное время она, вероятно, станет ниже нормы. Кореллограмма может использоваться для оценки наиболее важных периодов временных рядов. Ясно, что такая информация обладает определенной прогностической ценностью. Зависимость

между r и l представляется коррелограммой. Типичный вид коррелограммы представлен на рисунке П.15.

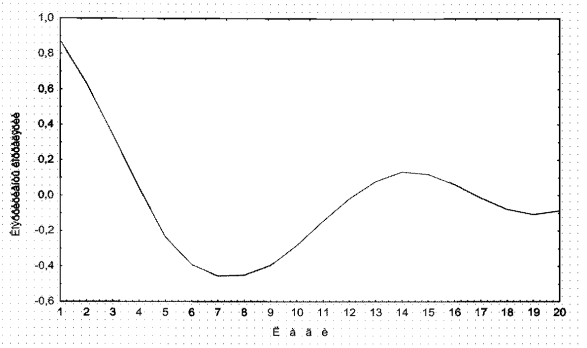

Рисунок П.15 – Автокорреляционная функция годовых приращений среднего уровня Каспийского моря.

П.6.6.2 Свойства автокорреляционной функции

П.6.6.2.1 Автокорреляционная функция является симметричной, т.е. $R(\tau) = R(-\tau)$, или

$$\lim_{(T_1 \to \infty)} \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} \eta(t)\eta(t+\tau)dt = \lim_{(T_1 \to \infty)} \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} \eta(t)\eta(t+\tau)dt . \qquad (П.78)$$

П.6.6.2.2 Величина автокорреляции при $\tau = 0$ представляет собой средний квадрат флуктуации поверхности воды

$$R(\tau = 0) = \lim_{(T_1 \to \infty)} \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} \eta^2(t)dt . \qquad (П.79)$$

П.6.6.2.3 Величина автокорреляции при $\tau \to \infty$ равна нулю, если наблюденное явление содержит непериодическую компоненту.

Следует также отметить, что если процесс случаен, то корреляция между данными измерений в моменты t и $t+\tau$ стремится к бесконечно малой величине по мере увеличения τ.

П.6.6.2.4 Энергетический спектр представляет трансформацию Фурье автокорреляционной функции

$$\Phi(k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} R(\tau) \cdot \exp(-ikt) . \qquad (П.80)$$

Тогда по определению

$$R(\tau) = \int \Phi(k) \cdot \exp(ikt) dk . \qquad (П.81)$$

При $\tau = 0$

$$R(0) = \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi(k) dk = \lim_{(T_1 \to \infty)} \frac{1}{T_1} \int_0^T \eta(t)\eta(t) dt = \overline{\eta^2(t)} , \qquad (П.82)$$

т.е. площадь под кривой $\Phi(k)$ представляет средний квадрат величины $\eta(t)$. Площадь какого-либо элемента $\Phi(k)$ представляет средний квадрат вклада дисперсии $\eta(t)$ в интервале $\pm\frac{1}{2}\delta k$. Функция $\Phi(k)$ представляет вариацию плотности частоты спектра $\eta(t)$. Иногда ее называют энергетическим спектром или просто спектром процесса $\eta(t)$.

П.6.6.2.5 Функция спектральной плотности годовых приращений среднего уровня Каспийского моря, соответствующая автокорреляционной функции, показанной на рисунке П.15, представлена на рисунке П.16.

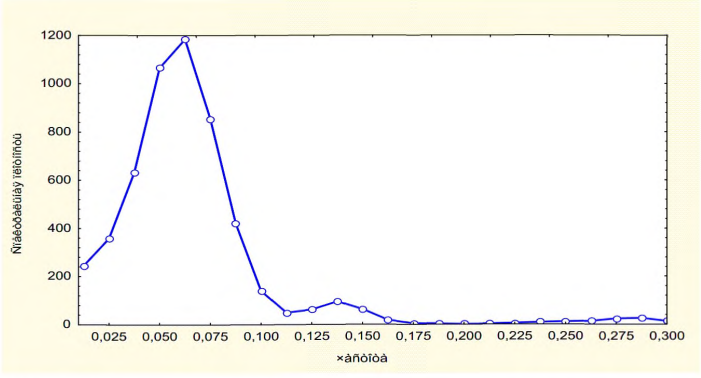

Рисунок П.16 – Функция спектральной плотности годовых приращений уровня Каспийского моря.

Причина названия энергетического спектра следует из следующего определения

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \Phi(k) dk = \overline{\eta^2(t)} . \qquad (П.83)$$

Если $\eta(t)$ записать в виде

$$\eta(t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(knt + \varepsilon_n), \qquad (П.84)$$

а затем возвести в квадрат и осреднить правую часть уравнения (П.81), получим

$$\overline{\eta^2} = \frac{1}{2}\sum A_n^2 . \qquad (П.85)$$

Это означает, что средняя энергия на единицу длины и единицу гребня линейной (малой амплитуды) волны можно записать в виде:

$$\overline{E} = \frac{1}{8}\rho g h^2, \qquad (П.86)$$

где h – высота волны, равная удвоенной амплитуде волны $(2A_n)$.

П.6.7 Методы сглаживания рядов

П.6.7.1 Наличие достаточно существенных случайных колебаний переменной затрудняет выявление закономерностей их временного хода, выражающихся в форме длинно-периодных циклов изменения годовых значений исследуемой переменной. Для выделения таких циклов применяют различные способы сглаживания или фильтрации исходных рядов наблюдений.

П.6.7.2 Одним из наиболее простых способов является расчет скользящей средней арифметической. Различают скользящее среднее, построенное по предыдущим точкам наблюденного ряда и центрированное скользящее среднее. В центрированном сглаживании данные усредняются слева и справа от выбранной точки. Хотя такой вид сглаживания более обоснован, он имеет недостаток: сигнал о смене тенденции существенно запаздывает во времени.

Пусть наблюдается ряд значений: $x(1)$, $x(2)$, $x(3)$, …, $x(k)$. Простейшее скользящее среднее устроено следующим образом: берется текущая точка $x(1)$, соответствующая значению $x(t)$, предыдущие значения $x(t-1)$, $x(t-2)\ldots x(t-k+1)$ и строится новое усредненное значение $\bar{x}(t)$, по определению полагаемое равным

$$(x(t)+x(t-1)+x(t-k-1))/k .$$

Далее точка $x(1)$ сдвигается вправо на 1 шаг, скользит по временной шкале, вновь производится усреднение k значений ряда и т.д.

Временной ряд, по которому производится усреднение, называется окном. Это положительное число, больше единицы.

П.6.7.3 Рассмотрим это на примере многолетнего ряда годовых приращений уровня Каспийского моря. Сглаживание осуществляется по формуле

$$\Delta\overline{H} = \frac{1}{T}\sum_{k=\frac{T-1}{2}}^{k=\frac{T-1}{2}} \Delta H_{i+k}\,, \qquad (П.87)$$

где $\Delta\overline{H}$ – сглаженные колебания годовых приращений уровня Каспийского моря; ΔH_i – годовые приращения ($i = 1,2,3,...,n$); n – число членов ряда; T – интервал осреднения.

Естественно, чем больше период сглаживания, тем больше уменьшается амплитуда высокочастотных (малой продолжительности) колебаний и, следовательно, более четко могут быть представлены колебания низких частот. Однако при этом происходит сдвиг фаз осредненных колебаний $\Delta\overline{H}_i$ по сравнению с исходным рядом ΔH_i вплоть до противоположного; причем этот сдвиг фазовых колебаний зависит как от периода сглаживания T, так и от частотного спектра исходного ряда.

Для исключения или уменьшения смещения фаз осредненных величин ΔH_i по сравнению с исходными данными применяются другие способы сглаживания. Например, способ последовательного парного осреднения членов ряда, при котором весовые коэффициенты симметрично убывают от центрального члена осреднения и представляют собой биноминальные коэффициенты:

$$\frac{1}{2}(Q_i + Q_{i+1}),$$

$$\frac{1}{4}(Q_i + 2Q_{i+1} + Q_{i+2}),$$

$$\frac{1}{8}(Q_i + 3Q_{i+1} + 3Q_{i+2} + Q_{i+3}),$$

$$\frac{1}{16}(Q_1 + 4Q_{i+1} + 6Q_{i+2} + 4Q_{i+3} + Q_{i+4}),$$

$$\frac{1}{32}(Q_i + 5Q_{i+1} + 10Q_{i+2} + 10Q_{i+3} + 5Q_{i+4} + Q_{i+5}),$$

……,

$$\frac{1}{2^k}\left[Q_i + kQ_{i+1} + \frac{k(k-1)}{2!}Q_{i+2} + \frac{k(k-1)(k-2)}{3!}Q_{i+3} + \frac{k(k-1)(k-2)(k-3)}{4!}Q_{i+4} + ...\right]$$

Таким образом, отмеченная фильтрация выражается формулой

$$\overline{Q_i} = \sum_{k=\frac{T-1}{2}}^{k=\frac{T+1}{2}} C_k Q_{i+k} \,, \qquad (П.88)$$

где $\overline{Q_i}$ – сглаженные колебания годовых приращений уровня моря; Q_i – годовое приращение уровня от $i=1$ до $i=n$ (n – число членов ряда); T – интервал осреднения; C_k – весовые коэффициенты.

Следует отметить, что сглаживание с использованием данного фильтра равносильно применению способа последовательного парного осреднения членов исходного ряда.

П.6.8 Гармонический анализ

П.6.8.1 Применение математических способов разложения волновых движений в тригонометрический ряд с помощью метода Фурье дает особенно плодотворные результаты при разработке методов морских гидрологических прогнозов. Он позволяет волны сложного вида представлять в виде суммы простых синусоидальных волн.

Всякое периодическое колебательное движение может быть разложено на конечное или бесконечное число синусоидальных волн с однократным, двукратным, трехкратным и т.д. *к*– кратным периодом и с произвольным смещением фаз. Отдельные колебательные движения называются «гармоническими» колебаниями, причем первое колебательное движение называется также «основным колебанием» («основной тон»), а прочие – «дополнительными колебаниями» («обертона»).

П.6.8.2 Периодическая функция может быть представлена в виде

$$T = f(\varphi) = \frac{1}{2} A_0 + \sum_{k=1}^{k=\infty} H_k \cdot a\sin(k \cdot \varphi + \varphi_k) = \frac{1}{2} A_0 + \sum_{k=1}^{k=\infty} H_k \left[\sin(k \cdot \varphi) \cdot \cos(\varphi_k) + \cos(k \cdot \varphi) \cdot \sin \varphi_k\right]. \qquad (П.89)$$

Если положить

$$H_k \cdot \sin \varphi_k = A_k \quad \text{и} \quad H_{k\cdot} \cdot \cos \varphi_k \,, \qquad (П.90)$$

то получим

$$T = \frac{1}{2} A_0 + \sum_{k=1}^{k=\infty} A_k \cdot \cos(k \cdot \varphi) + \sum_{k=1}^{k=\infty} B_k \sin(k \cdot \varphi) = \frac{1}{2} A_0 + A_1 \cos \varphi + A_2 \cos(2\varphi) + A_3 \cos(3\varphi) + \ldots + B_1 \sin \varphi + B_2 \sin(2\varphi) + B_3 \sin(3\varphi) + \ldots \qquad (П91)$$

В такой форме ряд Фурье чаще всего и употребляется. Умножая уравнение (П.91) на $\cos(k \cdot \varphi) d\varphi$ и интегрируя в пределах от 0 до 2π, получим

$$\int_0^{2\pi} T \cos(k \cdot \varphi) d\varphi = A_k \int_0^{2\pi} \cos^2(k \cdot \varphi) d\varphi = A_k \cdot \pi . \qquad (П.92)$$

Откуда

$$A_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} T \cos(k \cdot \varphi) \cdot d\varphi . \qquad (П.93)$$

При $k = 0$ это соотношение дает удвоенное значение члена, зависящего от φ в уравнении (П.91) и, соответственно, в (П.93), поэтому перед этим членом стоит множитель ½.

$$A_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} T \cdot d\varphi . \qquad (П.94)$$

Умножая уравнение (П91) на $\sin(k \cdot \varphi) d\varphi$ и интегрируя в пределах от 0 до 2π, находим

$$B_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} T \cdot \sin(k \cdot \varphi) d\varphi . \qquad (П.95)$$

Таким образом, коэффициенты, входящие в уравнение (П.91), определяются при помощи соотношений (П.93)– (П.95)

$$\frac{1}{2} A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} T \cdot d\varphi . \qquad (П.96)$$

П.6.8.3 Для случая, если кривая задана графически, определяется непосредственно значение ординаты кривой. Остальные коэффициенты могут быть определены аналитическим или графическим способами.

Один из способов заключается в следующем. Отрезок 2π делится на 2m равных частей с координатами $T_r (r = 0,1,2,...,m)$. Затем коэффициенты A_k и B_k вычисляются методом наименьших квадратов таким образом, чтобы сумма квадратов ошибок была наименьшей, причем под «ошибкой» подразумеваются разности между вычисленными при помощи коэффициентов A_k и B_k значениями T_r и значениями T_r, полученными при помощи наблюдений.

В этом случае сумма $\sum (T_{вычисл} - T_{набл})^2$ должна иметь наименьшее значение. Из равенств

$$\frac{\partial \sum (T_{вычисл} - T_{набл})^2}{\partial A_k} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial \sum (T_{вычисл} - T_{набл})^2}{\partial B_k} = 0$$

будем иметь

$$A_k = \frac{1}{m}\sum_{r=1}^{r=2m} T_r \cdot \cos(k\frac{2\pi r}{2m}), \qquad (П.97)$$

$$B_k = \frac{1}{m}\sum_{r=1}^{r=2m} T_r \cdot \sin(k\frac{2\pi r}{2m}). \qquad (П.98)$$

Пример **- Пусть отрезок 2π разделен на $2m = 24$ равные части. Значения r соответствующих ординат T_r даны в первом столбце таблиц П.14 и П.15. Если r заданы как $\frac{2\pi}{2m} = \frac{360}{24} = 15^\circ$, то эти значения должны быть умножены соответственно на $\cos(k \cdot r \cdot 15^\circ)$ и $\sin(k \cdot r \cdot 15^\circ)$. Эти величины приведены в таблицах П.14 и П.15.**

Таблица П.14

r	T_r	Значение $\cos(k \cdot r \cdot 15^\circ)$ при k				Значение $T_r \cos(k \cdot r \cdot 15^\circ)$ при k			
		1	2	3	4	1	2	3	4
1	–4150	0,966	0,866	0,707	0,500	–4010	–3595	–2935	–2075
2	–300	0,866	0,500	0	–0,500	–260	–150	0	150
3	3250	0,707	0	–0,707	-1	2300	0	–2300	–3250
4	7000	0,500	–0,500	-1	–0,500	3500	–3500	–7000	–3500
5	7450	0,259	–0,866	–0,707	0,500	1930	–6450	–5265	3725
6	4300	0	–1	0	1	0	–4300	0	4300
7	2750	–0,259	–0.866	0,707	0,500	–710	–2380	1945	1375
8	0	–0,500	–0,500	1	–0,500	0	0	0	0
9	–2650	–0,707	0	0,707	-1	1875	0	–1875	2650
10	–5200	–0,866	0,500	0	-0,500	4505	–2600	0	2600
11	–7700	–0,966	0,866	–0,707	0,500	7440	–6670	5445	–3850
12	–7400	–1	1	-1	1	7400	–7400	7400	–7400
13	–4850	–0.966	0,866	–0,707	0,500	4685	–4200	3430	–2425
14	–2250	–0,866	0,500	0	–0,500	1950	–1125	0	1125
15	6503	–0,707	0	0,707	–1	–460	0	460	–650
16	850	–0,500	–0,500	1	–0,500	–1925	–1925	3850	–1925
17	6400	–0,259	–0,866	0,707	0,500	–1660	–5540	4525	3200
18	7600	0	-1	0	1	0	–7600	0	7600
19	6800	0,259	–0,866	–0,707	0,500	1760	–5890	–4810	3400
20	4500	0,500	–0,500	-1	–0,500	–2250	–2250	–4500	–2250
21	2300	0,707	0	–0,707	–1	1625	0	–1625	–2300
22	250	0,866	0,500	0	–0,500	215	125	0	–125
23	–5150	0,966	0,866	0,707	0,500	–4975	–4460	–3640	–2575
24	–7200	1	1	1	1	–7200	–7200	–7200	–7200
						20235	–77110	–14095	–9400

Таблица П.15

r	T_r	Значение $\sin(k \cdot r \cdot 15^\circ)$ при k				Значение $T_r \sin(k \cdot r \cdot 15^\circ)$ при k			
		1	2	3	4	1	2	3	4
1	–4150	0,259	0,500	0,707	0,866	–1075	–2075	–2935	–3595
2	300	0,500	0,866	1	0,866	–150	260	–300	–260
3	3250	0,707	1	0,707	0	2300	3250	2300	0
4	7000	0,866	0,866	0	-0,866	6060	6060	0	–6060
5	7450	0,966	0,500	–0,707	–0,866	7195	3725	–5265	–6450
6	4300	1	0	1	0	4300	0	–4300	0
7	2750	0.966	–0,500	–0,707	–0,866	2655	–1375	–1945	–2380
8	0	0,866	–0,866	0	–0,866	0	0	0	0
9	2650	0,707	–1	0,707	0	–1875	2650	–1875	0
10	–5200	0,500	–0,866	1	0,866	–2600	4505	–5200	–4505
11	–7700	0,259	–0,500	0,707	0.866	–1995	3850	–5445	–6670
12	–7400	0	0	0	0	0	0	0	0
13	–4850	–0,259	0,500	–0,707	–0,866	1255	–2425	3430	4200
14	–2250	–0,500	0,866	-1	–0,.866	1125	–1950	2250	1950
15	6503	–0,707	1	–0,707	0	–460	650	–460	0
16	850	–0,866	0,866		0,866	–3335	3335	0	3335
17	6400	–0,966	0,500	0,707	0,866	–6180	3200	4525	5540
18	7600	–1	0	1	0	–7600	0	7600	0
19	6800	0,966	–0,500	0,707	–0,866	–6570	–3400	4810	–5890
20	4500	–0,866	–0,866	0	–0,866	–3900	–3900	0	–3900
21	2300	–0,707	–1	–0,707	0	–1625	–2300	–1625	0
22	250	–0,500	–0,866	-1	0,866	–125	–215	–250	215
23	–5150	–0,259	–0,500	–0,707	0,866	1335	–2575	3640	–4460
24	–7200	0	0	0	0	0	0	0	0
						–11265	15900	–1045	–28930

Суммы соответственных произведений, деленные на 12, дают значения коэффициентов A_k и B_k:

$$A_1 = \frac{20235}{12} = 1685; \quad A_2 = -\frac{77110}{12} = -6425; \quad A_3 = -\frac{14095}{12} = -1175;$$

$$A_4 = -\frac{9400}{12} = -783; \quad A_5 = -\frac{1955}{12} = -163; \quad A_6 = -\frac{3650}{12} = -304;$$

$$A_7 = -\frac{2815}{12} = -235.$$

$$B_1 = -\frac{11265}{12} = -940; \quad B_2 = \frac{15900}{12} = 1325; \quad B_3 = -\frac{1045}{12} = -87;$$

$$B_4 = -\frac{28930}{12} = -2410; \quad B_5 = -\frac{4785}{12} = -400; \quad B_6 = \frac{3900}{12} = 325;$$

$$B_7 = \frac{2965}{12} = 247.$$

$$\varphi_1 = 119^\circ.$$

Чтобы удобнее вычертить кривую, полезно соединить вместе члены, содержащие синус, и члены, содержащие косинус. Из равенства (П.90) следует:

$$H_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2}\,, \tag{П.96}$$

$$tg\varphi_k = \frac{A_k}{B_k}\,. \tag{П.97}$$

Именно угол φ_k, как показывает уравнение (П.92), лежит:

– в I четверти, если A_k>0 и B_k>0;

– во II четверти, если A_k>0 и B_k<0;

– в III четверти, если A_k<0 и B_k<0;

– в IV четверти, если A_k<0 и B_k>0.

Для нашего примера будем иметь:

$H_1 = 1930,\ H_2 = 6560,\ H_3 = 1180,\ H_4 = 2530,\ H_5 = 432,\ H_6 = 445,\ H_7 = 341,$

$\varphi_1 = 119^\circ,\ \varphi_2 = 282^\circ,\ \varphi_3 = 266^\circ,\ \varphi_4 = 198^\circ,\ \varphi_5 = 208^\circ,\ \varphi_6 = 317^\circ,\ \varphi_7 = 316^\circ.$

Следовательно, разложение в ряд будет иметь вид:

$$T = 1930\sin(\varphi + 119^\circ) + 6560\sin(2\varphi + 282^\circ) + 1180\sin(3\varphi + 266^\circ) + 2530\sin(4\varphi + 198^\circ) +$$
$$+ 432\sin(5\varphi + 208^\circ) + 445\sin(6\varphi + 317^\circ) + 341\sin(7\varphi + 316^\circ).$$

П.6.8.4 Из рисунка П.17, где представлены первые четыре гармонические колебания, обозначенные римскими цифрами (I–IV), следует, что гармоническое колебание соответствующее $k = 2$ имеет наибольшее влияние на форму сложной волны. Следующее по важности гармоническое колебание соответствует $k = 4$. Остальные ($k = 1$ и $k = 3$) имеют меньшие значения. Уже составленное только из них результирующее колебание R имеет лишь незначительные уклонения от исходной кривой T.

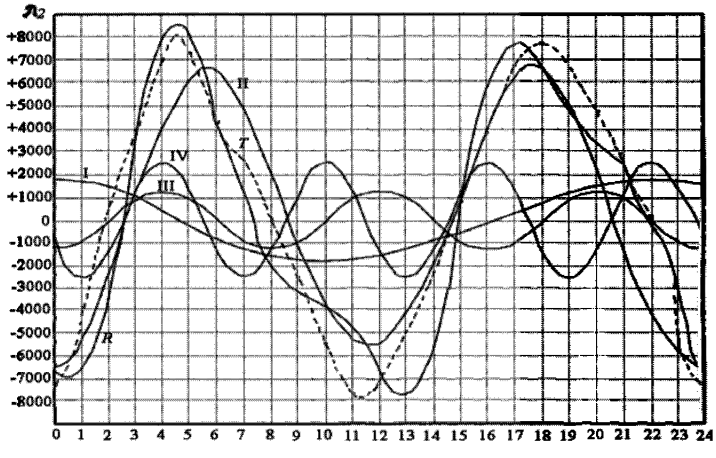

Рисунок П.17 – Результаты гармонического анализа первых четырех гармонических колебаний.

Библиография

[1] Федеральный закон «О внутренних морских водах, территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации» от 31.07.1998 г. № 155-ФЗ (ред. от 29.12.2004 г.).

[2] Федеральный закон «О гидрометеорологической службе» от 19 июня 1998 г. № 113-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации.– 1998 г. – № 30, ст. 3609.– 2002 г. – № 26, ст.2516.– 2004 г. .– № 35, ст.3607.– 2005 г., № 23, ст. 2203.– 2006 г. .– № 6, ст. 638.

[3] Международная конвенция по охране человеческой жизни на море (СОЛАС-74, с поправками)

[4] ВМО. СКОММ-III «Морские метеорологические и океанографические прогностические системы и обслуживание». 4–11 ноября 2009 г.

[5] Постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении Положения о единой государственной системе информации об обстановке в Мировом океане» № 836 от 29.12.2005 г.

[6] Руководство по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности. – М.: 2009. – 143 с. (Одобрено Центральной методической комиссией по гидрометеорологическим прогнозам Росгидромета 15.01.2009.

[7] Постановление Правительства Российской Федерации от 23 июля 2004 г. № 372 «О Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» // Собрание законодательства Российской Федерации.– 2004.– № 31, ст. 3262.– 2008.– № 10 (часть 1), ст. 896.

[8] ВМО № 386.Наставление по Глобальной системе телесвязи. Том I . Глобальные аспекты. Том II. Региональные аспекты.

[9] ВМО № 558. Наставление по морскому метеорологическому обслуживанию. Приложение VI к техническому регламенту ВМО.

[10] Атлас районирования морей и океанов для гидрометеорологического обеспечения морской деятельности. – Москва, 2009 (Одобрен методической комиссией по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам 15.01.2009).

[11] Васильев К.П. Что должен знать судоводитель о картах погоды и состояния моря. – Гидрометеоиздат, 1980. – .231 с..

[12] ВМО № 471. Руководство по морскому метеорологическому обслуживанию.

[13] Приказ Минтранса «О создании и функционировании ГМССБ» РФ № 125 от 21.10.1997 г.

[14] Руководство по службе НАВТЕКС. МО РФ. ГУНИО. – 1990.

[15] Руководство по подготовке и передаче по сети SafetyNET системы ИНМАРСАТ формализованной информации по безопасности мореплавания на трассе Севморпути. –]СПб, 2000.

[16] Постановление Правительства Российской Федерации «О создании и функционировании Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности» № 813 от 03.07.1997 г.

[17] Приказ Росгидромета «О центрах единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане» № 118 от 17.05.2006 г.

[18] Руководство по терминологии и оценке специализированных гидрометеорологических прогнозов. – М., 2004.

[19] Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь. Том II – (К-П).- СПб., 2009.

[20] Багров Н.А., Морской Г.И. Метод оценки прогнозов // Метеорология и гидрология. – 1955. – № 4.

[21] Багров Н.А. К вопросу об оценке гидрометеорологических прогнозов // Метеорология и гидрология. – 1953. – № 6. – С. 13–16.

[22] Абузяров З.К., Сиротов К.М. Рекомендуемые плавания судов океане. – Л.: Гидрометеоиздат,1970.

[23] Океанские пути мира. – Л.: Управление гидрографической службы ВМФ, 1962. – 295 с.

[24] Порядок гидрометеорологического обеспечения переходов, перегонов и буксировок судов и плавсредств с ограниченной мореходностью в океанах и морях. – Л: Гидрометеоиздат,1989. – 15 с. (Введен в действие с 1.09.88 г. приказом Госкомгидромета СССР № 172 от 14.07.88 г.).

Ключевые слова: наставление, оперативные центры единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО), служба морских гидрологических прогнозов, гидрометеорологические наблюдения, опасные природные явления (ОЯ), фонд гидрометеорологических материалов, обработка результатов наблюдений, методы расчета и прогноза гидрометеорологических величин, заблаговременность прогнозов, штормовые предупреждения и оповещения, оценка качества методов прогнозов и штормовых предупреждений, вероятность, повторяемость, обеспеченность, кривые распределения, допустимые погрешности прогнозов, критерии оправдываемости прогнозов, оценка эффективности прогнозов.

Лист регистрации изменений РД 52.44….–2011

Номер изме-нения	Номер страницы				Номер документа (ОРН)	Подпись	Дата	
	изме-нен-ной	заменен-ной	новой	аннули-рованной			внесения изме-нений	введения изме-нений

gost.e-ecolog.ru