

Л. А. Хандожко

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ



Допущено Министерством образования и науки
Российской Федерации в качестве учебника
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности «Метеорология»
направления подготовки дипломированных
специалистов «Гидрометеорология»



Санкт-Петербург
ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
2005

Хандожко Л. А. Экономическая метеорология. Учебник. — СПб.: Гидрометеиздат, 2005.

Рецензенты: д-р геогр. наук, проф. П. П. Арапов; д-р геогр. наук, проф. И. Н. Русин (СПбГУ); д-р геогр. наук, проф. М. З. Шаймарданов, канд. техн. наук А. А. Коршунов (Росгидромет, ВНИИГМИ—МЦД); д-р геогр. наук, проф. Н. В. Кобышева, канд. техн. наук, ст. научн. сотр. Я. Ю. Альшанский (ГГО); В. А. Тренин (Росгидромет)

Научный редактор: д-р геогр. наук, проф. В. И. Воробьев (Российский государственный гидрометеорологический университет)

Содержит современные знания специфики использования метеорологической информации в отраслях экономики. Включены методы принятия оптимальных погодо-хозяйственных оперативных и стратегических решений. Рассматривается широкий спектр подходов оценки экономической полезности использования метеорологической информации в различных отраслях экономики.

Учебник предназначен для более полной современной подготовки специалиста (инженера, менеджера), владеющего научными основами оптимальной реализации метеорологических ресурсов, во всех сферах производственно-коммерческой практики.

The textbook contains modern knowledge of meteorological information use specificity in the main sectors of economy. Methods of optimal weather-economic operative and strategic decision-making are included. The wide spectrum of approaches to estimation of economic utility of meteorological information use in various sectors of economy is considered.

The textbook is intended for thorough modern training of an expert (an engineer / a manager), who are acquainted with scientific bases of optimal meteorological resources realization in all spheres of productive-commercial practice.

*Издание выпущено при поддержке Комитета по печати
и взаимодействию со средствами массовой информации Санкт-Петербурга*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Высокий уровень развития гидрометеорологической службы России в последние десятилетия XX в. позволил заложить основу научной организации использования гидрометеорологической информации с целью достижения более полного учета метеорологического фактора в современном обществе в интересах его устойчивого развития. Государственная метеорологическая служба России, многочисленные метеорологические организации и непосредственные потребители метеорологической информации все в большей мере используют научный подход оценки последствий учета влияния окружающей среды на конкретные виды человеческой деятельности.

Изучение этой области знаний при подготовке специалистов-метеорологов стало обязательным. Методы и оценки эффективной реализации метеорологической информации рассматриваются в учебной дисциплине „Экономическая метеорология“, которая сформировалась на базе учебных курсов „Метеорологическое обеспечение народного хозяйства“ и „Экономика гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства“. Впервые эти учебные курсы автор начал читать в 1965 г. на метеорологическом факультете Ленинградского гидрометеорологического института (ныне Российский государственный гидрометеорологический университет — РГГМУ). Они были включены в учебные программы гидрометеорологических институтов и университетов СССР, а теперь — России. Для методического обеспечения этих дисциплин в 1981 г. вышло учебное пособие „Метеорологическое обеспечение народного хозяйства“, а в 1993 г. — „Практикум по экономике гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства“. Они широко используются в вузах страны, а также в сети переподготовки и повышения квалификации руководящих работников и специалистов в системе Росгидромета.

В последние годы центральное место в учебной дисциплине отводится выбору на основании метеорологической информации наиболее выгодной хозяйственной стратегии потребителя, его оптимальных текущих производственных решений, а также оценке получаемой при этом пользы. Однако уже сейчас назрела необходимость более полного обновления учебной дисциплины и разработки нового учебника „Экономическая метеорология“.

Учебник „Экономическая метеорология” содержит традиционные и новые аспекты ряда теоретических положений, отражающих связи между поставщиком гидрометеорологической продукции и потребителем, а также перевод их производственных взаимоотношений на экономическую основу. Это обязательное маркетинговое условие развития современного гидрометеорологического рынка. Обязательным должно быть и понимание потребителем необходимости постоянного и более полного учета метеорологической информации и прогнозов погоды в особенности, что обеспечивает минимум метеорологических потерь, а значит, и экономически более выгодную хозяйственную деятельность.

Учебная дисциплина „Экономическая метеорология” как развитие курса „Экономика гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства” является одной из основных при подготовке специалистов в области гидрометеорологии, агрометеорологии, экономики природопользования и предпринимательской деятельности.

При разработке учебника „Экономическая метеорология” автор использовал свой многолетний опыт преподавания данного курса (начиная с 1965 г.), результаты научных разработок в этой области отечественных и зарубежных ученых, собственных научных исследований на протяжении последних трех десятилетий, а также собственный опыт работы синоптиком. При создании учебника автор постоянно сотрудничал с Росгидрометом и рядом территориальных управлений Гидрометслужбы.

Научные разработки, представляющие содержание учебника, охватывают широкий круг задач, решаемых потребителем на основании метеорологической информации. Это оперативные решения, принимаемые с погодо-хозяйственных позиций, а также наиболее приемлемые стратегии использования определенного вида метеорологической информации.

Теоретическая база экономической метеорологии изложена в ряде научных публикаций, в которых многие положения представлены и символизированы достаточно сложно (авторы: Дж. Фон Нейман, М. Де Гроот, Р. Райф и др.).

Стремление сделать учебник по возможности более доступным для студентов, специалистов-метеорологов и работников различных отраслей народного хозяйства заставило автора отказаться от более строгих доказательств ряда положений. Это касается главным образом теоретических и методических основ выбора оптимальных решений с учетом погоды. Знаний студентами вузовского курса теории вероятностей и математической статистики и некоторых смежных разделов математики достаточно, чтобы усвоить методы оптимизации без особого труда.

В настоящее время учебная дисциплина „Экономическая метеорология” включена в образовательную программу подготовки специалистов-метеорологов во всех Региональных Мировых центрах ВМО, основные положения которой были одобрены на совещании экспертов ВМО, проходившем в Москве 29 мая — 2 июня 2000 г.

Этим проблемам особое внимание уделяет не только Всемирная метеорологическая организация, но и Организация Объединенных Наций. Решением Генеральной Ассамблеи ООН 1990-е годы были объявлены Международным десятилетием по уменьшению опасности стихийных бедствий.

Приведенные в учебнике примеры из практики придают определенную предметность изучению того или иного раздела, позволяют более наглядно и осмысленно усвоить главное.

Созданию учебника „Экономическая метеорология” способствовала многолетняя работа автора на двух родственных кафедрах Российского государственного гидрометеорологического университета — кафедре метеорологических прогнозов (1959—1991 гг.) и кафедре прикладной метеорологии (1991—2003 гг.). Автор признателен профессорам этих кафедр А. С. Звереву, В. И. Воробьеву, Р. Н. Ефремову за постоянное внимание к научному становлению проблемы метеообеспечения, к работе над учебником и ко многим другим частным проблемам экономической метеорологии.

Работа над учебником продолжалась и на кафедре экономики и менеджмента, сохранившей научные и учебные традиции кафедры прикладной метеорологии, что позволило придать содержанию учебника еще большую экономическую направленность. Хочу выразить признательность профессорам И. П. Фировой и М. М. Глазову за внимание к работе над учебником.

Выражаю особую благодарность профессору В. И. Воробьеву, взявшему на себя тяжелый труд научного редактора рукописи учебника.

Автор искренне благодарен всем рецензентам: проф. Н. В. Кобышевой, проф. П. П. Арапову, проф. И. Н. Русину, проф. М. З. Шаймарданову, канд. техн. наук А. А. Коршунову, канд. техн. наук Я. Ю. Альшанскому, зам. начальника УРСА В. А. Тренину.

Хочу выразить особую признательность редактору учебника Ольге Давидовне Рейнгеве, взявшей на себя огромный труд по редактированию текста рукописи.

Автор благодарен Н. И. Резвой и А. А. Фокичевой за помощь в оформлении рукописи.

ВВЕДЕНИЕ

Использование человеком природных ресурсов — это результат естественной исторически сложившейся и постоянно растущей потребности обеспечить его жизненные интересы. Все составные части окружающей человека среды несут в этом отношении *ресурсную нагрузку*. Это касается недр Земли, почвы, гидросферы и, конечно же, *атмосферы*.

Погода и климат — вечные природные спутники всего живого на Земле, оказавшие огромное влияние на развитие человеческого общества с периода его становления до настоящего времени. Академик А. Я. Купфер — основатель метеорологической службы России — в 1865 г. писал: „Наука метеорология имеет чрезвычайно широкое поле для исследования, она рассматривает всю земную атмосферу, которая со всех сторон прикасается к поверхности Земли и которая оказывает *огромное влияние на все элементы человеческой жизни*”.

Многовековой опыт приспособления человечества к окружающей среде, в частности к проявлениям погоды, а затем научные исследования и освоение ее позволили в конце XX в. выйти на уровень теоретического и практического познания экономической полезности метеорологической информации.

Отличительная особенность практической метеорологии, как и гидрометеорологии в целом, состоит в том, что она не производит материальных ценностей непосредственно, но, *способствуя эффективному использованию гидрометеорологических ресурсов*, обеспечивает производственные интересы экономики и повышает безопасность людей, создает более благоприятные условия их жизни и труда. Внедрение научных методов использования фактической и прогностической информации о природной среде позволяет заметно снизить потери в экономике и социальной сфере.

Практически все отрасли экономики уже осознали *хозяйственную целесообразность* использования различных сведений об изменениях метеорологических условий.

Однако осведомленность потребителей о *выгоде* применения метеорологической информации еще остается недостаточной. Это приводит к тому, что некоторые потребители не могут самостоятельно определить необходимый вид информации и ее достаточный

объем, выбрать оптимальный способ ее использования, а потому несут потери, которых можно было бы избежать.

Принимаемые в хозяйственной практике решения носят двоякое содержание. Одни, направленные на достижение хозяйственных целей, не связаны с погодными условиями (это чисто хозяйственные решения), другие уже непосредственно связаны с учетом метеорологических факторов. Потребителю метеорологической информации важно не только заблаговременно и вовремя принять меры защиты в соответствии с предупреждением об опасном гидрометеорологическом явлении (ОЯ) или неблагоприятном гидрометеорологическом явлении (НГЯ)¹, но и постоянно и эффективно вести хозяйственные мероприятия с учетом ожидаемой погоды в непрерывном режиме. Такие оперативные решения потребителя будем называть *погодо-хозяйственными*.

Экономическая метеорология рассматривает те хозяйственные решения и стратегии, которые учитывают влияние погоды и климата.

Оптимальные пути реализации прогнозов, научная технология их использования позволяют получить добавочную продукцию, экономию сырья и энергоресурсов, финансовых и иных средств. Интенсивная форма использования прогнозов не повышает исходные затраты труда и стоимость единицы прогностической продукции.

Это относится ко всем видам прогностической информации. Не только к прогнозам достаточно высокой успешности (скорость и направление ветра, температура воздуха, обложные осадки и др.), но и к тем, успешность которых в силу объективных причин еще недостаточно высока.

Известно, что некоторые условия погоды, связанные с такими явлениями, как грозы, шквалы, ливни, град, имеют *высокую дискретность* пространственно-временного *распределения*. Их прогноз отмечает те же самые свойства: „местами“, „временами“.

Экономическая метеорология предполагает разделение „зон ответственности“ в области *метеорологического обеспечения* и *использования* потребителем полученной информации. Может произойти как „пропуск явления“, так и „пропуск мер защиты“. Взаимодействие *поставщика прогностической информации* и ее *потребителей* включает в себя правовые, производственные и коммерческие отношения, в которых возникающие проблемы решаются на паритетных условиях.

¹ Согласно „Руководящему документу“ РД 52.04.563 — 2002. Инструкция. Критерии опасных гидрометеорологических явлений и порядок подачи штормового сообщения. — СПб.: Гидрометеиздат, 2002. — 27 с.

За период с 1960-х по 1990-е годы общие потери в мире, связанные со стихийными бедствиями, увеличились в 40 раз. Значительный рост экономических потерь объясняется увеличением повторяемости и интенсивности таких стихийных явлений, как штормы, наводнения, засухи, ливневые дожди и др. Все страны мира испытывают потребность в уменьшении экономического ущерба и снижении угрозы для жизни людей от стихийных бедствий.

1. Определение предмета

Экономическая метеорология содержит научные знания о сложных процессах зависимости человеческой деятельности от погоды и климата и об оптимальной адаптации к ним на основе информации, разрабатываемой в гидрометслужбе.

Экономическая метеорология — наука, изучающая закономерности влияния погоды и климата на экономическую и социальную сферы, оптимальную адаптацию к ним и экономическую полезность метеорологической информации.

Экономическая метеорология изучает методы экономически выгодного использования метеорологической информации, что обеспечивает как снижение потерь, так и рост доходов в конкретной отрасли народного хозяйства.

Как любая область науки, экономическая метеорология сформировалась в результате растущих запросов практики, многовекового „противоборства” человека с природой. В ранние исторические периоды жизнедеятельность человека практически полностью лимитировалась проявлениями внешней среды и в особенности погодой и климатом. Это прежде всего относилось к расселению людей и земледелию, которые целиком зависели от грядущей погоды и климата. По мере развития материального производства возрастала способность человека противостоять стихии. Яркий пример тому — эпоха географических открытий.

Однако растущие масштабы производства, качественное совершенствование техники и технологии ставили хозяйственную деятельность все в большую зависимость от погоды и климата. Нарастающая способность противостоять стихии не могла кардинально освободить человека от метеорологической зависимости. Схематически эти исторические параллели приведены на рис. 1.

Несмотря на высокий научно-технический уровень общественного развития и огромные организационные усилия всех звеньев управления экономикой, достичь полной автономии поведения в метеорологической среде не удастся. Прорыв из сферы метеороло-

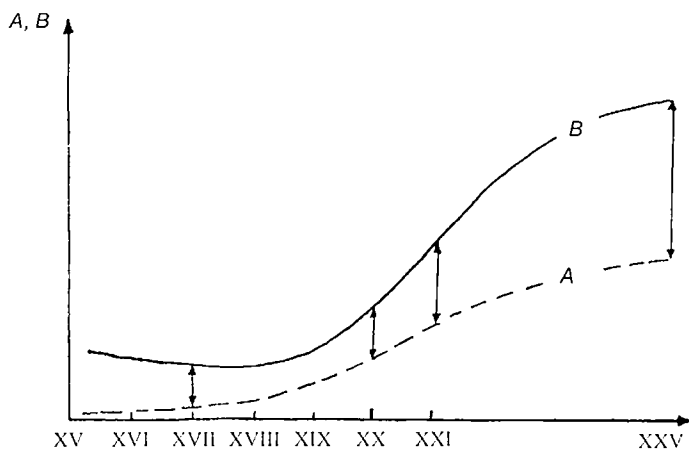


Рис. 1. Схематическое отображение динамики противостояния стихии A и метеорологической зависимости B.

гической зависимости принципиально не состоялся¹. В этой связи метеорологическая информация приобрела статус *постоянного ресурса* в хозяйственной практике. Обеспечение запросов практики данными о климате и особенностях погоды в отдельных регионах позволяет *успешно, экономически расчетливо, целесообразно* решать многие проектные, конструкторские, технические и оперативные хозяйственные задачи. В этом и состоит производственная предметность экономической метеорологии.

Значительная роль в народном хозяйстве отводится прогнозам погоды. Метеорологическая информация и прогнозы погоды в особенности получают все более дифференцированное использование в зависимости от конкретных технических, производственных или иных хозяйственных задач. В этом заключается *специфическая, отраслевая предметность* экономической метеорологии. Так, при создании механизмов и машин различного назначения учитываются стандартизированные климатические характеристики района их эксплуатации, что позволяет выбрать экономически выгодное технологическое решение.

Как упреждающая метеорологическая информация, прогнозы погоды для различных областей производства составляются с уче-

¹ В 1930-е годы возникло ретроспективное представление о „малости” роли прогнозов в производстве, в частности применительно к авиации. Практика метеорологического обеспечения показала несостоятельность такого рода утверждения. „Всепогодность” некоторых видов транспорта была и остается недооценкой роли метеорологического фактора, его места в технической революции.

том специфики этого производства, его пространственных и временных масштабов. Этим обусловлена и различная оценка экономической полезности прогнозов для разных областей производства.

В конечном счете *материализация прогноза* как научно-производственной информации — это целевая задача службы прогнозов, а оценка *результативности* этого процесса в рамках системы погода—прогноз—потребитель есть задача экономической метеорологии. Таким образом, экономическая метеорология — это теоретическая база специализированного метеорологического обеспечения отраслей народного хозяйства.

За весь исторический период метеорологическое обеспечение как базовое условие экономической метеорологии претерпело существенные изменения. С начала становления службы прогнозов в 1872 г. до 1980-х годов оно прошло *экстенсивный путь* развития. Это означает, что экономическая полезность прогностической информации для конкретной области производства была связана главным образом с ростом оправдываемости метеорологических прогнозов.

Однако в последнее десятилетие успешность прогнозов уже достигает определенного уровня стабилизации, „насыщения” (см. п. 6.1). В перспективе эффективность метеорологического обеспечения за счет прироста успешности будет существенно исчерпана. Каждый процент прироста успешности обходится уже все более дорогой ценой.

Будущее метеорологического обеспечения ориентировано на *интенсивный путь* развития. Экономическая полезность метеорологических прогнозов уже сегодня определяется главным образом тем, насколько потребитель располагает современной системой (технологией) их оперативного использования. Это не только применение экономически оправданных мер защиты, но и выбор наиболее удачных, приоритетных хозяйственных решений, обеспечивающих максимальную выгоду.

Переход специализированного метеорологического обеспечения на интенсивный путь развития возможен благодаря использованию на практике ряда положений экономической метеорологии. Главное положение состоит в том, что потребитель осуществляет *реализацию* метеорологической информации (продукции) в производстве и *перевод ее в стоимостную форму*.

Метеорологическая продукция выступает в качестве носителя полезности в конкретной области приложения. Потребитель же осуществляет перевод этой продукции на язык рубля, *генерируя полезность* ее в процессе решения целевой задачи. Это достигается

посредством применения различных „метеоролого-экономических моделей” в рамках постоянно действующей системы погода—прогноз—потребитель.

Экономическая метеорология исследует практическую результативность прогностической информации, а также включает широкий круг вопросов экономической полезности использования исходной (текущей) метеорологической информации, ее роль в решении задач краткосрочной хозяйственной практики.

Развитие отраслей экономики, промышленное освоение территорий Крайнего Севера и Дальнего Востока страны потребовали обширных знаний о климате отдельных регионов. Специальные климатические показатели стали обязательным условием осуществления многочисленных видов проектирования и планирования, технических разработок, производственного процесса, строительства и т. п.

Часть метеорологической информации собирается и обрабатывается в целях изучения метеорологического режима — климата. Устанавливаются его статистические характеристики по отдельным метеорологическим величинам, а также разрабатываются комплексные показатели климата, которые имеют конкретную прикладную область использования. Ряд специальных характеристик климата содержится в отдельных разделах такого нормативного документа, как „Строительные нормы и правила” (СНиП). Используя известные нормативные показатели климата, потребитель может определить их экономическую полезность или задать иной нормативный показатель с последующим выбором оптимального решения. Эта область реализации метеорологической информации также включается в предмет исследования экономической метеорологии.

Экономическая метеорология есть область научных знаний, которая изучает:

— *влияние метеорологических условий на практическую деятельность человека;*

— *теоретические основы и методы оптимального использования метеорологических сведений в решении хозяйственных, технологических задач в целях постоянной адаптации к метеорологическим условиям;*

— *методы численных оценок экономической полезности метеорологической информации;*

— *обобщенный учет основных показателей влияния погодных условий и климата в интересах устойчивого развития общества.*

Особое место в экономической метеорологии отводится методам оценки экономической полезности метеорологической информации.

Для того чтобы эффективно использовать метеорологическую информацию, необходимо всесторонне изучить следующее:

1) *влияние* метеорологических условий на широкий спектр практической деятельности человека;

2) возможности *теоретических разработок и методов* оптимального применения метеорологических сведений в хозяйственной деятельности, в технологических и технических решениях;

3) *методы численных оценок* экономической полезности использования метеорологической информации в различных отраслях экономики;

4) теоретические модели *учета* основных показателей влияния погодных и климатических условий в *хозяйственных программах* регионального и федерального масштабов в целях достижения *устойчивого развития общества*.

Только в хозяйственной практике, как видим, раскрывается экономическое содержание метеорологической информации. Это и есть область знаний, относящаяся к *экономической метеорологии*.

Экономическая метеорология развивается на стыке таких наук, как метеорология, экономика, математика и кибернетика, поэтому она естественно использует:

— ряд принципов, применяющихся при разработке экономикоматематических методов и моделей;

— известные подходы в разработке математико-статистических методов;

— ряд понятий из области математической экономики и эконометрии (теории производственных функций, национальных счетов и др.);

— ряд подходов из области экономической кибернетики (системный анализ экономики, теория экономической информации).

На основании сказанного выделим следующее.

Экономическая метеорология преследует цель обобщения в единую конструкцию, методологическую основу оценки эффективности использования научных знаний в области прикладной метеорологии, составными звеньями которой выступают такие научные разделы, как сельскохозяйственная метеорология, морская, транспортная, строительная и ряд других.

Если метеорология как область науки есть метод изучения соответствующей среды, то экономическая метеорология есть метод изучения экономически оптимального использования полученных знаний об атмосфере и оценки их полезности.

2. Краткие сведения из истории развития экономической метеорологии

На протяжении всей истории метеорологической службы в недрах ее формировалась научная основа экономической метеорологии.

В первой половине XIX в. в основном завершилась организация регулярных метеорологических наблюдений и основание геофизических обсерваторий в некоторых городах России (в Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Казани и др.).

К этому периоду относится возрождение научных знаний в различных областях метеорологии и их практического применения. Определяя задачи создаваемой в Санкт-Петербурге Главной физической обсерватории (ГФО, 1849 г.), основатель Российской метеорологической службы А. Я. Купфер отмечал, что служба погоды принесет *величайшую пользу* человеку, жизнь и деятельность его „не будут зависеть от слепого случая, ... *можно будет предупреждать* столь великие следствия, причиненные бурями” и другими метеорологическими явлениями. Большое внимание впоследствии уделялось изучению ветров и развитию штормов. Их прогнозирование широко использовалось в интересах коммерческого и военно-морского флота.

Вместе с тем развивались *практически значимые области метеорологии: континентальная* (исследование атмосферы над сушей), *морская* (исследование атмосферы над морем), *земледельческая* (исследование влияния погоды на успех урожая), *медицинская* (исследование влияния состояния атмосферы на здоровье людей). Была выделена такая область метеорологической науки, как *статистическая метеорология* (А. Я. Купфер, 1865 г.), в задачу которой входило *изучение ущерба и возможной защиты от опасных условий погоды*.

Служба погоды в России (ГФО и другие обсерватории) обеспечивала интересы Морского ведомства, земледелия и транспорта.

Будучи директором ГФО, М. А. Рыкачев продолжал уделять внимание практической значимости метеорологических исследований и прогнозов погоды. Были внедрены в практику мореплавания штормовые предупреждения по ряду портов России. Начали составляться прогнозы для нужд сельского хозяйства.

В 1912 г. при Академии наук был организован специальный комитет ГФО, имевший полномочия *оценивать метеорологическую деятельность в хозяйственных интересах страны*. Все в большей мере раскрывалась *экономическая полезность* метеорологических прогнозов, широко используемых для практических нужд России. Некоторые министерства, понимая ценность прогностической ин-

формации, предприняли организацию самостоятельных метеорологических служб. Для оперативного обслуживания торгового мореплавания Морское министерство организовало метеорологическую службу торговых портов, а Министерство путей сообщения — специализированное метеорологическое обслуживание железных дорог.

Метеорологическое обеспечение сельского хозяйства осуществлялось ГФО.

21 июня 1921 г. В. И. Ленин подписал „Декрет об организации метеорологической службы в РСФСР”. В последующие годы были созданы республиканские, краевые и областные метеорологические бюро — прообразы современных УГМС Росгидромета.

Впервые на государственном уровне *экономическое значение метеорологии*, как одной из составляющих экономического развития, рассматривалось на Первой всесоюзной конференции по изучению производительных сил страны, проходившей в Москве 20—26 марта 1923 г.

Главная геофизическая обсерватория (ГГО) получила статус „центрального научно-исследовательского института” и возглавила организацию *единой общегосударственной службы погоды и метеорологического обеспечения народного хозяйства*.

Придавая большое значение метеорологическим прогнозам, М. А. Омшанский (ГГО, 1936 г.) впервые предложил давать им экономическую оценку. Тем самым были предприняты первые разработки в области экономической метеорологии.

В последующие десятилетия накопившийся опыт и статистический багаж специализированного метеорологического обеспечения позволили вести теоретические разработки основ оптимального использования метеорологической информации.

Госплан СССР нацеливал метеорологическую службу на решение таких научно-практических вопросов, которые были бы *максимально полезны* для хозяйственного строительства в СССР.

Индустриализация страны, восстановление и развитие народного хозяйства потребовали всестороннего экономически выгодного использования метеорологической информации.

В рамках Второго Международного полярного года (1932 г.) был осуществлен удачный рейс ледокольного парохода „Сибиряков” из Архангельска во Владивосток Северным морским путем за одну навигацию. Идея грузоперевозок между арктическими портами получила практическое подтверждение и обозначила необходимость и экономическую целесообразность гидрометеорологического обеспечения Северного морского пути, а главное — *прогнозирование условий плавания*, выбора экономичных и безопасных путей следования судов.

В послевоенный период Гидрометслужба была полностью включена во все программы, связанные с восстановлением и развитием экономики. Гидрометеорологическое обслуживание народного хозяйства с годами все больше оценивалось с позиции *экономической полезности* использования метеорологической информации. По инициативе Е. К. Федорова в 1966 г. в системе гидрометеорологической службы были впервые начаты широкомасштабные исследования *экономической полезности оперативного обслуживания отраслей экономики*. Во всех прогностических подразделениях проводились расчеты экономического эффекта использования прогнозов и другой метеорологической продукции отдельными потребителями. Это были первые и далеко не однозначные оценки, которые проводились без достаточной методической основы.

Проблеме экономической полезности метеорологической информации были посвящены всесоюзные конференции, совещания, семинары, проводимые в 1970-е годы в Киеве, Алма-Ате, Москве и других городах страны.

Теория и практика экономической полезности метеорологического обеспечения находят отражение во многих научных работах. Появляются первые монографии, обобщающие результаты исследований по использованию метеорологической информации предшествующих лет.

Значительные исследования выполнены Н. А. Багровым, Г. В. Грузой, Л. С. Гандиным, Е. Е. Жуковским, Г. А. Карпеевым и другими.

Экономическая эффективность метеорологической информации отражена и во многих публикациях зарубежных авторов, таких как А. Мерфи, Е. Епстейн, И. Грингортен, Дж. Томпсон, В. Мейсон.

В итоге экономическая метеорология как область научных знаний по существу оформилась уже в 1980—1990-е годы.

В планы подготовки специалистов метеорологов, гидрологов, океанологов были включены программы учебных дисциплин, содержащих теоретические основы оптимизации использования метеорологической и гидрометеорологической информации и оценки ее экономической полезности. В ряде работ предложены подходы оценки экономического эффекта и экономической эффективности метеорологических прогнозов и раскрыты методологические основы адаптации потребителей к ожидаемым условиям погоды. Предложен ряд показателей учета влияния погодных условий в системе национальных счетов в целях более полной оценки устойчивого развития экономики.

Раздел I

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Глава I

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

1.1. Метеорологическая информационная сеть

Состояние природной среды, окружающей человека, постоянно подвергается изменениям — от малозаметных до катастрофических, вызывающих социальные потрясения и экономические потери. Эти изменения постоянно учитываются в целях обеспечения безопасности населения и постоянного функционирования всех отраслей экономики.

Сбор метеорологической информации осуществляется посредством разработанной системы визуальных наблюдений и инструментальных измерений состояний и свойств атмосферы. Это важнейшая область работ гидрометеорологической службы России.

Возглавляемая в настоящее время Росгидрометом *государственная метеорологическая информационная сеть* включает в себя: *систему наблюдений* на стационарных пунктах (гидрометеорологических станциях, постах) и подвижных объектах (судах, самолетах, спутниках) за состоянием атмосферы; *систему сбора и распространения* данных наблюдений и обработанной информации в соответствии с утвержденными технологическими схемами; *систему обработки* полученной информации в целях анализа и прогноза погоды, разработки оповещений и предупреждений об опасных (ОЯ) и неблагоприятных (НГЯ) гидрометеорологических явлениях; *систему доведения* метеорологической информации (текущей, прогностической, климатологической) до потребителя.

Сеть метеорологических станций, на которых осуществляются визуальные и инструментальные наблюдения, охватывает все 27 территориальных управлений Росгидромета.

Территория местных управлений сильно различается по площади, по региональным и климатическим условиям. Эти управле-

ния охватывают площадь ряда административных территорий. Так, Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СЗУГМС) осуществляет руководство всеми видами работ в области гидрометеорологии и контроля за состоянием природной среды по территории Санкт-Петербурга, Ленинградской, Новгородской, Псковской, Смоленской, Тверской областей, Республики Карелии и по акватории восточной части Финского залива (рис. 1.1).

Доведение метеорологической информации до потребителей и анализ результатов ее использования — целевая задача современной службы погоды.

Это относится не только к прогнозам погоды и предупреждениям об опасных метеорологических условиях для отраслей экономики и населения. Значительное место в метеорологической практике занимает разработка справочных и нормативных материалов, необходимых для планирования и проектирования, решения задач социальной сферы, решения проблем в области экологии, медицины и др.

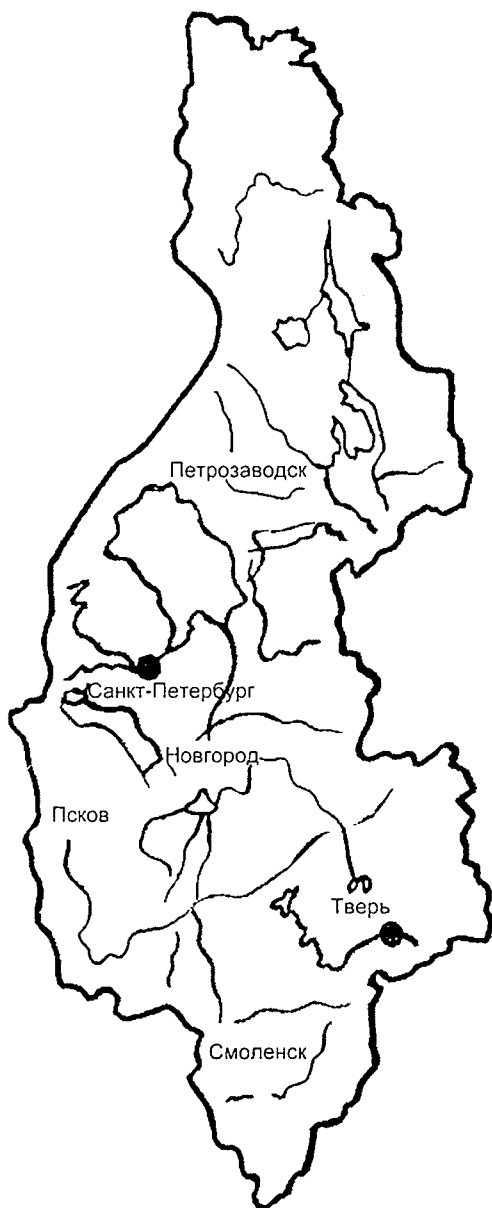


Рис. 1.1. Территория, которую обслуживает Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Все это требует большого разнообразия метеорологической и гидрометеорологической информации в целом.

К основным *физическим свойствам* метеорологической среды — среды обитания и жизнедеятельности — относятся: атмосферное давление, температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра. Сюда же включаются и такие комплексные характеристики свойства атмосферного воздуха, как плотность, эффективная и эквивалентная температура и др.

Физическое состояние метеорологической среды выражают: скорость и направление ветра, облачность, осадки, продолжительность солнечного сияния и др.

Выделяют также такие явления погоды, как туман, грозы, метели, пыльные бури, обледенение и др.

Метеорологические характеристики, отражающие свойства и состояние атмосферы, относят к *метеорологическим величинам*.

Полная характеристика погоды дается на основании знаний метеорологических величин и явлений погоды. Однако фактически наблюдаемые и инструментальные значения метеорологических величин в пространственно-временном измерении являются дискретными, отнесенными к заданной точке (пункту) и моменту (или относительно малому отрезку) времени.

Система изначального получения метеорологических данных является основой функционирования всех остальных систем Гидрометслужбы.

Предложенный „Наставлением” комплекс метеорологических наблюдений у земной поверхности проводят метеорологические станции I, II, III разрядов. Полный объем наблюдений выполняется на метеорологических станциях I разряда. Наряду с этим они осуществляют обеспечение организаций, предприятий и учреждений результатами метеорологических и агрометеорологических наблюдений, справочными и местными материалами по климату, прогнозами и предупреждениями об опасных условиях погоды, полученными из прогностических подразделений территориальных управлений Гидрометслужбы.

В труднодоступных и необжитых районах устанавливаются автоматические радиометеорологические станции, как обслуживаемые, так и автономные.

В целях обеспечения авиации текущей и прогностической информацией метеорологические и аэрологические наблюдения осуществляются на авиационных метеорологических станциях (гражданской авиации) — АМСГ (I—IV разрядов) и авиаметеорологическими центрами (АМЦ).

На метеорологических станциях ведутся специальные агрометеорологические наблюдения за состоянием сельскохозяйственных культур на полях ближайших сельскохозяйственных производственных объединений и совхозов. Метеорологические наблюдения ведутся на морских судовых и береговых (I и II разрядов), на буйковых станциях, в шельфовой зоне морей в некоторых пунктах — на морских сооружениях (платформах или сооружениях свайного типа).

Особая роль в оценке свойств высоких слоев атмосферы отводится аэрологическим станциям, выполняющим наблюдения путем радиозондирования. Наряду с этим используется радиолокационный метод наблюдения за такими метеорологическими объектами, как облака, осадки, который позволяет обнаружить грозы, ливни, град и прогнозировать их.

Метеорологические станции охватывают всю территорию России и прилегающие моря, но распределяются они крайне неравномерно. Более плотная сеть станций приходится на европейскую территорию России (ЕТР).¹

Это обстоятельство делает данный регион своего рода полигоном экономических оценок полезности метеорологических прогнозов. Многие станции и посты концентрируются в промышленных районах, что связано со специализированным метеорологическим обеспечением строительства, энергетики, транспортных средств и др. Целесообразность размещения метеорологических станций определяется как запросами народного хозяйства, так и научной необходимостью.

Районы севера, островные территории Севморпути имеют редкую сеть метеорологических наблюдений, хотя в экономическом отношении это богатейшие области природных ресурсов России. В высоких широтах Арктики особую ценность представляют метеорологические и иного рода наблюдения, осуществляемые на дрейфующих станциях „Северный полюс”.

После длительного перерыва были осуществлены экспедиционные работы (с апреля 2003 г. по март 2004 г.) на дрейфующей станции „Северный полюс-32”. На станции проводились метеорологические наблюдения, плановые исследования атмосферы и океана, озонового слоя в северном полушарии и другие научные исследования. Все это направлено на экономически эффективное освоение богатейших ресурсов арктического региона.

¹ В 2004 г. в России насчитывалось 3497 метеорологических станций и постов и 140 аэрологических станций, выполняющих программные наблюдения.

С 1966 г. в оперативную прогностическую работу была включена принципиально иного рода „сеть наблюдений”, осуществляемых с помощью искусственных спутников Земли (ИСЗ). Они регулярно передают на наземные станции телевизионные изображения облачности, снежного и ледяного покрова, информацию о тепловом излучении земной поверхности и облаков.

Слежение за динамикой облаков в виде изменения их форм, размеров и конфигураций позволяет давать заключения об эволюции барического поля, главным образом циклонов — основных носителей резких изменений погодных условий. Информация, получаемая со спутников, стала базовой в *спутниковой синоптике*.

1.2. Основные виды метеорологической информации, используемой в народном хозяйстве

Метеорологическая информация, получаемая непосредственно от сети метеорологических, аэрологических, радиолокационных и других специальных континентальных станций и источников наблюдения (морские суда, самолеты, ИСЗ и др.) за состоянием атмосферы во всей ее толще, представляет собой *первичную метеорологическую информацию*. Она должна отвечать следующим главным требованиям:

1) использование *унифицированных* современных средств и способов наблюдения и передачи с минимально допустимыми ошибками и потерей информации;

2) получение таких данных метеорологических наблюдений (у земной поверхности и на высотах), которые *адекватно* отражали бы состояние атмосферы и протекающие в ней физические процессы, чтобы можно было сделать правильное заключение о текущей и будущей погоде;

3) передача информации унифицированным цифровым кодом, позволяющим *дешифровать* метеорологические сводки с однородным содержанием;

4) обладать большой скоростью и мобильностью передачи в центры сбора.

Перечисленные требования выполняются не полностью, что прямо сказывается на качестве прогнозов.

В системе Гидрометслужбы наряду с метеорологической и гидрологической информацией получают и экологическую информацию.

Полная программа наблюдений за состоянием среды включает 27 видов гидрометеорологической информации и осуществляется в

рамках Государственной гидрометеорологической службы, руководимой Росгидрометом:

1) метеорологическая	16) болотная
2) авиаметеорологическая	17) снеголавинная
3) актинометрическая	18) селестоковая
4) теплобалансовая	19) морская прибрежная
5) аэрологическая	20) морская экспедиционная
6) радиометеорологическая	21) морская судовая
7) агрометеорологическая	22) химического состава осадков
8) озонметрическая	23) радиометрического загрязнения
9) атмосферного электричества	24) загрязнения атмосферного воздуха
10) геомагнитная	25) загрязнения поверхностных вод суши
11) ионосферная	26) загрязнения морских вод
12) испарений (почва, снег, вода)	27) загрязнения почвы
13) гидрологическая	
14) озерная	
15) воднобалансовая	

Каждая программа наблюдений направлена на получение определенного вида информации, что предусматривает наличие специальных пунктов наблюдения, станций и лабораторий.

Метеорологическая информационная продукция включает в основном девять первых видов информации. Кроме того, метеорологические наблюдения проводятся на всех других станциях (гидрологических, озерных, морских и т.п.).

Первичная метеорологическая информация может быть *регулярной* — систематические наблюдения за состоянием погоды, и *нерегулярной* — наблюдения по специальному назначению (штормовые оповещения, метеорологические наблюдения по запросам, по специальным эпизодическим программам и т.д.).

Первичная метеорологическая информация является основой для *разработки метеорологических* и других видов *прогнозов*, а также для расчета климатических характеристик по заданному пункту, району, региону. Это уже *вторичная метеорологическая информация*. Особое значение при этом имеет *ценность* используемой информации.

Ценность метеорологической информации включает в себя ряд таких понятий, как *значимость* (влияние на качество решений), *употребимость* (частота использования), *своевременность* (возможность старения информации), *достоверность* (степень определенности результатов), *полезность* (экономическая доля в решении производственной задачи).

Потребители в наибольшей степени заинтересованы в получении данных о фактических и прогностических условиях погоды, включая специализированные прогнозы, что в итоге составляет 83,3 % *информации*. Вторичная информация позволяет сделать заключение о метеорологическом режиме, о многолетних особенностях изменения тех или иных метеорологических величин, о текущих и будущих изменениях атмосферных процессов.

Выделяют два класса метеорологической информации, используемой в народном хозяйстве. Первый класс метеорологической информации предназначен для специализированного метеорологического обеспечения отраслей экономики, отдельных видов производственных работ. К *первому классу* относится климатологическая информация, имеющая нормативное содержание: средние, экстремальные, вероятностные и другие статистические характеристики метеорологических величин и явлений погоды. В первый класс включаются и прогнозы погоды, а также предупреждения об ОЯ или НГЯ. Ко *второму классу* относится метеорологическая информация консультативного назначения: текущая информация о состоянии погоды, прогнозы погоды на месяц, различного рода справки, обзоры, консультации.

Потоки исходной метеорологической информации ежедневно поступают в прогностические центры, в которых проводятся разработки прогнозов различных видов и назначений. В конечном счете текущая метеорологическая информация постоянно направляется во Всероссийский научно-исследовательский гидрометеорологический институт Международного центра данных (ВНИИГМИ—МЦД). Эта же информация включается в зарубежный обмен, что является непременным условием более полного анализа макросиноптических процессов на обширных территориях континентов и акваториях океанов в целях успешного краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного прогнозирования погоды.

1.3. Прогностическая информация

Разработкой прогнозов занимаются практически во всех областях человеческой деятельности. В зависимости от объекта изучения различают *научно-технические, естествоведческие* и *обществоведческие* (социальные) прогнозы. При разработке этих типов прогнозов между ними существует постоянная информационная взаимосвязь. Связующим звеном всегда выступает информация о состоянии природной среды. Особое место в ней занимают *метеороло-*

гические прогнозы, которые относятся к естественным.¹ Метеорологические прогнозы содержат в сжатой форме информацию о будущем состоянии погоды, необходимую для принятия экономически выгодного решения производственных задач на основании оптимального учета ожидаемых метеорологических условий.

В качестве инструментария прогнозирования будущего состояния погоды используется *моделирование* атмосферных процессов как на базе их синоптического анализа, так и путем привлечения уравнений термодинамики атмосферы. Для конкретного прогноза отдельных метеорологических величин и явлений погоды используются индивидуальные *методы прогнозирования* или их комплексирование. Применение совокупности методов, способов прогнозирования, различных правил и рекомендаций позволяет вести разработку прогноза погоды в целом. Оперативные метеорологические прогнозы содержат информацию о комплексе ожидаемых значений метеорологических величин и явлений погоды.

В хозяйственной практике многих потребителей интересуют лишь отдельные составляющие погоды: это могут быть скорость и направление ветра, или температура воздуха, или отдельные явления погоды. В зависимости от специфики и сложности производственных операций возникает необходимость знания будущего состояния определенного комплекса метеорологических величин (двух-трех составляющих погоды). Например, прогноз скорости ветра, температуры воздуха и количества осадков, который используется в хозяйственной практике морских портов, электросистем (ЛЭП), открытых горных работ и т. п.

Прогностическая информация занимает ведущее место в функциональной ценности всех видов метеорологической информации. Согласно исследованиям, выполненным в ГГО Г. П. Вимбергом и П. П. Бойцовым, установлено, что ценность метеорологических прогнозов, включающих как необходимое условие результаты анализа исходного состояния погоды, превышает 70 % (табл. 1.1).

Метеорологические прогнозы выступают в хозяйственной практике как природо-информационный ресурс, обеспечивающий оптимальные действия потребителя. Это позволяет минимизировать его издержки (потери, затраты) в случаях неблагоприятных воздействий погоды и максимизировать выгоды за счет благоприятных метеорологических условий.

¹ Наиболее полное пояснение методологических основ прогнозистики как науки о закономерностях разработки прогнозов дано в учебнике профессора В. И. Воробьева „Синоптическая метеорология” (Л., 1991) и в монографии авторского коллектива „Рабочая книга по прогнозированию” (М., 1982).

Функциональная ценность видов метеорологической информации

Вид информации	Ценность, %
Фактические данные о состоянии погоды в реальном масштабе времени	18,4
Данные об опасных явлениях погоды	11,8
Результаты анализа фактического состояния погоды	17,5
Краткосрочные прогнозы погоды	15,4
Долгосрочные прогнозы погоды	6,6
Прогнозы специального назначения	13,6
Результаты предвычислений параметров среды на ЭВМ	5,7
Статистико-климатологические описания, справки и режимные пособия	11,0
Итого	100,0

Современные метеорологические прогнозы разрабатываются на основании двух научных подходов: статистического (физико-статистические исследования на базе синоптических данных) и гидродинамического, основанного на решении системы уравнений гидротермодинамики. Второй подход играет все более значимую роль.

В синоптической практике разработка прогнозов погоды выполняется с использованием численного прогноза метеорологических полей: давления воздуха у земной поверхности (p_0); геопотенциальных высот (H_{850} , H_{700} , H_{500} и др.); ветра (направление и скорость); температуры воздуха в нижней части тропосферы (OT_{1000}^{500}). Непосредственная разработка ожидаемых условий погоды базируется на синоптическом методе, включающем анализ и прогноз перемещения воздушных масс, атмосферных фронтов, циклонов и антициклонов и их эволюцию.

Прогнозы погоды различают по охвату территории:

1) *прогнозы по пункту* — ожидаемая погода в конкретном пункте в пределах района обслуживания (обеспечения);

2) *прогнозы по району* — ожидаемая погода во всем районе в виде прогнозов по отдельным частям его;

3) *прогнозы по маршруту* (трассе) — ожидаемая погода по пути следования транспортного средства на известном стандартном или заданном участке.

В зависимости от периода действия прогнозы погоды определяют следующим образом:

1) *сверхкраткосрочный* прогноз — от десятков минут до нескольких часов;

- 2) *краткосрочный* прогноз — от полусуток до 48 часов;
- 3) *среднесрочный* прогноз — на 3—10 суток;
- 4) *долгосрочный* прогноз — на месяц, сезон;
- 5) *сверхдолгосрочный* прогноз — на год или несколько лет.

В зависимости от периода действия прогноза частота их составления различна. Сверхкраткосрочные прогнозы, разрабатываемые для авиации, составляются наиболее часто. Так, для крупного аэрометеорологического центра (АМЦ) число таких прогнозов исчисляется десятками в течение суток. Краткосрочные прогнозы разрабатываются в гидрометцентре и в других прогностических подразделениях один раз в сутки с двумя 12-часовыми интервалами (ночь—день) или несколько раз, если период действия прогноза определяется интервалом 3—12 часов.

В зависимости от интенсивности, производственной и социальной опасности ожидаемого гидрометеорологического явления экстренно разрабатывается *штормовое предупреждение*. Это могут быть: очень сильный ветер, в том числе шквалы, смерчи, очень сильные осадки, крупный град, сильная метель, сильная песчаная (пыльная) буря, очень сильные гололедные отложения, очень сильный продолжительный туман, сильное загрязнение атмосферы (смог) и другие.

При угрозе возникновения ОЯ штормовое предупреждение передается незамедлительно всем заинтересованным потребителям (производственным организациям), администрации (правительству) соответствующего субъекта Российской Федерации. Наряду с этим о возможной угрозе ОЯ и штормовых оповещениях, поступающих с метеорологических станций, ставится в известность Росгидромет, Гидрометцентр России и ВНИИГМИ—МЦД.

Приведенная выше терминология и определение периода действия прогноза выработаны практикой и отвечают определенным требованиям хозяйственной деятельности потребителя.

По назначению метеорологические прогнозы разделяются на два основных вида: *общие прогнозы погоды*, или *прогнозы общего назначения*, передаваемые для населения по радио, телевидению, помещаемые в газетах, и *специализированные* прогнозы, которые разрабатываются в прогностических подразделениях Гидрометслужбы и *предназначены для использования* в отдельных отраслях народного хозяйства.

Специализированные прогнозы по степени утверждения достоверности могут быть: категорическими и вероятностными.

Категорическими прогнозами называются такие, в которых указывается только градация прогнозируемой метеорологической

величины или фаза явления погоды. Градация метеорологической величины дается в виде чисел границ интервала, причем ширина интервала устанавливается заранее, а значения границ изменяются.

По форме такие прогнозы содержат категорическое утверждение, которое в действительности не имеет 100%-ной обеспеченности. Поэтому категорическим прогнозам приписывается иногда более жесткая терминология в виде, например, „условные”, „ненадежные”. Прогнозы, конечно, не идеальны, но на сегодня достаточно надежны.

Категорические прогнозы будут *формальными*, если каждый раз прогнозируется одна и та же фаза погоды. Современные официальные прогнозы как общего назначения, так и специализированные состояются пока преимущественно в категорической форме.

Формулировка категорического прогноза включает ряд метеорологических величин и явлений погоды в соответствии с порядком, установленным Руководящим документом РД 52.88.629—2002 (СПб.: Гидрометеиздат, 2002. — 42 с.).

Вероятностными прогнозами называются такие, в которых значению (градации, фазе) метеорологической величины приписывается ожидаемая их *достоверность*, выраженная в вероятностной форме. Формулировка каждого прогноза рассматривается с позиции вероятностной природы осуществления условий погоды и ее составляющих в отдельности.

При возрастании качества вероятностного прогноза в пределах его ожидаемая достоверность стремится к уровню категорического утверждения, т. е. к 100%-ной вероятности возможного осуществления прогнозируемого условия погоды. Отсюда следует, что категорические прогнозы можно рассматривать как простейший вид, *частный случай* вероятностных прогнозов.

Вероятностная форма прогноза является наиболее совершенной и приемлемой в целях оптимального использования прогностической информации в хозяйственной практике.

На основании статистически обеспеченного ряда категорических прогнозов и данных фактических наблюдений можно составить матрицу сопряженности условий „прогноз”—„факт” и полученные частоты сопряжения выразить в вероятностной форме. Вероятностная форма представления категорического прогноза вполне допустима и широко используется в решении многих метеоролого-экономических задач. Такой вероятностный прогноз отражает степень осуществления текста прогноза лишь в среднем, в то время как *оперативный вероятностный прогноз* рассчитывается прогнозистом на основании конкретной синоптической ситуации.

Специализированные прогнозы представляют собой основное содержание повседневной работы службы погоды. Время их составления и передачи регламентируются соответствующими соглашениями, которые устанавливаются между прогностическими подразделениями и потребителями прогнозов погоды. Однако прогнозы опасных и особо опасных условий погоды (ураганные ветры, наводнения, снегопады и сильные метели, сильные пыльные и черные бури и другие явления погоды), представляющих стихийные бедствия, должны передаваться для населения и народнохозяйственных организаций незамедлительно.

Многообразие требований, предъявляемых к прогнозам различными отраслями народного хозяйства, привели к существенному различию специализированных прогнозов между собой. Различается содержание прогноза по характеристике тех метеорологических элементов и явлений погоды, которыми интересуется данная отрасль. Так, в *авиационных прогнозах* в первую очередь обращается внимание на облачность, дальность видимости, туман, грозы; в *морских прогнозах* — на направление и скорость ветра, волнение на море; в *сельскохозяйственных прогнозах* — на количество осадков, увлажнение почвы, заморозки и т. д.

В некоторых прогностических подразделениях особое внимание уделяется прогнозам таких гидрометеорологических условий, которые вызывают опасные воздействия на производственный или природный объект. Это прогнозы обледенения морских и воздушных судов, горимости леса, лавиноопасности, селевых потоков, снеготаносов, цунами, наводнения в устьях рек (например, в устье р. Невы), медико-метеорологических условий, загрязнения воздуха, условий зимнего выпаса скота (в районах отгонно-пастбищного животноводства), ледяной корки (в оленеводческих районах), температуры рельсов (для железнодорожного транспорта). Кроме того, разрабатываются прогнозы оптимального маршрута (пути) следования морского транспорта и рыболовецкого флота.

Этот неполный перечень метеорологических прогнозов показывает широту спектра специализированной прогностической информации.

Специализированные прогнозы могут быть постоянными, сезонными и временными (в течение нескольких дней, недель), разрабатываемыми для выполнения отдельных срочных и важных хозяйственных мероприятий. Кроме того, могут быть разовые специализированные прогнозы по заявкам. Консультации ряда народнохозяйственных организаций о предстоящей погоде также следует рассматривать как специализированные прогнозы, выраженные в более подробной, устной форме.

К специализированным прогнозам относятся и штормовые предупреждения, и предупреждения об ОЯ, составляемые в связи с угрозой возникновения особо опасных явлений и условий погоды. К этим прогнозам потребитель относится с повышенной требовательностью и придает им особое экономическое значение.

К специализированным прогнозам предъявляются следующие требования.

1. Прогнозы должны передаваться потребителю с достаточной для него заблаговременностью. Заблаговременность прогноза есть промежуток времени от момента передачи прогноза потребителю до начала осуществления прогнозируемого явления. Потребитель постоянно требует увеличения заблаговременности, ибо в этом видит практическую полезность прогнозов. Однако с увеличением заблаговременности уменьшается успешность прогнозов. Минимум заблаговременности специализированных прогнозов устанавливается потребителем на основании опыта использования прогнозов, а максимум — прогностическим подразделением, исходя из существующих возможностей прогнозирования. Здесь определено лишь одно: чем больше период действия прогноза, тем больше должна быть его заблаговременность. Так, долгосрочные прогнозы, например за месяц, сезон, имеют заблаговременность полмесяца, месяц. До сих пор в случае долгосрочных прогнозов не совсем удачно еще используется термин „прогнозы малой или большой заблаговременности”.

2. Прогнозы должны иметь устойчиво высокую успешность, т. е. высокую степень соответствия прогнозируемой погоды фактической. Успешность определяется по достаточно большому числу прогнозов. Прогнозист должен вполне квалифицированно различать существо ошибок прогноза, учитывать их различное влияние на производство.

3. Выдаваемый потребителю текст (содержание) прогноза должен обладать таким свойством, при котором прогнозист не имеет возможности заранее оказывать влияние на успешность прогноза. От этого недостатка свободны прогнозы, сформулированные в вероятностной форме.

4. Потребителю необходимы такие утверждения в осуществлении погоды, которые не оставляли бы места для домыслов и позволяли бы наиболее оптимально их использовать в математико-экономических моделях производства. Для этого также необходима вероятностная форма прогноза. Однако в настоящее время в оперативной практике службы погоды пока еще используется категорическая форма прогноза.

Важное место в работе прогнозиста отводится своевременному предупреждению об особо опасных для народного хозяйства гидрометеорологических явлениях.

Наряду с этим допускается возможность того, что прогнозы в силу сложности развития синоптического процесса или по иной причине могут сказаться на уровне инерционного, случайного или климатологического прогноза. Это неметодические прогнозы, так называемые *стандартные* (тривиальные). Они не требуют какой-либо аналитической или расчетной работы синоптика.

Инерционные прогнозы — это прогнозы, в которых в качестве ожидаемого состояния погоды используется исходное. Прогнозирование осуществляется по тривиальному правилу: то, что есть сейчас, сохранится на весь последующий период (12, 24, 36 ч и т. п.). В прогностических целях используется свойство инерции атмосферных процессов. Любое исходное состояние погоды можно рассматривать как прогностическое. Это главным образом относится к метеорологическим величинам. Для таких явлений погоды, как гроза, шквал и т. п., которые имеют высокую пространственно-временную дискретность, свойство инерционности проявляется в малой степени. Однако в этом случае можно говорить об инерционности синоптической ситуации, отражающей формирование конвективных процессов и явлений.

С увеличением продолжительности инерционного прогноза его успешность заметно снижается и приближается к успешности случайного прогноза.

При циклонических процессах, для которых характерна быстрая смена воздушных масс с прохождением атмосферных фронтов, успешность инерционных прогнозов заметно уступает успешности методических прогнозов. В случае антициклонических и достаточно устойчивых во времени синоптических процессов инерционный прогноз может оказаться успешным.

В прогнозах погоды на малые отрезки времени (до 1 ч) свойство инерции может использоваться в экстраполяционных прогнозах при условии „нулевых” изменений погоды на выбранных отрезках времени.

Случайные прогнозы. Как таковые, случайные прогнозы не разрабатываются в синоптической практике. Однако правомерно допустить, что текущие, постоянно меняющиеся погодные условия в определенных интервалах времени носят случайный характер, как следствие стохастичности меняющихся во времени синоптических процессов. На этом основании можно полагать *условно*, что

„текст” прогноза может выбираться случайным образом из возможного набора „текстов”, т. е. допускается операция „осуществления” случайного выбора фазы, градации метеорологической величины из их совокупного распределения, отвечающего природному, климатическому распределению.

Если действительно допустить, что такая операция разработки прогноза возможна, то очевидно, что случайный прогноз — это такой, который составляется наугад, „вслепую”.

Опыт синоптической практики показывает, что в ряде сложных синоптических ситуаций, когда методы прогнозирования не дают однозначного заключения, формулировки прогнозов могут быть случайными. Даже удачный прогноз может оказаться случайным.

Успешность случайного прогноза используется в качестве сопоставительного условия оценки успешности методического прогноза.

Климатологические прогнозы — это прогнозы, содержащие климатическую информацию в виде средних многолетних значений метеорологической величины, вероятностей осуществления ее заданных градаций или вероятностей явлений погоды. Здесь также не требуется специальная подготовительная работа синоптика. Климатологические прогнозы содержат одну и ту же формулировку. Такого рода информация содержится в справочниках, является доступной и постоянно известной как в повседневной синоптической, так и в хозяйственной практике. Климатологические прогнозы используются обычно при перспективном планировании.

Перечисленные стандартные прогнозы обладают только им присущими закономерностями и в этом смысле свободны от влияния синоптика. Это позволяет использовать их для оценки успешности методических прогнозов. По оценкам Г. В. Грузы, стандартным прогнозам соответствует нулевая мера мастерства прогнозирования.

1.4. Общая характеристика метеорологического обеспечения народного хозяйства: схема, структура, содержание

Современное производство немыслимо без всестороннего учета текущего и ожидаемого состояния окружающей атмосферы. В различных отраслях народного хозяйства решаются такие задачи, как экономия энергоресурсов, сокращение простоя транспорта, повышение урожайности сельскохозяйственных культур, снижение потерь от опасных условий погоды и многие другие. Чтобы обеспечить успешное решение этих задач, обусловленных погодой и климатом,

необходимо прежде всего *полное взаимодействие потребителя и поставщика* информационной продукции в целях эффективного использования всех видов метеорологической информации и в первую очередь прогнозов погоды.

Потребитель — конкретная отрасль хозяйства, вид производства или отдельных работ — в соответствии со спецификой постоянной деятельности устанавливает перечень необходимой для него метеорологической информации. Это могут быть конкретные метеорологические величины, их текущие и прогностические значения, конкретные явления погоды или комплекс метеорологических величин и явлений погоды и т.п. Потребитель в своей многолетней практике вырабатывает строгую избирательную стратегию, а именно, что ему необходимо от гидрометеорологической службы для успешного функционирования производственного процесса. Выбор необходимой потребителю информации зависит от той целевой задачи, которую он решает в производственных условиях. Различия здесь состоят в том, что потребитель может решать следующие задачи.

1. Ежедневные оперативные работы, выполняемые на открытом воздухе, ориентированные примерно на суточную (или меньше) периодичность принимаемых хозяйственных решений. Это преимущественно оперативные производственные работы во всех отраслях народного хозяйства.

2. Оперативные производственные работы, выполнение которых ориентировано на несколько дней, недель или даже на несколько месяцев. Это могут быть специальные производственные операции *непрерывного цикла*. Например, проводка морских судов по Северному морскому пути (СМП), испытания технологического режима в различных метеорологических условиях, выбор дозы азотной подкормки озимых в Нечерноземной зоне в зависимости от средней суммы осадков за осенне-зимний период и т. п.

3. Разработка технических и технологических проектов, требующих разового стандартного учета метеорологических данных или иных метеорологических сведений. Проектирование современной техники, машин, механизмов и аппаратуры, работающих в условиях постоянного влияния погоды, требует ее нормативной оценки и учета.

4. Планирование и проектирование строительных объектов социального и производственного назначения, промышленных комплексов, морских портов, автотрасс, трубопроводов, воздушных трасс, а кроме того, планирование и застройка новых населенных пунктов. Для этих целей изучается метеорологический режим данного региона, пункта, определяются характеристики климата, необходимые для решения тех или иных задач.

Большое значение при этом придается использованию климатических показателей, помещенных в таких справочных пособиях, как СНиП. Для этого проводится изучение влияния метеорологических условий на производственный (строительный, технический) объект, определяются необходимые специализированные показатели на основе характеристик климата и составляются рекомендации на их внедрение в практику.

Таким образом, территориальные УГМС ведут постоянный сбор и обработку метеорологической информации и обеспечивают народнохозяйственные и другие организации сведениями о текущей и ожидаемой погоде, данными о климате и различными справочными материалами.

Все метеорологические величины, явления погоды и климатические характеристики составляют сложный набор положительных и отрицательных метеорологических факторов. В различных областях человеческой деятельности они проявляются в виде физических процессов воздействия на ту или иную область производства и вызывают как благоприятные, так и неблагоприятные последствия.

Вся информация о состоянии метеорологической среды, поступающая к потребителям, составляет основу метеорологического обеспечения как постоянного и обязательного процесса функционирования экономики и социальной сферы.

Метеорологическое обеспечение — это многоуровневая научно-производственная форма деятельности Гидрометслужбы.

На уровне Росгидромета — центрального учреждения Гидрометслужбы России — осуществляется взаимодействие с соответствующими министерствами, ведомствами и другими ведущими организациями, заинтересованными в метеорологической информации.

Местные, территориальные управления Гидрометслужбы взаимодействуют с теми природно-хозяйственными организациями (в области энергетики, сельского хозяйства, транспорта, строительства и др.), производственная деятельность которых сосредоточена главным образом на территории конкретного управления.

Уже отмечено, что наибольшую ценность, судя по спросу и масштабности использования, имеют метеорологические прогнозы. Все прогностические подразделения, разрабатывающие прогнозы различной продолжительности, осуществляют метеорологическое обеспечение по общей схеме типа „кому, что, сколько, куда и зачем”.

Содержание гидрометеорологического обеспечения народнохозяйственной организации оформляется в виде перечня задач, выполняемых оперативным прогностическим подразделением (исполнителем) по запросу потребителя (заказчика) и согласованию с ним.

Они включаются в договор по оказанию информационных (консультационных) услуг. При этом достигается согласие между желанием потребителя и возможностью поставщика в разработке той или иной специализированной продукции.

Гидрометеорологическое обеспечение включает метеорологическое, гидрологическое и агрометеорологическое обеспечение. В дальнейшем будем рассматривать только метеорологическое обеспечение, включая агрометеорологическую информацию.

Общая схема метеорологического обеспечения, включаемая в договор, содержит:

- вид информации, передаваемой потребителю,
- район обеспечения (обслуживания),
- сроки действия прогнозов (прогностический период),
- срок представления прогнозов (время передачи),
- ответственных за составление и доведение прогностической информации до потребителя, а также другие вопросы информационного обеспечения, представляющие интерес для потребителя.

В схему включается требование потребителя к „штормовой” информации — разработке предупреждений об ОЯ и НГЯ.

Глава 2

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

2.1. Потребители метеорологической информации

Использование метеорологической информации осуществляется в комплексной системе погода—прогноз—потребитель. В этой системе фиксируется постоянно меняющееся состояние погодных условий, возможности их прогнозирования на различные отрезки времени и, главное, использование получаемых при этом всех видов метеорологической информации в интересах экономики, социальной сферы и решения задач специального назначения (рис. 2.1).

Метеоролого-экономическая система природа—прогноз—потребитель имеет следующие свойства:

- *целостность* — единство взаимосвязанных процессов, установившихся между подсистемами „погода”, „прогноз” и „потребитель”;
- *открытость* — доступность информации в подсистемах;
- *неоднородность* решаемых задач;
- *регулируемость* информации отдельных подсистем, отвечающая повышению синхронизации функционирования всей системы;
- *объективная необходимость участия человека* на всех этапах функционирования системы: получение информации, принятие решений и целесообразные действия;
- *устойчивость* — динамичное развитие подсистемы „потребитель” за счет полного учета состояний среды.

Основными задачами такой системы являются: получение информации о состоянии подсистем „погода”, „потребитель”; разработка предупреждающей информации о погоде и ее эффективное использование всеми *потребителями* в области производства и в социальной сфере.

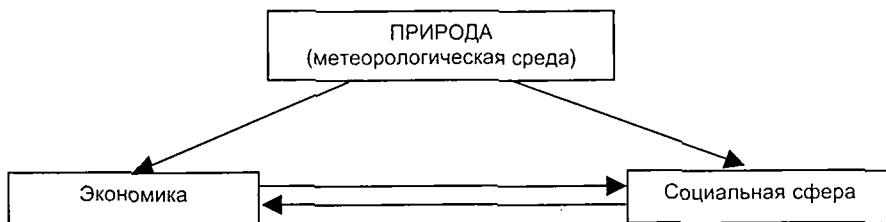


Рис. 2.1. Схема взаимосвязи природа—общество.

Потребитель генерирует основные установки и требования к метеорологической информации. Служба погоды осуществляет исполнение такого рода общественного заказа. Текущие метеорологические условия позволяют черпать необходимые для потребителя *метеорологические ресурсы*.

Таким образом выстраивается объективно сложившаяся система, в рамках которой решаются задачи „подстройки“ экономической и социальной сферы к погодным и климатическим условиям.

Вся метеорологическая информация дифференцируется по целям и отраслям, что отвечает специфике видов производства, сложившейся в хозяйственной практике (рис. 2.2).

Метеорологическая среда, как видим, оказывает прямое влияние на всю инфраструктуру экономики, а значит, в конечном счете и на все население страны. Экономика и социальная сфера тесно взаимосвязаны. Определенным образом сложившаяся система экономика—социальная сфера должна обладать таким важным свойством, как *устойчивость*. Под устойчивостью системы экономи-



Рис. 2.2. Потребители метеорологической информации по целевому назначению и отраслям.

ка—социальная сфера, т. е. практически всего общества, понимается такое ее состояние, при котором обеспечивается полный учет метеорологических условий, наряду с другими факторами, определяющими ее *динамичное развитие*.

Все современные потребители метеорологической продукции образуют комплексные производственные системы, что позволяет выработать более эффективную стратегию использования метеорологической информации. К таким комплексным производственным системам относятся: агропромышленный комплекс (АПК), транспортный комплекс (ТК), лесопромышленный комплекс (ЛПК), рыбопромышленный комплекс (РПК). Все народнохозяйственные организации (предприятия, фирмы и иные производственные государственные и коммерческие структуры) относятся к той или иной отрасли экономики или к комплексу отраслей.

Потребители метеорологической информации различаются не только по производственной специфике. Предприятия одной и той же отрасли находятся в различных климатических зонах и региональных условиях. Это существенно сказывается на различиях погодных условий, которые оказывают влияние на работу предприятий.

С учетом характера воздействия погодных условий на проводимые хозяйственные мероприятия различают *стационарных* и *нестационарных* (подвижных) потребителей. Стационарные потребители (производственные объекты) могут быть *локальными*, *обширными* (*масштабными*) и *протяженными*. Так, морские порты как хозяйственные объекты являются стационарными и локальными потребителями, сельскохозяйственное производство и лесное хозяйство — стационарными и достаточно обширными, охватывающими большие площади. Линии электропередачи (ЛЭП) относятся к стационарным и обладающим значительной протяженностью потребителей.

Существует ряд специфических видов деятельности, где прогностическая информация является базовым условием выполнения текущих работ. Так, с учетом ожидаемой погоды проводятся природоохранные мероприятия в лесном хозяйстве: проведение лесопосадок, мероприятия в заповедных зонах, химическая обработка лесных насаждений, защита лесов от пожаров. Текущая и прогностическая информация широко используется в горнодобывающей промышленности при добыче полезных ископаемых в открытых условиях (например, в „разрезах” Коркинский, Экибастузский и др.). Первостепенное значение приобретают прогнозы при проведении разведывательных работ: авиационного исследования залежей полезных ископаемых, ледовой разведки (на трассе СМП, на крупных реках, озерах и т.п.); при оценке миграций рыбных зон; проведении наземных, морских, ледовых и иных научно-исследовательских экспедиций в различных широтах земного шара.

В последние годы (после 2000 г.) развернулось активное строительство объектов различного назначения: предприятий, нефте- и газопроводов, морских портов, дорожных магистралей, включая окружные дороги в районе крупных промышленных центров, и многое другое. Все это требует большого объема специализированной метеорологической информации, а следовательно, более плотной сети метеорологических станций.

В рассматриваемой системе (см. рис. 2.1) потребитель занимает доминирующее положение, так как в сущности вся система функционирует для обеспечения его целевых задач.

Метеорологические условия оказывают многофакторное влияние на экономику и социальную сферу. При этом формируются три сферы зависимости от гидрометеорологических условий: *экономическая, экологическая и социальная* (рис. 2.3). Можно полагать, что



Рис. 2.3. Зависимость от гидрометеорологических условий в экономической, экологической и социальной сферах (главный метеорологический фактор — ветер).

для одного региона доминирующей будет экономическая зависимость, а для другого — эта зависимость будет комплексной, например *социально-экологической*.

В 1990-е годы все большее внимание уделялось разработке *концепции пороговости* опасного воздействия погодных условий.

Для конкретной сферы деятельности или для конкретного производства должны устанавливаться допустимые *пределы*, определяющие такой уровень воздействия среды на потребителя, в случае превышения которого обратимость разрушительного процесса и его последствий затрудняется или становится невозможной.

Постулируется, что определенный комплекс погодных условий, метеорологическая величина или явление погоды оказывают на потребителя *воздействие* в допустимых пределах; и при таком воздействии нормальное функционирование отдельных предприятий не испытывает существенных отклонений. Воздействие, выходящее за эти пределы, ведет к значительным потерям, которые не только нарушают нормальную деятельность потребителя, но и могут вызывать длительную экономическую нестабильность в хозяйственной практике, причинить огромный ущерб как для отдельного производственного объекта, так и для определенного района в целом.

Определение численного показателя, характеризующего пороговое значение воздействующего фактора, производится прежде всего на основании двух показателей: уровня воздействия и защитной реакции потребителя. Схематически это представлено на рис. 2.4.

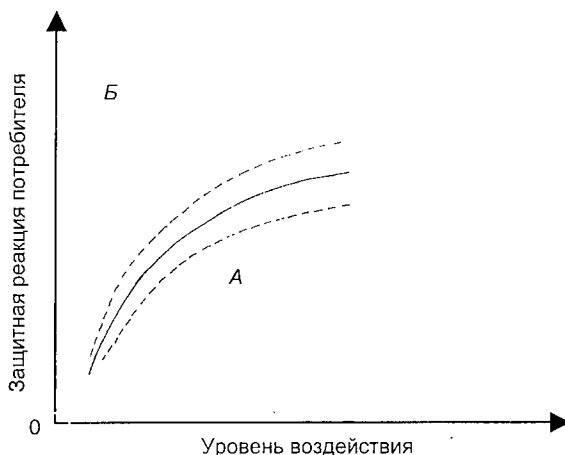


Рис. 2.4. Схема альтернативной оценки зависимости хозяйственной практики от погоды и климата. А — область неустойчивой (с возможным ущербом) хозяйственной практики, Б — область устойчивой хозяйственной практики.

2.2. Специализированное метеорологическое обеспечение

2.2.1. Определения

Метеорологическая информация и в первую очередь прогнозы погоды имеют широкий спектр приложения в хозяйственной практике, в социальной сфере и в других областях деятельности человека. При этом выделяют информацию *общего назначения* и *специализированную*, которая выдается потребителю в необходимом для него виде.

В Федеральном Законе от 19 июля 1998 г. „О Гидрометеорологической службе” приведено следующее определение видов метеорологической информации:

„информация общего назначения — информация о фактическом и прогнозируемом состоянии окружающей природной среды, ее загрязнении, полученная и обработанная в порядке, установленном специально уполномоченным органом исполнительной власти в области гидрометеорологии и смежных с ней областях, предоставляемая пользователям (потребителям) бесплатно;

специализированная информация — информация, которая предоставляется по заказу пользователя (потребителя) и *за счет его средств*”.

Метеорологическое обеспечение осуществляется в системе Росгидромета — одного из ведущих информационных учреждений России, способствующего устойчивому функционированию и развитию экономики и общества.

2.2.2. Потребность в специализированном метеорологическом обеспечении

Специализированное метеорологическое обеспечение ориентировано на конкретного потребителя, т. е. носит индивидуальный, избирательный и адресный характер.

Степень зависимости потребителей от условий погоды и климата определяет их спрос (потребность) на определенный вид метеорологической информации. Специализированное метеорологическое обеспечение требует постоянного знания спроса на метеорологическую информацию. Определение спроса ведется посредством анкетирования — изучения откликов потребителей на перечень предоставляемых им метеорологических услуг и видов метеорологической продукции.

На рис. 2.5 приведены результаты широкомасштабного опроса потребителей гидрометеорологической информации, что позволило установить распределение спроса на отдельные виды этой информационной продукции.

Интерес к прогнозам погоды возрастает по мере расширения видов хозяйственной, производственной и научной деятельности в области землепользования, мореплавания, развития авиации, освоения космоса и т. п.

Метеорологическая информация, получаемая в оперативных подразделениях Росгидромета (наблюдения, обработка, комплексное представление, прогнозирование), рассматривается как метеорологические ресурсы и используется в различных отраслях экономики. Потребность в отдельных видах информации различна. Наибольший объем спроса в отдельных отраслях приходится на текущую и прогностическую информацию (табл. 2.1).

Изучение потребительского спроса на метеорологическую информацию позволяет определить пути научных и оперативных разработок, способствующих совершенствованию специализированного метеорологического обеспечения. При этом обнаруживается и необходимость разработки новых видов метеорологической информации и услуг по запросам потребителей.

Анализ спроса на гидрометеорологическую информацию по ряду потенциальных потребителей показывает реальные возможности метеорологического рынка и позволяет выделить приоритетность отраслей внутри регионов страны. Дополнительно отрасли ранжируются по степени реализации метеорологической продукции.

Своевременное обеспечение потребителей данными о климате, режимно-справочной информацией и информацией об особенностях погоды в отдельных регионах есть необходимое условие успешного

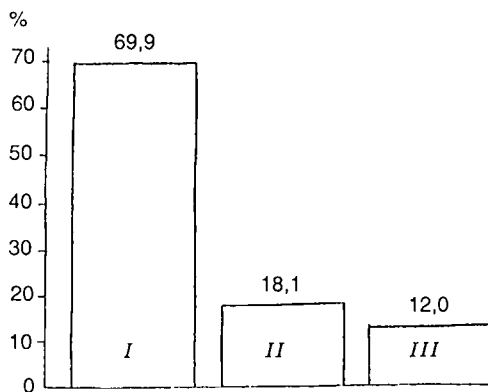


Рис. 2.5. Распределение заявок на прогностическую (I), фактическую (II) и климатическую (III) информацию (по В. Ю. Верятину, Л. Г. Коршунову, А. А. Коршунову, по материалам за 1998 г.).

Таблица 2.1

**Распределение (%) используемых видов метеорологической информации
в некоторых отраслях экономики. По М. З. Шаймарданову,
А. А. Коршунову, В. В. Пуговкину**

Отрасль	Вид информации		
	климатическая	прогностическая	текущая
Сельское хозяйство	23,0	58,0	64,0
Строительство	61,0	9,0	12,0
Энергетика	9,0	11,0	10,0
Железнодорожный транспорт	3,0	11,0	9,0
Автомобильный транспорт	4,0	11,0	5,0

решения проектных, конструкторских, технических и оперативных хозяйственных задач. Особая роль при этом отводится прогнозам погоды.

По материалам, подготовленным в ГГО (табл. 2.2), представлены результаты, характеризующие спрос потребителей на гидрометеорологическую информацию в различных регионах России.

Таблица 2.2

Распределение объема спроса (%) по отраслям и регионам

Отрасль	Дальний Восток	Сибирь	Центральные районы	Северо-Запад
<i>Режимно-справочная информация</i>				
Государственное управление	6,0	0,4	2,25	2,25
Наука и просвещение	11,25	24,25	18,25	14,0
Сельское хозяйство	9,25	10,25	19,77	8,25
Энергетика	7,75	7,25	8,5	8,75
Строительство	9,75	16,75	13,75	16,7
Транспорт	6,75	3,75	2,5	4,25
Рыбное хозяйство и морской флот	5,75	—	—	9,75
Оборона	14,0	1,75	—	12,0
Сумма	70,50	64,40	64,0	76,25
<i>Фактическая информация</i>				
Государственное управление	18,75	0,88	11,12	3,75
Наука и просвещение	7,25	6,75	11,12	8,0
Сельское хозяйство	7,0	7,5	11,12	2,25

Отрасль	Дальний Восток	Сибирь	Центральные районы	Северо-Запад
Энергетика	19,25	5,75	15,62	7,25
Строительство	8,0	14,5	2,5	4,0
Транспорт	0,5	6,25	12,12	9,25
Рыбное хозяйство и морской флот	2,75	—	—	21,75
Оборона	8,0	4,25	—	14,75
Сумма	71,25	45,88	63,60	71,00
<i>Прогностическая информация</i>				
Государственное управление	6,5	7,25	15,62	6,75
Наука и просвещение	0,5	5,38	2,5	2,25
Сельское хозяйство	2,25	5,62	8,5	4,5
Энергетика	7,0	7,5	11,5	6,75
Строительство	4,0	8,75	6,0	5,5
Транспорт	4,75	7,25	14,62	9,75
Рыбное хозяйство и морской флот	32,0	—	—	22,0
Оборона	16,0	6,62	—	8,75
Сумма	73,0	48,87	58,74	65,75

2.2.3. Организация специализированного метеорологического обеспечения

В соответствии с выделенными двумя видами метеорологической информации установлены и два вида метеорологического обеспечения — общее и специализированное.

Метеорологическое обеспечение общего назначения предусматривает составление предупреждений о стихийных гидрометеорологических явлениях, об экстремально высоком уровне загрязнения, разработку прогнозов погоды до трех суток, а также распространение информации о фактической погоде.

Особое значение имеют прогнозы для населения, позволяющие обеспечить безопасность и здоровье населения. На основании метеорологических прогнозов составляются прогнозы состояния водных объектов — рек и озер, ветровых, дождевых и иного происхождения наводнений, а также предупреждения об особо опасных явлениях погоды. В горных районах разрабатываются прогнозы селей, схода снежных лавин, оползней.

В крупных городах, в промышленных зонах разрабатываются прогнозы загрязнения атмосферы, необходимые для снижения угрозы здоровью населения. В приморских и иных курортных зонах прогнозы погоды являются необходимым дополнением к оздоровительным программам.

Метеорологическое обеспечение общего назначения выполняется за счет бюджетного финансирования Росгидромета. При этом информация передается потребителю безвозмездно. Она является базовой, на ее основе разрабатываются частные виды информации для потребителей.

Центральная задача метеорологического обеспечения общего назначения сводится к обеспечению безопасности населения, особенно в крупных городах, приморских и курортных зонах.

Специализированное метеорологическое обеспечение осуществляется по запросу потребителей и содержит ту метеорологическую информацию, которая необходима для выполнения конкретной производственной работы. Это специализированные прогнозы погоды, специализированные климатические показатели и др.

Специализированное метеорологическое обеспечение возлагается Росгидрометом на следующие оперативные производственные организации:

- гидрометеорологические центры (ГМЦ) УГМС;
- областные (республиканские, краевые, окружные и др.) центры по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ЦГМС);
- Московский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (МосЦГМС);
- Гидрометеорологическое бюро Москвы и Московской области (Московское ГМБ);
- гидрометеорологические обсерватории (ГМО);
- гидрометеорологические бюро (ГМБ);
- авиаметеорологические центры и станции (АМЦ и АМСГ);
- гидрометеорологические станции, в том числе снеголавинные и селестоковые;
- военизированные службы по активному воздействию на гидрометеорологические процессы (ВС Росгидромета);
- региональные противолавинные центры (РПЛЦ);
- специализированные центры (цунами и др.);
- научно-исследовательские организации, участвующие в оперативном обеспечении потребителей (Гидрометцентр России, ГГИ, ААНИИ, ВНИИГМИ—МЦД, ГГО и др.).

В зависимости от потребностей различают следующие виды специализированного метеорологического обеспечения:

1. Метеорологическое обеспечение прогнозами погоды производственной сферы. Это наиболее распространенная и самая масштабная по охвату потребителей форма метеообеспечения.

2. Гидрометеорологическое обеспечение транспортных судов на маршрутах в открытом море. Сюда же относится и проводка судов в океанах наивыгоднейшими путями, т. е. на основании рекомендаций по оптимизации путей следования.

3. Гидрометеорологическое обеспечение прогнозами рыбопромысловых экспедиций, проводок плавучих кранов, платформ и других тихоходных объектов на длительных маршрутах.

4. Гидрометеорологическое обеспечение проводки судов на трассе Севморпути, паромных переправ и переходов (Холмск—Ванино, Ильичевск—Варна, Санкт-Петербург—Стокгольм).

5. Метеорологическое обеспечение транспортных операций на суше и в воздухе (железнодорожный, автомобильный, воздушный транспорт).

6. Метеорологическое обеспечение запросов Министерства по чрезвычайным ситуациям.

7. Метеорологическое обеспечение сухопутных войск, военноморских и военно-воздушных сил страны.

8. Метеорологическое обеспечение туризма (горного, водного и т. п.), исследовательских и поисковых работ.

Специализированное метеорологическое обеспечение включает разработку прогнозов особого назначения, например прогноза температуры рельсов на железнодорожных путях, прогноза термического парения на ряде акваторий рек, озер, морей, прогноза морских туманов, туманов на аэродромах Сибири и др.

Все эти виды направлены на то, чтобы обеспечить безопасность, жизнедеятельность, экономическую и социальную полезность.

Некоторые виды специализированного метеорологического обеспечения осуществляются ведомственными прогностическими подразделениями (Министерство обороны, Министерство угольной промышленности, Министерство железнодорожного транспорта).

Важную роль в специализированном метеорологическом обеспечении играет климатическая информация (продукция) при планировании и управлении различными отраслями экономики. Здесь выделяется пять главных направлений.

1. Перспективное планирование, предусматривающее:

— размещение различных хозяйственных и социальных объектов (энергетических и промышленных сооружений, здравниц и т. п.);

— землепользование и размещение сельскохозяйственных культур;

— разработку оптимальной стратегии проведения различных масштабных хозяйственных мероприятий.

2. Проектирование и строительство гражданских, промышленных, сельскохозяйственных, транспортных и других сооружений.

3. Обеспечение безопасности эксплуатации промышленных, транспортных средств и других объектов.

4. Конструирование машин, механизмов и иных видов промышленной продукции.

5. Рациональное (оптимальное) использование природных ресурсов.

Начиная с 1992 г. в соответствии с постановлением Правительства РФ № 532 „О повышении эффективности использования в народном хозяйстве гидрометеорологической информации и данных о загрязнении окружающей природной среды” Росгидромет перешел на предоставление потребителям специализированной информации на *договорной основе за плату*. Специализированное метеорологическое обеспечение получило, таким образом, коммерческую ориентацию, хотя вся платная информация создается на базе информации общего назначения.

Отсюда следует, что *специализированным метеорологическим обеспечением* называется *передача (предоставление) потребителю такой метеорологической информации, которая отвечает его специфической хозяйственной деятельности, условиям рыночных отношений и целевым задачам*.

Специализированное метеорологическое обеспечение производственных отраслей экономики требует метеорологической информации такого содержания, которое позволяет включать ее в автоматизированные системы управления для разработки оперативных и стратегических хозяйственных решений.

В целях совершенствования специализированного метеорологического обеспечения заключаются соглашения между Росгидрометом и рядом министерств и ведомств. Соглашения содержат основы организации взаимодействия между поставщиком и потребителем метеорологической информации, права и обязательства обеих сторон, принципы и формы оплаты метеорологических услуг и другие положения.

В условиях развивающегося информационного рынка реализуется тезис о *двухуровневой системе* функционирования метеорологической службы. К первому уровню системы относятся организации, производящие метеорологическую информацию, а ко второ-

му — организации, реализующие данную информацию, осуществляющие посредническую деятельность в рамках специализированного обеспечения. В настоящее время в системе Росгидромета функционируют Метеоагентство Росгидромета (с 1997 г.) и 25 территориальных метеоагентств, выполняющих платное специализированное гидрометеобеспечение.¹ Главная задача метеорологических агентств состоит в том, чтобы продавать потребителю такую информацию, которая обеспечивала бы ему минимум метеорологических потерь и максимум выгоды. Это и есть эффективная реализация специализированной, главным образом метеорологической, информации и прогнозов погоды в особенности. Создание системы метеоагентств ориентировано на концентрацию специализированного обеспечения во всей системе Росгидромета, повышение качества и эффективности метеорологической информации.

С учетом масштабов специализированного метеорологического обеспечения в различных территориальных управлениях Росгидромета на базе метеоагентств складывается тенденция корпоративного построения системы специализированного метеорологического обеспечения.

Однако платное метеорологическое обеспечение требует создания коммерческой культуры через образовательный процесс, через соответствующую подготовку кадров, работающих с потребителем.²

В условиях рыночной экономики и расширения потребительского спроса на метеорологическую продукцию особая роль в реализации этой продукции отводится теории маркетинга. К настоящему времени сформировались ведущие центры в области гидрометеорологии: Гидрометцентр России — научное учреждение Росгидромета; Метеоагентство Росгидромета — учреждение, реализующее на практике достижения метеорологической науки. Завершающим в этом ряду должен стать Центр маркетинговых исследований — учреждение, занимающееся исследованием метеорологического рынка в целях более эффективного сбыта метеорологической продукции и услуг в интересах как поставщика, так и потребителя. В итоге Гидрометслужба как государственный сектор эко-

¹ Уже в 1980-е годы в системе Госкомгидромета вводились элементы платного гидрометеобеспечения (отдельные виды информации, справок и расчетов).

² Такого рода подготовка в области экономической метеорологии осуществляется в Российском государственном гидрометеорологическом университете, являющемся к тому же Региональным учебным центром ВМО. Соответствующие учебные планы и программы дисциплины позволяют готовить специалистов в области менеджмента и природопользования в интересах системы Росгидромета, а также различных отраслей экономики. Особое внимание в последние годы обращается на экономическую метеорологию полярных районов.

номики успешно осваивает рыночные методы и на этой основе развивает специализированное метеорологическое обеспечение.

Экономическая модель информационной деятельности Гидрометслужбы содержит следующие основные положения:

- развитие специализированных структур — метеоагентств;
- разработка единых методов ценообразования на основе учета всех издержек на содержание подразделений Росгидромета;
- реализация маркетинговой (рыночной) стратегии метеорологического обеспечения;
- создание и развитие нормативно-правовой базы специализированного метеорологического обеспечения.

Вместе с тем государство сохраняет за собой регулирование ключевых положений в практической области гидрометеорологии:

- определение участников деятельности в данной области;
- перечень работ, финансируемых из бюджета;
- перечень информационной продукции общего назначения, распространяемой за счет федерального бюджета;
- условия доступа к информационной продукции (в том числе регламентация целевой передачи информации частным фирмам);
- регулирование международного информационного обмена;
- регулирование авторского права;
- развитие сотрудничества с коммерческим сектором.

Частичный перевод Гидрометслужбы на коммерческую основу позволяет использовать региональную автономию, выбирать приоритеты в предоставлении специализированных услуг, входить в кооперацию с другими организациями исходя из требований рынка и интересов потребителей.

Специализированное метеорологическое обеспечение в условиях информационного рынка сталкивается с проблемой разработки тарифов на некоторые виды специализированной информации. Особое значение при этом придается установлению цен и порядку оплаты адресного специализированного метеорологического обеспечения. Однако решение этой проблемы неизбежно порождает другую: поставщик (разработчик) информации может воспринять тарифные ставки как достижение конечной цели. Тарификация не раскрывает того, насколько используемая потребителем метеорологическая информация в действительности отвечает производственным интересам потребителя. Экономическая полезность, например, прогнозов погоды не включается в основу тарифных оценок. Это порождает со временем определенный нигилизм и даже негативное отношение, в частности, к развитию методов прогнозирования.

Все больший интерес проявляется к разработке автоматизированных систем и технологий специализированного метеорологического обеспечения.

При этом постоянно растет необходимость правовой защиты гидрометеорологической информации от несанкционированного доступа.

2.2.4. Взаимодействие между поставщиком и потребителем

Организация специализированного метеорологического обеспечения предусматривает необходимость определения принципов взаимодействия с потребителями.

Основной принцип — обязательное следование положениям правовых документов, предусматривающих:

- определение участников совместной деятельности;
- регламентацию условий передачи метеорологической информации;
- защиту метеорологической информации от несанкционированного использования, включая реэкспорт;
- коммерческие требования к поставщику и потребителю метеорологической информации;
- соблюдение процедур и условий доступа к метеорологической информации.

Принципы оперативного (повседневного) взаимодействия сводятся к следующим:

1. Предоставление потребителю метеорологической информации в полном соответствии содержанию Договора о специализированном метеорологическом обеспечении.

2. Предоставление поставщику полной информации о результативности (экономической полезности) использования метеорологической информации (фактической, прогностической, климатической) в данной области производства. Оценка экономического эффекта и экономической эффективности данного вида метеорологической информации устанавливается по совместному соглашению на основании методов, существующих в экономической метеорологии. Ряд отраслевых организаций, предприятий и фирм не ведут такого учета влияния метеорологических условий на их хозяйственную деятельность, не сообщают сведения, необходимые для расчета прямого экономического эффекта использования метеорологической информации. Все это снижает экономическую полезность столь выгодного в хозяйственной практике метеорологического ресурса.

3. Установление цен данного вида метеорологической информации по полной стоимости с учетом ее экономической полезности.

4. Возмещение потребителю затрат, понесенных им при определенном уровне неоправдавшихся прогнозов.¹

5. Периодическое уточнение договорных основ специализированного метеорологического обеспечения.

Таким образом, во взаимодействии поставщика и потребителя основным является экономический механизм в сочетании с государственным регулированием и рыночными подходами. За период с 1992 по 1998 г. среднее долевое (в %) распределение метеообеспечения в целом выглядело следующим образом:

органы власти и управления — 22,4;

отрасли производственной сферы — 43,4;

отрасли непроизводственной сферы — 34,2.

Из общего объема запросов на метеообеспечение уже к 2000 г. специализированное метеорологическое обеспечение составляло около 48 %. Отмечался при этом некоторый рост метеорологического обеспечения непроизводственной сферы (вооруженные силы, наука, коммунальное хозяйство, СМИ и другие).

Перспективное развитие специализированного метеорологического обеспечения предусматривает переход от *концепции информирования* потребителей к *рекомендательной концепции*.

Отсюда видно, что себестоимость прогноза включает в себя следующие статьи затрат:

1) на проведение метеорологических наблюдений (ресурсная суточная стоимость энергии, амортизации);

2) на передачу информации (суточная стоимость каналов связи);

3) на разработку прогноза (ресурсная суточная стоимость технических средств приема, обработки информации и расчета ожидаемых метеорологических характеристик).

Все статьи затрат включают оплату труда.

Аналогичным образом можно выделить статьи затрат на производство исходной (текущей) и климатологической информации. Представляется возможным определить себестоимость на специализированные виды метеорологического обеспечения.

¹ Аналогичный опыт имеется в странах СНГ. Так, Управление метеообеспечения авиации Казгидромета имеет договорные условия с авиапредприятиями относительно прерванных рейсов и штрафных санкций. В Договоре этот пункт записан следующим образом: „В силу специфичности метеорологической информации Исполнитель (Поставщик) не несет материальную ответственность за ущерб от прерванных рейсов, связанных с неоправдавшимся прогнозом погоды. В этом случае Исполнитель выплачивает штраф в размере не более трехкратной договорной цены прогноза погоды с учетом НДС и других накладных расходов“.

Таким образом, в рамках экономической метеорологии вводится понятие *метеорологическая себестоимость*. Метеорологическая себестоимость (в дальнейшем просто себестоимость) не может и не должна быть консервативной экономической величиной. Затраты на отдельные статьи расхода меняются во времени по причине изменения экономических показателей развития страны. Кроме того, Гидрометслужба как поставщик гидрометеорологической продукции заинтересована в снижении себестоимости на отдельные виды метеорологической информации, на специализированное метеорологическое обеспечение, включая ее отдельные виды.

Себестоимость, как видим, не может быть унифицирована по всей Гидрометслужбе. Унификация — сведение к минимуму типов метеорологической себестоимости — возможна в рамках местных управлений Росгидромета.

Возвращаясь теперь к понятию *цена на метеорологическую информацию*, рассмотрим, какие же составляющие образуют превышение себестоимости.

Выше отмечалось, что цена превышает себестоимость. Это означает, что поставщик имеет право включать в цену кроме себестоимости ряд таких статей, которые формируют и поддерживают его жизнеобеспечение.

Цена — это косвенное выражение стоимости продукции (овеществленного труда), а в условиях разработки и сбыта метеорологической информации — перевода интеллектуального труда в экономическую полезность потребителя.

При определении цены на ту или иную специализированную метеорологическую информацию ее себестоимость, а значит и себестоимость организации специализированного метеорологического обеспечения, имеет более расширенное толкование. Обеспечение жизнедеятельности гидрометеорологической службы достигается при условии, если в себестоимость при определении цены на гидрометеорологическую информацию включаются *общеотраслевые и функциональные затраты* поставщика.

Общеотраслевые затраты включают капитальные расходы (строительство, прирост основных фондов и другие), а также приобретение оборудования и предметов длительного пользования. Как правило, это затраты федерального уровня, охватывающие Гидрометслужбу как отрасль.

Функциональные затраты охватывают те статьи расходов, которые связаны непосредственно с деятельностью региональных метеорологических служб. Это прежде всего расходы в рамках фонда заработной платы (должностные оклады, дополнительные оплаты,

премии, оплата товаров и услуг, социальное и медицинское страхование), а также материальные затраты, которые представляют собой расходы на приобретение материалов и техники для текущей работы и хозяйственных целей, расходы на командировки, на оплату транспортных и коммунальных услуг и т. п.), т. е. в основном эксплуатационные расходы.

Метеорологическая себестоимость тем самым получает более полное определение.

Несмотря на включение в себестоимость (информации, обеспечения) всех возможных издержек, она еще не образует цену, а лишь отражает ее. Метеорологическая информация и прогнозы погоды в особенности — уникальная информационная продукция. Ее главное качество — высокая производственная и социальная экономическая полезность, что отличает данный вид продукции в обществе от всех других. Потребитель приобретает не саму продукцию (информацию), а ее качество — способность продукции (информации) обеспечить ему достижение цели. Потребитель получает, в сущности, не текст прогноза, а возможность получить выгоду с помощью его содержания.

Однако при этом обнаруживается одно очень важное обстоятельство. Увлечение собственно коммерциализацией сопряжено с опасностью утраты понимания целевой задачи национальных метеорологических служб. Потребитель не должен выступать только в качестве субъекта денежного расчета, не должен ограничиваться только операцией оплаты.

Специализированное метеорологическое обеспечение достигает цели не тогда, когда удовлетворяется договорная сделка на метеорологическом рынке, а только в том случае, когда это обеспечение материализуется в экономическую выгоду потребителя. Все потребители образуют единую экономическую область в виде метеорологического *потребителя* в стране, созидательные функции которого известны. Гидрометеорологическая служба как объективное порождение потребностей экономики обеспечивает выполнение заказов последней и тем самым способствует экономическому развитию общества.

В сложившихся рыночных условиях потребитель приобретает метеорологическую информацию в целях достижения выгоды от ее использования. При этом он оплачивает не себестоимость, какой бы она ни была, а пользу для своей хозяйственной практики. Следовательно, цена метеорологической информации должна содержать определенную долю от экономической выгоды, получаемой за счет этой информации.

Цена не может ограничиваться детализированным набором затрат на разработку метеорологической информации. Это лишь часть цены, образуемая в сфере поставщика. Другая — находится в области реализации этой информации — у потребителя. Договорная *себестоимостная* цена — это лишь базовое условие в расчетах с потребителем. Полная цена требует прироста договорной на величину, пропорциональную экономическому эффекту от использования метеорологической информации. Величина прироста решается совместно с потребителем на научной основе и оценках полезности, выполненных в хозяйственной практике.

Таким образом, цена на метеорологическую информацию есть сверхэквивалентное достоинство, отражающее ее создание и выраженное в деньгах.

Коммерческая деятельность в системе Росгидромета не является предпринимательской, т. е. не направлена на получение прибыли, что отвечает ее уставной деятельности. Вся сумма доходов идет на частичное возмещение затрат на подготовку, обработку и передачу информации, на содержание сети наблюдений, на разработку прогностической информации и организацию специализированного метеорологического обеспечения. В решении задач экономической метеорологии проблема ценообразования стала международной. В разных странах она решалась в различных социально-экономических условиях и при различном бюджетном обеспечении. В последнее десятилетие XX в. эта проблема стала в центре внимания ВМО.

В ряде стран ближнего и дальнего зарубежья коммерциализация специализированного метеорологического обеспечения не ограничивается концепцией „возмещения затрат”. Так, в Республике Узбекистан предусматривается учет величины предотвращенного ущерба при определении договорной цены. Коммерциализация в Великобритании, начатая в 1984 г. и приносящая в последние годы годовой доход около 10 млн. фунтов стерлингов, переходит в новую фазу развития. Метеорологическая служба Великобритании численностью в 2300 человек, обретая статус Торгового фонда, решает задачу максимизации прибыли, что возможно при учете в договорных ценах экономической полезности использования метеорологической информации.

Приведенные положения позволяют представить некоторые методы расчета цены в формализованном виде.

1. Цена P устанавливается на основании учета ограниченного круга издержек и средней нормы прибыли

$$P = a + b + p(a + b), \quad (2.1)$$

где a — затраты, необходимые на разработку данного вида метеорологической информации, b — административные расходы, p — норма прибыли.

Норма прибыли p устанавливается совместно с потребителем при инициативной роли поставщика. По некоторым видам специализированного метеорологического обеспечения величина p колеблется в пределах 0,1—0,3. Нормативный уровень рентабельности p в Узбекистане, например, составляет 0,35 (прогнозы селевых потоков, схода снежных лавин и др.).

2. Цена устанавливается на основании расчета полных затрат на производство данного вида метеорологической информации

$$p = A + pA, \quad (2.2)$$

где A — система в виде полных затрат (общетраслевые и функциональные), p — нормативная надбавка к себестоимости.

Нормативная надбавка, или наценка, к себестоимости позволяет обеспечить частичное возмещение расходов на развитие гидрометеорологической службы.

Странами — членами Европейского сообщества создана Комиссия по коммерциализации гидрометеобеспечения национальными гидрометеорологическими службами (ECOMET). Эта комиссия в Европейской экономической зоне (ЕЭЗ) контролирует финансовые компенсации за использование метеорологической информации между национальными гидрометслужбами и странами, не входящими в ЕЭЗ. При расчете предельной себестоимости разрешается наценка в размере 15 % ($p = 0,15$), что в ЕЭЗ обеспечивает возмещение затрат в гидрометслужбе за счет коммерческой деятельности до 3 %. Остальная доля затрат приходится на бюджет.

В будущем потребитель будет заинтересован приобрести не просто метеорологическую информацию, а *информационный комплекс*, включающий как информацию, так и практические рекомендации по принятию погодо-хозяйственных решений. Реализация такой комплексной услуги позволит потребителю получить значительно большую выгоду.

При Метеоагентстве Росгидромета организован отдел цен и тарифов (ОЦТ), выполняющий стоимостную оценку специализированной гидрометеорологической продукции, информации, гидрометеорологических услуг и работ. В функции ОЦТ входит разработка методических рекомендаций и указаний по ценообразованию в системе Росгидромета (Метеоспектр, 2003, № 1(13)).

2.2.5. Требования, предъявляемые к специализированному метеорологическому обеспечению

К специализированному метеорологическому обеспечению потребители предъявляют следующие требования.

1. По форме и содержанию запрашиваемой метеорологической информации. Форма — это текстовое, табличное, графическое, картографическое или иное отображение метеорологической информации. Содержание — информация как таковая в числовом выражении и пространственно-временном отображении. Потребителю необходимы та форма и то содержание метеорологической информации, которые наиболее полно отвечают конкретной специфике производственной или иной деятельности потребителя. Форма и содержание информации и другой метеорологической продукции могут изменяться, соответствовать динамике развития или иным требованиям потребителя.

Содержание метеорологической информации должно быть доступным пониманию специалиста в области ее реализации.

2. По полноте и достоверности климатической информации.

3. По точности и успешности метеорологических прогнозов (условий погоды, опасных и стихийных гидрометеорологических явлений). Достижение необходимой точности прогноза и его адекватности фактической погоде — задача достаточно сложная применительно к конкретному потребителю. Возможности прогнозирования могут не отвечать чрезмерным, неоправданным требованиям. Чтобы исключить это несоответствие, требования потребителей должны быть теоретически обоснованы на базе метеоролого-экономического моделирования конкретной производственной или иной деятельности.

4. По оперативности экстренных сообщений, предупреждений об особо опасных условиях погоды.

5. По необходимости разработки новых технологий специализированного метеорологического обеспечения. Это может быть более полное освещение метеорологической информации в компьютерных системах, алгоритмическое включение ее в программы автоматических систем управления, выдача потребителю погодо-хозяйственных решений на базе метеорологических прогнозов и другие технологии.

6. По контролю качества специализированного метеорологического обеспечения и достижения его экономической полезности.

7. По ответственности поставщика метеорологической информации (и продукции) за возможный экономический ущерб, понесенный потребителем при допущенных ошибках в специализированном метеорологическом обеспечении.

Важным условием достижения результатов предъявляемых требований является необходимость того, чтобы потребитель знал, что он требует, а поставщик метеорологической информации был хорошо осведомлен в специфике деятельности потребителя. Отсюда очевидно, что специализированное метеообеспечение должно быть отраслевым, профильным. Соответствующие отраслевые отделы должны быть и в метеоагентствах.

2.3. Коммерциализация специализированного метеорологического обеспечения

Повседневная работа Гидрометеорологической службы связана с получением многочисленных видов информации о текущем и ожидаемом состоянии окружающей среды, которая и является информационной продукцией. В современных экономических условиях ей определено свойство товарной, рыночной продукции, а значит и придан коммерческий статус „купли-продажи”.

В период существования СССР метеорологическая информация передавалась потребителям бесплатно. Хотя уже и в тот период в гидрометеорологической практике отмечались элементы „купли-продажи”, но в крайне ограниченных объемах и по ценам, далеким от рыночных.

Начиная с 1991—1992 гг., система Росгидромета перешла на новый вид метеорологического обеспечения — предоставление потребителю специализированной информации за плату. Несмотря на первоначальное снижение спроса, коммерциализация специализированного метеорологического обеспечения стала более избирательной и целенаправленной.

Перевод на коммерческую основу метеорологических услуг в ряде стран и специализированного метеорологического обеспечения в России обусловлен в конечном счете тем, что необходимо компенсировать недостаток бюджетного финансирования. Эта коммерческая операция обеспечивает минимальные возможности экономического развития Гидрометслужбы.

Коммерциализация метеорологической информационной продукции направлена на решение в стране двух центральных задач. *Первая* — более полное удовлетворение потребительского специализированного спроса на метеорологическую информацию и приобретение потребителем экономической выгоды от ее использования. *Вторая* — обеспечение роста доходов во всех учреждениях Гидрометслужбы от платного специализированного обеспечения отраслей экономики. Для решения второй задачи наряду с центральным ме-

теоагентством Росгидромета создаются территориальные метеоагентства при соответствующих управлениях по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

За прошедший период официально узаконенной коммерциализации „доля договорных средств в общем объеме финансирования Росгидромета возросла в 25 раз” (А. И. Бедрицкий, 2000 г.).

Анализ результатов коммерциализации специализированного гидрометобеспечения показывает следующее. В 1989 г. бюджет Госкомгидромета СССР составлял 800 млн. руб., а экономический эффект от использования гидрометеорологической продукции по всем отраслям — 3 млрд. руб. В 1999 г. при бюджете Росгидромета в 400 млн. руб. соответствующий эффект составил 2,7 млрд. руб. Соотношение величин имеет один и тот же порядок. Однако в последние годы дополнительные финансовые средства за счет платного специализированного гидрометобеспечения достигают 40 % бюджетных ассигнований. Поступление средств в виде платы за договорное обеспечение в основном от наиболее погодозависимого потребителя — гражданской авиации — от 60 до 90 % общего объема.

Данные, приведенные в табл. 2.3, показывают, что наибольший объем платных услуг приходится на гражданскую авиацию, морские отрасли и топливно-энергетический комплекс.

Таблица 2.3

Распределение (%) платных гидрометеорологических услуг по отраслям экономики в 1992—1994 гг. По В. А. Тренину

Отрасль	1992 г.	1993 г.	1994 г.	Ранжировка
Гражданская авиация	65	88,4	84,3	1
Топливо-энергетический комплекс	7	2,1	2,5	3
Речной транспорт	1,7	0,58	1,3	4
Железнодорожный транспорт	1,3	0,75	0,8	7
Агропромышленный комплекс	3	0,55	1	5
Морские отрасли	6,9	1,06	3,2	2
Строительство	1,5	0,2	0,4	10
Лесное хозяйство	0,5	0,2	0,2	11
Коммунальное хозяйство	2,4	0,2	0,9	6
Автомобильный транспорт	0,9	0,1	0,5	8
Водное хозяйство	0,4	0,02	0,5	9
Другие отрасли ¹	9,4	5,4	4,4	—

¹ К ним относятся машиностроительные, горнорудные, нефтехимические, рыбные, геологоразведочные, предприятия, проектные НИИ, средства массовой информации, коммерческие структуры, предприятия связи, приборостроительной, электронной, легкой, пищевой промышленности, страховые компании.

Уже к 1999 г. общая сумма доходов за счет специализированного гидрометеобеспечения в системе Росгидромета составила почти 150 млн. рублей.

Центральной проблемой коммерциализации специализированного метеорологического обеспечения является ценообразование на метеорологическую информацию. Существует несколько подходов к определению цены на метеорологическую информацию.

Известно, что цена любой продукции, разработанной в производственных и научно-производственных условиях, должна превышать себестоимость, т. е. затраты на ее создание — стоимостные затраты.

Себестоимость метеорологической продукции есть денежные (ресурсные) издержки на ее производство и реализацию, себестоимость исчисляется по всем экономическим элементам затрат. Сюда включается стоимость средств на производство метеорологической продукции — амортизация основных средств и научно-методических разработок, расход текущих материалов, топлива и энергии, заработная плата, а также различного рода отчисления.

Реализация метеорологической продукции осуществляется средствами передачи, затратная доля на которые невелика. Достаточно сложный путь формирования метеорологической информации можно проследить на примере разработки прогнозов погоды. Скажем, чтобы разработать единичный суточный прогноз погоды по пункту, необходимы исходные метеорологические и аэрологические наблюдения за десятки предшествующих часов на обширной территории, включающей многие страны. Необходимо эту информацию соответствующим образом закодировать, передать в пункты сбора — прогностические учреждения Гидрометслужбы, преобразовать эту информацию и составить ряд синоптических карт (приземных и высотных). На основании полученного вида метеорологической информации синоптики, используя известные методы прогнозирования отдельных метеорологических величин и явлений погоды, разрабатывают текст ожидаемой погоды по пункту, территории, маршруту.

Глава 3

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ОТРАСЛЕЙ ЭКОНОМИКИ

3.1. Метеорологическое обеспечение энергетики

Энергетика — важнейшая отрасль экономики страны. Она представляет собой топливно-энергетический комплекс (ТЭК), включающий получение, передачу, преобразование и использование различных видов энергии и энергетических ресурсов. Энергетика объединяет такие энергетические системы, как *электрическую и тепловую (теплоснабжения); нефте- и газоснабжения; угольную и систему ядерной энергетики.*

Энергетика осуществляет массовое извлечение из природной среды преимущественно невозобновляемых ресурсов. Многообразие видов работ в каждой системе, осуществляемых на открытом воздухе, требует *избирательного и обширного метеорологического обеспечения.* Это касается проектирования новых энергетических объектов (ЛЭП, ТЭЦ, ГЭС, угольных разрезов, шахт, нефтяных скважин и др.), их строительства и ежедневного функционирования, обеспечивающего энергоснабжение всех отраслей экономики. Единая энергетическая система России разделена на ряд региональных энергосистем, имеющих свою специфику по энергоисточникам, масштабам обеспечения промышленности и городов, автономности и другим условиям гидрометеорологического и экономического характера.

Оперативное управление и выработку режима работы Единой энергетической системы страны осуществляет центральное диспетчерское управление.

3.1.1. Метеорологическое обеспечение электроэнергетики

На стадии проектирования и строительства широко используются климатические материалы. Они выбираются или определяются потребителем (по конкретным предприятиям ТЭК) на основании сведений, предоставляемых территориальными управлениями Гидрометслужбы. Так, для проектирования и строительства источников электроэнергии (ГЭС, ТЭЦ и др.) необходимы данные многолетнего метеорологического и гидрологического режимов в пункте строительства, регионе (водозапасы, расходы воды, экстремальные

и расчетные температуры воздуха). Строительство воздушных ЛЭП требует сведений, содержащих данные о максимальных размерах гололедно-изморозевых отложений (вид, масса и продолжительность), а также о максимальной скорости ветра и минимальной температуре воздуха на протяжении маршрута строительства. Метеорологические сведения позволяют рассчитать гололедно-ветровую нагрузку и эквивалентную скорость ветра в заданном пункте, смоделировать распределение механических напряжений и экстремальные условия несущих опор.

Однако это иллюстрация лишь малой доли климатических данных, используемых в электроэнергетической системе.

Основная часть потребляемой в стране электроэнергии вырабатывается на гидравлических (ГЭС), атомных (АЭС) и тепловых (ТЭЦ) электростанциях, а также при комбинированном производстве электроэнергии и тепла на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ). Сюда же включаются, хотя и с малой долей выработки электроэнергии, приливные электростанции. Отсюда очевидно, насколько велик диапазон необходимых климатических сведений для данных потребителей. В этих целях широко используются нормативные климатические параметры, представленные в СНиПах (строительных нормах и правилах). Во второй части СНиПа содержатся нормативные правила и требования, связанные со строительной климатологией, геофизикой, нагрузками и воздействиями применительно к конкретному объекту проектирования и строительства. Однако энергетическое и гидротехническое строительство требует ряда дополнительных климатических параметров или уточнения данных СНиПа, что относится уже к области специализированного метеорологического обеспечения.

Выделяют две группы гидрометеорологических параметров во всей совокупности специализированного обеспечения электроэнергетики.

Первая группа параметров, влияющих на выработку электроэнергии. В нее входят: водозапасы, расходы воды и др. Важной составляющей является информация о средних месячных и экстремальных суммах осадков, о количестве и продолжительности ливневых осадков в суточном режиме гидрологических данных. Выработка электроэнергии на тепловых станциях является относительно стационарной и обусловлена энергетической потребностью города, региона.

Вторая группа параметров, влияющих на потребление электроэнергии. Режим потребителя электроэнергии в значительной мере зависит от температуры воздуха и естественной освещенности, учитываемой по конкретному региону страны, а также от потребностей в этом виде энергоресурсов развивающегося производства.

Так, изменение средней суточной температуры на 1°C приводит к изменению генерирующей мощности по России на сотни тысяч кВт и соответственно к изменению расходов условного топлива¹. Степень освещенности в том или ином городе, регионе определяют облачность и суммарная радиация. Например, на ЕТР днем в декабре при изменении облачности от небольшой до сплошной (или наоборот) увеличивается (или уменьшается) потребление электроэнергии примерно на 5 %, что эквивалентно 1 млн кВт. Освещенность зависит и от явлений погоды, снижающих видимость. Это осадки, метели, пыльные бури и другие. Прогноз ясной погоды позволяет уменьшить нагрузку и выработку электроэнергии на электростанциях, а пасмурной — предусмотреть повышенную нагрузку.

Оперативное специализированное метеорологическое обеспечение региональных электроэнергетических систем осуществляют местные гидрометслужбы.

Особое внимание уделяется оперативному метеорологическому обеспечению высоковольтной сети данного региона.

В холодный период года необходим прогноз гололедно-ветровых нагрузок, а в летний — грозových условий погоды.

Отложение на проводах гололеда и изморози, сопровождаемое сильным ветром, может привести к обрыву проводов и поломке опор. Это необходимо учитывать и в случаях выпадения мокрого снега с последующим резким понижением температуры, что может быть связано с прохождением холодного фронта.

Большое значение имеет заблаговременное предупреждение о грозах, которое позволяет своевременно перейти на грозовой режим работы, ввести в действие предусмотренные им меры защиты и таким образом заметно снизить потери.

Для планирования режима потребления электроэнергии необходимы прогнозы среднесуточных значений температуры воздуха и облачности и аналогичные фактические значения за прошедшие сутки по различным районам страны. Это позволяет оперативно рассчитывать режим потребления электроэнергии по отдельным экономическим районам.

Графики работы энергосистемы составляются на год, месяц, декаду и на каждый день.

В электроэнергетике широко используется климатическая информация (режимы погоды²) на заданные периоды, а также данные о фактической и прогностической погоде.

¹ За условное топливо принимается топливо с теплотворной способностью, равной $2,9308 \cdot 10^4$ Дж/кг (или 1 кг топлива выделяет $2,9308 \cdot 10^4$ Дж).

² В данном случае могут быть использованы типы погоды, разработанные Е. Е. Федоровым, Л. А. Чубуковым и др. в рамках комплексной и динамической климатологии.

К опасным для электроэнергетики явлениям погоды относятся:

- 1) гроза любой интенсивности;
- 2) скорость ветра 30 м/с и более;
- 3) отложения гололеда на ЛЭП толщиной 20 мм и более, мокрого снега или сложного отложения льда толщиной 35 мм и более;
- 4) дожди интенсивностью 50 мм/12 ч и более, ливни интенсивностью 30 мм/ч;
- 5) резкие изменения температуры воздуха (10 °С в сутки и более);
- 6) продолжительные морозы (–30 °С и ниже) и продолжительная жара (30 °С и выше).

3.1.2. Метеорологическое обеспечение теплоэнергетики

В энергетическом балансе страны все большее значение придается теплоэнергетике. Развитие коммунального и промышленного строительства требует ввода в эксплуатацию все более мощных теплоэлектростанций (ТЭЦ), вырабатывающих как тепловую, так и электрическую энергию. Уже с 1985 г. такой энергоноситель, как пар и вода, занял одно из ведущих мест в теплообеспечении городского хозяйства. Централизованное теплоснабжение дает примерно 80 % тепла, потребляемого промышленными предприятиями, жилыми и общественными зданиями. Остальная доля приходится на районные котельные. Установлена географическая локализация экономичности ТЭЦ, что обусловлено выбором расчетной нагрузки. Так, для европейской части страны она составляет 400 Гкал/ч, для Урала — 600 Гкал/ч, для Сибири — 900 Гкал/ч.

В крупных городах все тепловые источники осуществляют подачу теплоносителя на общую тепловую сеть. Примерно 50 % вырабатываемого тепла приходится на жилищно-коммунальный сектор, остальная часть поглощается в сфере материального производства.

Производство тепловой энергии связано с большим расходом энергоресурсов. Так, в 1980 г. на производство тепла израсходовано до 500 млн. т условного топлива, что соответствует 26 % общего расхода энергоресурсов на внутренние нужды страны.

Отсюда очевидно значение, которое придается стратегии энергосбережения. Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов — одно из главных условий успешного хозяйственного переустройства и развития экономики страны. Особое место здесь занимает оптимальное использование информации о погоде и климате в целях снижения расхода топлива и энергии.

ТЭЦ совместно с теплосетью образуют самостоятельную локальную энергосистему, осуществляющую теплоснабжение. Отпуск тепла регулируется в зависимости от ожидаемой температуры на-

ружного воздуха и скорости ветра на предстоящие сутки. На основании прогноза температуры воздуха и ветра задается режим работы ТЭЦ — ее тепловая нагрузка.

3.1.3. Метеорологическое обеспечение топливной промышленности

В состав топливной промышленности входят отрасли, объединяющие предприятия нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, газовой, угольной, сланцевой и торфяной промышленности.

Нефте- и газоснабжение относятся соответственно к нефтяной и газовой промышленности.

Нефтяная промышленность ведет разведку нефтяных месторождений, бурение скважин, добычу нефти и попутного (нефтяного) газа, переработку и трубопроводную транспортировку нефти. Нефть добывают на нефтяном промысле, который представляет из себя комплекс скважин, трубопроводов и установок для извлечения нефти, подводящие нефтепроводы, замерную установку, подключающую 10—30 скважин, газонефтяной сепаратор и специальные резервуары для накопления товарной нефти, откуда она поступает в магистральный нефтепровод или в цистерны. Дальнейшая транспортировка нефти осуществляется по магистральным нефтепроводам с помощью головных и промежуточных нефтеперекачивающих станций. По всей длине нефтепровода устанавливаются линейные задвижки на расстоянии не более 20 км.

Газовая промышленность охватывает разведку и эксплуатацию месторождений природного газа, газоснабжение по газопроводам, производство газа из угля и сланцев, переработку газа и использование его в различных отраслях промышленности и коммунально-бытовом хозяйстве.

Добыча газа на месторождении осуществляется с помощью специального бурового оборудования и газокompрессорных станций, обеспечивающих повышение давления газа при его добыче, транспортировке и хранении. Для транспортировки природного газа на большие расстояния используется магистральный газопровод. Газораспределительные станции служат для понижения давления газа при подаче его потребителю. Наиболее крупными потребителями газа являются ТЭЦ и предприятия различных отраслей промышленности.

Метеорологическое обеспечение районов промысла, укладки и эксплуатации нефте- и газопроводов ведут ближайшие к месту работ оперативные прогностические подразделения УГМС. В зависимости от географических и сезонных условий работы на нефте- и газопромыслах устанавливается перечень метеорологических вели-

чин и явлений погоды, учет которых необходим при добыче и транспортировке нефти.

В соответствии с локальными соглашениями и договорными условиями подразделения Росгидромета обеспечивают производственные организации режимными гидрометеорологическими материалами, необходимыми для проектирования, строительства и эксплуатации газо- и нефтепроводов и других объектов. В повседневной работе производственные объединения по транспортировке и поставке нефти и газа, а также линейные производственные управления получают прогнозы погоды на сутки, трое суток и месяц. В предупреждениях об ОЯ и НГЯ указываются данные о грозах, сильном ветре, резких перепадах температуры, которые могут привести к нарушению снабжения нефтью и газом промышленных предприятий и коммунально-жилищного хозяйства.

Важное место в специализированном метеорологическом обеспечении занимает информация о грозах. Вести работу на газопроводе и нефтепроводе при грозах строго запрещено. Поэтому предупреждения должны поступать минимум за 2—3 часа до начала и прекращения работ.

Изменения температуры влияют на регулировку подачи газа. При прогнозе длительных морозов газ заблаговременно накапливают в резервных мощностях, поэтому может возникнуть необходимость лимитировать подачу газа на предприятия. Подача газа на жилищные нужды не лимитируется.

К опасным явлениям в этой системе относятся:

- 1) метели (в прогнозе указывают скорость ветра);
- 2) гололед любой интенсивности;
- 3) грозы любой интенсивности;
- 4) понижение температуры воздуха до -25°C ;
- 5) длительные дожди с количеством осадков 7 мм и более за 12 ч и менее;
- 6) скорость ветра 15 м/с и более;
- 7) глубокое промерзание почвы.

Линейные производственные управления получают, кроме того, необходимую гидрологическую информацию об опасных гидрологических явлениях на реках в местах, пересекаемых газо- и нефтепроводами.

Для специализированного гидрометеорологического обеспечения нефтепромысла на море составляются прогнозы ветра и волнения, температуры воздуха и воды, прогнозы гроз и явлений, понижающих видимость. Это позволяет своевременно принимать меры, обеспечивающие безопасность работ на морских нефтепромыслах, с

наименьшими затратами производить завоз производственных материалов и топлива и транспортировку нефти на берег.

Остановимся на метеорологическом обеспечении торфяной промышленности.

Торф используется в энергетике, для производства торфяного газа, как коммунально-бытовое топливо и в сельском хозяйстве.

Все операции по подготовке поверхности торфяного месторождения, добыче торфа и его транспортировка механизированы. Современная добыча торфа характеризуется высоким уровнем технологии производства.

Зависимость торфоразработок от погодных условий очевидна. К наиболее неблагоприятным явлениям погоды в этой системе относятся дожди, особенно летом, в период интенсивной обработки торфяных полей, а также сильный ветер в засушливую погоду. Поэтому особое значение придается прогнозу длительных периодов ясной безветренной погоды, когда рабочие и техника могут быть переведены на форсированный режим работы. Успешный прогноз ясной погоды или малооблачной погоды на 2—4 дня благоприятствует выполнению плановых работ. Знание предстоящей погоды позволяет регулировать технологию производства (изменить вид работ, провести профилактический ремонт и др.) с наименьшими производственными потерями.

В соответствии с договорными условиями по районам торфоразработок дается следующая метеорологическая информация:

1) прогноз на сутки, на последующие двое суток, на 5 и 10 суток, на месяц, на весенние и летние сезоны с указанием значений метеорологических величин и явлений, оказывающих существенное влияние на добычу торфа;

2) регулярная информация о фактическом состоянии погоды;

3) предупреждения об ОЯ и НГЯ погоды;

4) данные метеорологических наблюдений болотных станций на осушенных и неосушенных торфяных залежах.

Неблагоприятные и опасные явления погоды для торфоразработок представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Неблагоприятные и опасные явления погоды для торфоразработок

Явление	НГЯ	ОЯ
Пожароопасность лесов	III класс	IV и V классы
Дождь	Количество осадков 5 мм и более за 12 ч и менее	Количество осадков 50 мм и более за 12 ч и менее. Ливни 20 мм за 1 ч и менее

Явление	НГЯ	ОЯ
Ветер	10 м/с и более при устойчивой засушливой погоде; 15 м/с и более	30 м/с и более или порывы 40 м/с и более
Метель всех видов	При скорости ветра 10 м/с и более	При скорости ветра 15 м/с и более продолжительностью 12 ч и более
Гололед и отложения мокрого снега	Диаметр отложения до 20 мм	Диаметр отложения 20 мм и более; мокрого снега или сложного отложения льда 30 мм и более
Туман, дождь, метель, пыльная буря, снегопад, ухудшающие видимость	Видимость менее 500 м	Видимость менее 50 м в течение более 3 ч
Снегопад	—	20 мм и более за 12 ч и менее
Гололед	Любой интенсивности	
Гроза	То же	

3.2. Метеорологическое обеспечение сельского хозяйства

В любой стране мира сельскохозяйственному производству уделяется первостепенное внимание. Это *ведущая отрасль экономики*, обеспечивающая население продуктами питания, а значит, и жизнедеятельность государства в целом.

В силу различных причин уровень развития сельского хозяйства в разных странах существенно различается. И это прежде всего объясняется таким фактором, как *климатические условия*, т. е. наличием необходимых для сельскохозяйственного производства *климатических ресурсов*. Немаловажное значение имеют и региональные особенности местности (гористость, заболоченность, лесистость и др.).

Однако в настоящий постиндустриальный период развития общества острота сельскохозяйственной проблемы — обеспечение населения продуктами питания — заметно снизилась. Это объясняет-

ся высоким уровнем агротехнологии в развитых и развивающихся странах при условии достаточного климатического обеспечения сельскохозяйственного производства.¹

3.2.1. Специфика сельскохозяйственного производства

Сельское хозяйство — это важнейшая отрасль материального производства, занимающая второе место после промышленности в валовом общественном продукте. На ее долю приходится около 30 % национального дохода.

Сельскохозяйственное производство является многоотраслевым (оно включает в себя земледелие и животноводство) и требует самой разнообразной метеорологической и агрометеорологической информации. Основными сельскохозяйственными культурами в нашей стране являются: зерновые (в том числе кукуруза, рис), зернобобовые, подсолнечник, картофель, сахарная свекла, овощи, фрукты, ягоды.

Производство сельскохозяйственной продукции в достаточно больших масштабах осуществляется в *особых специфических условиях*, характерных только для данной отрасли.

1. Сельскохозяйственные культуры на всех фазах производства постоянно находятся под влиянием погоды и климата. Учет погоды и климата требуется во все сезоны года. Это относится и к посеву озимых и оценке их состояния, и ко всем видам весенних посевных и посадочных работ, и к агрономической технологии обеспечения развития сельскохозяйственных культур и их успешного сбора.

2. Сельскохозяйственные работы носят сезонный характер и существенно обусловлены климатической зоной. При этом особое внимание уделяется нормам и технологиям посева и посадки сельскохозяйственных культур, видам и агротехнике подкормок, защите сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней и сорняков. Сезонная особенность сельскохозяйственных работ представляет собой избирательные агрометеорологические условия возделывания многочисленных сельскохозяйственных культур: ранних яровых зерновых (пшеница, ячмень, овес), зернобобовых (горох зерновой), крупяных (греча, просо), озимых (пшеница, рожь), технических (лен, свекла, картофель), кормовых (многолетние и одно-

¹ Известно, что Голландия со своими относительно небольшими сельскохозяйственными угодьями способна накормить картофелем и овощами всю Европу, а Дания — обеспечить всех желающих свининой. В сельском хозяйстве этих стран занято лишь несколько процентов населения. Это характерно и для климатически обеспеченных зон США, Канады, Франции, Австралии и других стран.

летние травы и силосовые культуры), овощных (огурцы, томаты, капуста) и садовых (плодово-ягодные культуры).

3. Сельскохозяйственные культуры занимают обширные площади, и это затрудняет практическое применение эффективных мер защиты сельскохозяйственных культур от неблагоприятных условий погоды. Поэтому в сельском хозяйстве непредотвратимые убытки по метеорологическим причинам больше, чем в какой-либо другой отрасли народного хозяйства.

3.2.2. Зависимость сельскохозяйственного производства от метеорологических условий

Наибольшая зависимость сельскохозяйственных культур от погоды проявляется в вегетационный период. Однако урожай, например, озимых существенно зависит от термовлагоустойчивости осенью и условий их перезимовки (условий закалки). В зимне-весенний период возможны такие опасные агрометеорологические условия, как вымерзание, выпревание, образование ледяной корки, вымокание.

Различные сельскохозяйственные культуры имеют разную вегетационную продолжительность, избирательную потребность в тепле и освещении, а также разную степень влаголюбивости и морозоустойчивости. Особым агроклиматическим показателем является величина биологического нуля, которая принимает значение от 3—5 до 12—15 °C.¹

Особенно страдают растения от недостатка влаги и избыточного увлажнения почвы. Влагозапасы распределяются крайне неравномерно. Южные районы страны, как правило, испытывают недостаток влаги.

Сельскохозяйственные культуры предъявляют различные требования к теплу, что может быть выражено суммой среднесуточных температур воздуха за период вегетации данной культуры. В качестве порогового условия рассматривается сумма активных температур выше 10 °C.

Весной и осенью пагубное влияние оказывают заморозки. В южных районах страны от заморозков страдают цитрусовые. Более существенные потери от заморозков испытывают яровые зерновые во время цветения и налива зерна уже при температуре -2, -4 °C.

¹ Установлены классификации растений по различным природным признакам и численным показателям, что необходимо для оценки климатических условий среды обитания. Среди них и такой показатель, как биологический нуль — нижний предел температуры активной вегетации.

Тяжелые условия могут складываться и летом. Нередко засухи охватывают значительную территорию, что приводит к максимальным убыткам в сельском хозяйстве. На юге ЕТР засухи при сильном ветре сопровождаются возникновением пыльных и черных бурь. Продолжительные сильные ветры с обложными осадками и ливнями вызывают полегание сельскохозяйственных культур.

Ниже дается краткая характеристика влияния наиболее неблагоприятных условий погоды на возделывание и уборку сельскохозяйственных культур в отдельные сезоны.

Зима

1. Длительные морозы без выпадения снега, особенно в предзимье (ноябрь) и первую половину зимы. *Следствие*: вымерзание озимых (обезвоживание и разрушение клеток кристаллами льда).

2. Обильные снегопады на незамерзшую почву и последующие низкие температуры воздуха. *Следствие*: озимые выпревают (углеводное истощение).

3. Образование ледяной корки. *Следствие*: выпревание, вымерзание.

Изреженность (в %) озимой пшеницы в зависимости от толщины ледяной корки принято рассчитывать по следующей эмпирической формуле:

$$\bar{u} = 5,4 + 2,8l + 1,8l^2, \quad (3.1)$$

где l — средняя толщина ледяной корки, см.

Вымерзание озимых обусловлено вторжением на ЕТР полярных и ультраполярных антициклонов, а длительные оттепели и резкие затем понижения температуры воздуха могут быть вызваны юго-западными и южными циклоническими процессами.

Весна

1. Сохранение морозной, малоснежной погоды. *Следствие*: вымерзание озимых. Принимается решение об их пересеве на части площади.

2. Резкое и значительное потепление — быстрое снеготаяние. *Следствие*: затопление посевов на 5—10 суток сопровождается вымоканием растений, а на 25 суток и более — их полной гибелью.

3. Длительная теплая сухая погода. *Следствие*: иссушение почвы, слабое развитие растений. При сильном ветре оголяется корневая система. В южных районах наиболее опасны пыльные и черные бури.

4. Заморозки — понижение температуры до 0 °С и ниже — в воздухе или только на почве при устойчивом среднесуточном положительном значении ее. *Следствие:* в зависимости от интенсивности заморозка частичная или полная гибель растений. Особенно чувствительна к заморозкам рассада овощных культур, высаженная в открытый грунт.

Лето

1. Заморозки в начале лета. *Следствие:* значительные повреждения садовых и овощных культур.

2. Сильные ветры с ливнями. *Следствие:* полегание растений.

3. Град. *Следствие:* обладая огромной разрушительной силой, уничтожает посевы.

4. Суховей, пыльные и черные бури. *Следствие:* выдувание и снос деятельного слоя почвы. Полное уничтожение растений.

5. Засуха. *Следствие:* гибель растений на огромных территориях. Резкое снижение продуктивности в животноводстве.

6. Заморозки в конце лета. *Следствие:* снижение урожайности ряда культур.

Осень

1. Заморозки. *Следствие:* в зависимости от интенсивности заморозка может быть частичная или массовая порча сельскохозяйственной продукции (на корню, во время полевых работ и т. п.).

2. Похолодания с дождями. *Следствие:* задержка и срывы сбора урожая; порча сельскохозяйственной продукции.

3. Значительное понижение температуры (до 0 °С и ниже) во время уборки урожая. Возможно выпадение мокрого снега и снега. *Следствие:* значительные потери при уборке урожая.

Метеорологические условия оказывают влияние на состояние сельскохозяйственных животных. Температура и влажность воздуха, ветер и солнечная радиация сказываются в наибольшей мере. Особенно тяжело переносят животные переохлаждение и перегрев. Изменения температуры воздуха сказываются на удое молока. При понижении температуры воздуха до —10 °С удой молока у отдельных пород коров падает на 15 %. Наибольший привес скота наблюдается при температуре воздуха 16—21 °С, а при температуре выше 35 °С привес совсем прекращается.

В высокогорных районах благоприятная погода является одним из основных условий успешного перегона скота с весенних пастбищ на летние.

В оленеводческих районах Дальнего Востока и Крайнего Севера метели и оледенение верхнего слоя снега (ледяная корка) оказывают крайне неблагоприятное влияние на выпас скота. Так, в тундре оледенение больших территорий представляет собой стихийное бедствие. Олени стада оказываются под угрозой бескормицы, а перегоны их сопровождаются массовым травмированием животных.

К особо опасным агрометеорологическим явлениям относятся такис, которые вызывают повреждение и гибель растений на одной трети посевной площади области и более. Это:

1) засуха и суховеи, сохраняющиеся в течение 10 дней и более при относительной влажности воздуха днем 30 % и менее и запасах влаги в пахотном слое почвы 10 мм и менее;

2) почвенная корка, переувлажнение почвы, низкая температура воздуха, вызывающие загнивание и гибель семян хлопчатника;

3) заморозки в воздухе или на поверхности почвы в вегетационный период, вызывающие повреждение зерновых (в период молочно-восковой спелости), технических, овощных, плодовых и других культур;

4) понижение температуры воздуха в субтропических районах до -7°C и ниже, вызывающее повреждение и гибель citrusовых растений;

5) температура почвы ниже критической на глубине узла кущения озимых культур и многолетних трав в Нечерноземной зоне;

6) наст, ледяная корка, высокий снежный покров, снегопады, метели, наблюдающиеся на пастбищах отгонного животноводства;

7) переувлажнение и иссушение почвы, частые дожди, наблюдающиеся в течение 10 дней и более.

3.2.3. Метеорологическое и агрометеорологическое обеспечение сельского хозяйства

В соответствии со структурой Росгидромета метеорологическое и агрометеорологическое обеспечение сельского хозяйства регламентируется следующим образом. Центральное учреждение Гидрометслужбы России — Росгидромет — обеспечивает метеорологической и агрометеорологической информацией руководящие органы страны, Министерство сельского хозяйства и другие ведомственные организации, связанные с сельскохозяйственным производством. Аналогичное обеспечение метео- и агрометеоинформацией осуществляют территориальные (местные) управления Гидрометслужбы (УГМС).

В целях эффективного метеорологического и агрометеорологического обеспечения ведутся наблюдения, относящиеся к агрометеорологии, проводятся многочисленные научные исследования, разрабатываются методы прогнозирования.

Наблюдения. Гидрометеорологические станции и посты ведут метеорологические и агрометеорологические наблюдения и обеспечивают необходимыми сведениями районные организации, совхозы и другие коллективные сельскохозяйственные организации. Ведутся постоянные метеорологические наблюдения за температурой и влажностью воздуха и почвы, а также за другими условиями погоды, которые в общей сложности обеспечивают произрастание растений. По единой методике проводятся фенологические наблюдения, определяются густота и высота растений, повреждения растений неблагоприятными явлениями и условиями погоды, сельскохозяйственными вредителями и болезнями.

Ведутся наблюдения за состоянием посевов, формированием продуктивности и урожая, за проведением полевых работ и их качеством. В районах орошаемого земледелия проводятся наблюдения за влажностью почвы и глубиной стояния грунтовых вод, за ростом и развитием растений на орошаемых землях, за сроками, нормами и качеством полива. Для этих районов составляются гидрологические прогнозы запасов воды в реках и водохранилищах, необходимой для орошения полей.

Данные наблюдений передаются руководству совхозов и других коллективных хозяйств для корректировки конкретных видов сельскохозяйственных работ и проведения необходимых агротехнических мероприятий.

Прогностическая информация. Поступающие в оперативно-прогностические подразделения данные метеорологических и агрометеорологических наблюдений необходимы для составления:

1) предупреждений об ОЯ и НГЯ, об опасных агрометеорологических условиях;

2) прогнозов погоды и агрометеоусловий различной заблаговременности;

3) агрометеорологической информации (сводки за день, пятидневку, декаду и др.) о сложившихся погодных условиях и их влиянии на развитие сельскохозяйственных культур, проведение полевых работ, формирование урожая, выпас скота и др.;

4) агрометеорологических обзоров за вегетационный период, а также за периоды полевых работ, уборки урожая, проведения сева;

5) агрометеорологических прогнозов различного вида, продолжительности и назначения.

Данные метеорологических и агрометеорологических наблюдений широко используются при агрометеорологическом обосновании размещения сельскохозяйственных культур, новых способов их возделывания и уборки. Для решения вопросов перспективного планирования сельскохозяйственного производства и выполнения сезонных сельскохозяйственных работ требуются знания климата и агроклимата по территории. В этих целях разрабатывается научное агроклиматическое районирование для многих сельскохозяйственных культур.

Аналогичные научные рекомендации разрабатываются по эффективному пастбищному содержанию и выпасу скота, а также по заготовке кормов. Особое значение придается метеорологическому обеспечению оленеводства в тундровой зоне. Своевременные прогнозы оледенения снега позволяют выбрать наиболее безопасные маршруты перекочетов оленьих стад. Даются также рекомендации по срокам перегона оленей с одного пастбища на другое.

Особое значение придается изучению агроклиматических ресурсов света, тепла и влаги. Не менее важно изучение и знание синоптических процессов, вызывающих особо опасные для сельского хозяйства условия погоды.

Специфика агрометеорологического обеспечения. Для повышения качества метеорологического и агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства необходимо знать специфику сельскохозяйственного производства, агрометеорологические и агроклиматические условия района. Требуется детальное изучение района обеспечения, таких факторов, как морозоопасность отдельных участков, водная и ветровая эрозия пахотного слоя и т. п. Для этой цели должна быть тщательно изучена микроорография района. Текущая и прогностическая метеорологическая и агрометеорологическая информация позволяет более рационально использовать предстоящие благоприятные метеорологические и агрометеорологические условия для успешного выполнения данного вида работ или принять предупредительные меры к предотвращению или уменьшению возможных потерь.

Оперативное специализированное метеорологическое и агрометеорологическое обеспечение осуществляют прогностические подразделения в рамках установленных процедур взаимодействия между поставщиком и потребителем, что находится в ведении метеорологических агентств Гидрометслужбы.

Определенной спецификой отличается метеорологическое и агрометеорологическое обеспечение рисоводства, виноградарства и возделывания citrusовых культур.

Задача НИИ Росгидромета. Наиболее важными обязательными задачами в области исследования агрометеорологических проблем в сельском хозяйстве являются следующие:

1) изучение метеорологических и агрометеорологических особенностей вновь осваиваемых земельных угодий;

2) разработка, испытание и внедрение более эффективных методов оценки и прогноза агрометеорологических условий, методов агрометеорологических прогнозов (влагообеспеченности, пересева озимых, сроков сева, доз внесения минеральных удобрений, норм полива и т. д.);

3) проведение дальнейшей разработки методов прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур.

3.3. Метеорологическое обеспечение транспорта

Транспорт — особая сфера в материальном производстве. Он представляет собой самостоятельную отрасль народного хозяйства. Осуществляя перевозки, транспорт связывает в единое целое различные отрасли хозяйства. Его основная функция и главная особенность состоит в том, что он *продолжает производственный процесс* в пределах процесса обращения, товарооборота. Транспорт связан со всеми предприятиями и является поставщиком сырья, топлива, промышленной и пищевой продукции.

Вторая производственная особенность транспорта заключается в том, что *стоимость полезного эффекта* переносится на перевозимый груз, *увеличивая его стоимость*. В этом и состоит материализация грузоперевозок, которые сами по себе не обладают материальной субстанцией.

Все виды транспорта образуют единую транспортную систему независимо от формы собственности и отраслевой принадлежности. Это естественный процесс в любых производственных условиях. По экономической значимости виды транспорта выстраиваются следующим образом: железнодорожный, морской, автомобильный, речной, воздушный, нефтепроводный и газопроводный.

Работа всех видов транспорта существенно зависит от природных факторов: географической и гидрометеорологической среды.

Географическая среда обуславливает географию транспорта: пункты базирования и систему маршрутов. Состояние гидрометеорологической среды оказывает существенное влияние на пропускную и провозную способность наземного, водного и воздушного транспорта.

3.3.1. Железнодорожный транспорт

Это основной вид транспорта в России. Протяженность железных дорог составляет более 80 тыс. км, значительная часть которых электрифицирована. Использование мощных подвижных составов обеспечивает высокую пропускную способность железных дорог. Высокие скорости и регулярность перевозок на большие расстояния делают этот вид транспорта наиболее выгодным. На его долю приходится более 65 % суммарного грузооборота и около 42 % суммарного пассажирооборота. Повышение его экономичности связано с более рациональным использованием его в различных климатических зонах. В качестве сопоставления, например, воздушного транспорта с железнодорожным приводятся соответственно следующие показатели: 0,05 и 16 % (1980-е годы). В настоящее время в связи со значительным сокращением воздушного движения роль железнодорожного транспорта еще более возросла.

Железнодорожный транспорт — это чрезвычайно *разветвленная сложная отрасль* народного хозяйства, которая *постоянно зависит* от условий погоды, несмотря на введение в практику электронных автоматов и других современных механизмов. Наоборот, он стал *еще более зависим от метеорологических условий*.

В связи с относительно большими скоростями движения составы поездов в течение суток могут подвергаться резким изменениям погоды. Такого рода транспорт не имеет необходимой „погодной” маневренности, он „*привязан*” к *железнодорожным путям* и крупным железнодорожным станциям.

Особая специфика работы железнодорожного транспорта складывается на крупных станциях и узлах. Так, например, на станции Сортировочная (Санкт-Петербург) Московской Октябрьской железной дороги в централизованное управление включено более 300 стрелочных переводов, что усложняет работу особенно зимой.

Влияние метеорологических условий на работу железнодорожного транспорта постоянно учитывается, что позволяет более полно оценить возможность применения защитных мер.

Учет текущих и ожидаемых метеорологических условий осуществляется рядом служб железнодорожного транспорта (рис. 3.1). Ведущей из них является служба движения. Информация об опасных условиях и явлениях погоды должна незамедлительно поступать в оперативный отдел службы. Служба движения совместно со службой пути и другими службами осуществляет комплекс защитных мероприятий, снижающих прямые потери (ущерб) на железнодорожном транспорте.

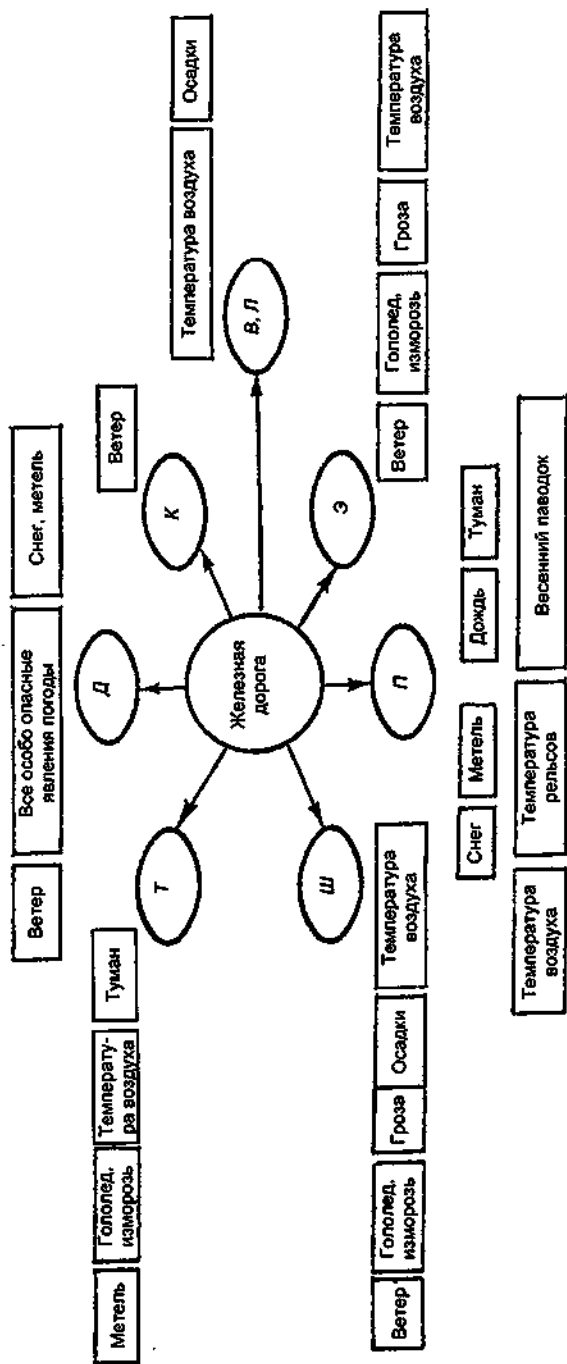


Рис. 3.1. Влияние метеорологических факторов на основные службы железнодорожного транспорта.

Д — служба движения, Т — локомотивная служба, П — служба пути, Ш — служба сигнализации и связи, Э — служба электро-снабжения, Л — пассажирская служба, В — служба вагонного хозяйства, К — служба контейнерных перевозок и коммерческой работы.

Наиболее сложные условия работы наблюдаются зимой. Снегопады и метели на железнодорожных путях вынуждают снижать скорость движения, а на крупных узловых станциях препятствуют нормальному ритму формирования составов. Рыхлый снег высотой до 30 см на путях следования не столь опасен. Однако возможны более опасные ситуации. Снег в сугробах может оказаться спрессованным и закрывать путь на значительном протяжении. Возникает необходимость применения мощной снегоочистительной техники, на что тратятся значительные денежные средства.

Общая метель (метель с выпадением снега) приводит к сбоям в работе станций и узлов. Ожидаемая по прогнозу общая метель той или иной продолжительности требует соответствующих защитных мероприятий (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Меры защиты при общей метели

Приrost высоты снежного покро- ва, см	Характеристика яв- ления	Необходимые меры защиты
Общая метель продолжительностью до 3 ч при скорости ветра до 10 м/с		
1—3	Опасна для боль- ших станций и узлов ночью	Требуется дополнительное количест- во рабочих для очистки стрелочных переводов
До 5	Опасна всем стан- циям, особенно ночью	То же
6—10	Опасна всем стан- циям в любое вре- мя суток	То же
Свыше 10	Значительная опасность всем станциям	Требуется ввод в действие снегоубо- рочной техники
Общая метель продолжительностью от 4 до 12 ч		
До 5	Опасна всем стан- циям в любое вре- мя суток	Требуется дополнительное количест- во рабочих для очистки стрелочных переводов
6—10	То же	Требуется ввод в действие снегоубо- рочной техники
Свыше 10	То же	Требуется ввод в действие снегоубо- рочной техники и две-три смены ра- бочих

Прирост высоты снежного покрова, см	Характеристика явления	Необходимые меры защиты
Общая метель продолжительностью свыше 12 ч при скорости ветра 15 м/с и более		
До 5	Особо опасна всем станциям в любое время суток	Требуется значительное дополнительное количество рабочих для очистки стрелочных переводов; возможен ввод в действие снегоуборочной техники
6—10	То же	Требуется ввод в действие снегоуборочной техники и две-три смены рабочих
Свыше 10	Равносильно стихийному бедствию	Требуется ввод в действие снегоуборочной техники и две-три смены рабочих, привлечение рабочей силы с предприятий города и т. п.

Кроме метелевых условий особую опасность вызывает выпадение мокрого снега с последующим понижением температуры воздуха, что может полностью парализовать работу на станциях и узлах.

Большое влияние на работу железных дорог, особенно на бесстыковой путь, оказывает температура воздуха. Выделены пороговые значения температуры воздуха: опасные высокие $t \geq 25^\circ\text{C}$, опасные низкие $t \leq -25^\circ\text{C}$. При высоких температурах может произойти выброс рельсов, а при низких — разрыв стыков и излом рельсов.¹

При производстве путевых работ и регулировке зазоров необходимо знать температуру рельсов. Установлена зависимость температурного режима рельсов от температуры воздуха.²

Рассчитаны поправки Δt_p к температуре воздуха t для определения максимальной и ежечасной температуры рельсов при безоблачной погоде

$$t_p = t + \Delta t_p. \quad (3.2)$$

¹ В Вологодской области по маршруту Москва — Вологда 8 января 2002 г. при температуре воздуха -35°C произошло крушение грузового поезда по причине разрыва рельсов. Некоторые вагоны с бензином и нефтью загорелись. Убыток составил 100 тыс. рублей.

² Организация и производство наблюдений за температурой рельсов, обработка полученных данных приведены в Методических указаниях Главного управления пути МПС.

Поправки Δt_p различаются в зависимости от расположения рельсов с запада на восток и с севера на юг.

В первом случае

$$\Delta t_{(3 \rightarrow B)} = t_{p(3 \rightarrow B)} - t_n, \quad (3.3)$$

во втором

$$\Delta t_{(C \rightarrow IO)} = t_{p(C \rightarrow IO)} - t_n. \quad (3.4)$$

Данные о поправках позволяют установить средние потери $\bar{R}$, возможные на данном маршруте:

$$\bar{R} = Lp \left(\frac{\Delta t_p}{t_6} \right), \quad (3.5)$$

где L — максимально возможные потери (при наличии оперативных сведений), $\bar{t}_6$ — средняя температура воздуха в данный период суток при безоблачном небе, p — оперативная вероятность данной температурной характеристики.

Температура рельсов зимой определяется исходя из следующих условий: при безоблачном небе и слабом ветре она ниже минимальной температуры воздуха на 3 °С, а в штилевую погоду в центральной части антициклона поправка достигает 5 °С. При облачной погоде, тумане или сильном ветре $t_p = t_n$.

Низкие температуры и резкие перепады температур усложняют работу локомотивов, требуют применения специальных инструкций по уходу и эксплуатации.

К неблагоприятным, а нередко и опасным условиям погоды относятся гололедные и изморозевые отложения, вызывающие вместе с тем и гололедно-ветровые нагрузки; туманы, а также осадки, ухудшающие видимость и вынуждающие снижать скорость поездов.

Продолжительные дожди и ливни образуют оползни на откосах земляного полотна, создают опасность его размыва.

Сильный ветер (15 м/с и более) также существенно влияет на работу железнодорожного транспорта и, в частности, на состояние контактной сети: приводит к ее деформации, вызывает боковые смещения проводов, повышает риск схода и поломки пантографа. Встречный ветер заметно снижает скорость движения поездов.

Очень осложняется работа железнодорожного транспорта в горных районах, где более опасны снеготанасы, обледенение дорог,

дождевые оползни и обвалы, сходы снежных лавин и сели. Все это требует специального гидрометеорологического обеспечения.

Метеорологическое обеспечение железнодорожного транспорта осуществляется дорожными геофизическими станциями и метеостанциями, относящимися к региональным управлениям дорог.

Особая роль отводится прогнозам погоды и штормовым предупреждениям.

Необходимая гидрометеорологическая информация поступает на геофизическую станцию (рис. 3.2), где она обрабатывается, анализируется и преобразуется в прогностическую информацию, которая выдается затем на различные участки дорог. В итоге разрабатывается следующая специализированная информация:

- полусуточный и суточный прогнозы погоды по территории, по отдельным районам (участкам) и пунктам дороги с указанием количественных характеристик метеовеличин (такие прогнозы являются составной частью оперативных производственных работ);

- штормовые предупреждения для линейных подразделений и руководства дороги с заблаговременностью не менее 4—6 ч; в штормовом предупреждении обязательно указывается район ожидаемого явления, время его начала и интенсивность;

- прогноз погоды на 3 и 7 суток, месяц, сезон (такие прогнозы позволяют руководству служб дороги и предприятиям дороги планировать характер своей будущей работы, с большей заблаговременностью готовить хозяйство к ожидаемым условиям погоды) (рис. 3.3).

Детализация прогнозов по отдельным участкам железной дороги позволяет рационально использовать рабочую силу, механизмы

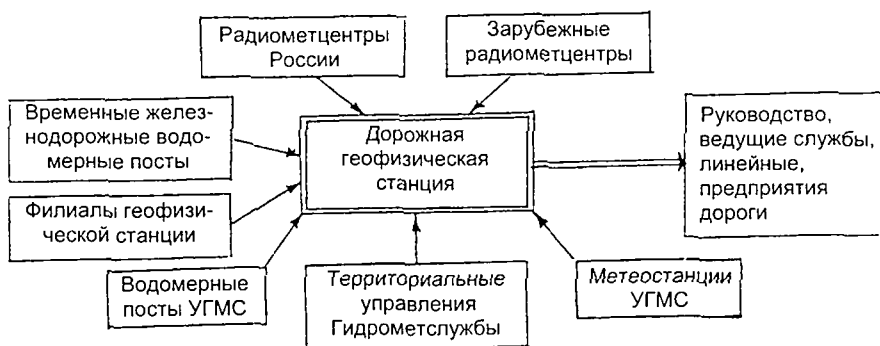


Рис. 3.2. Схема получения и передачи гидрометеорологической информации на железной дороге.

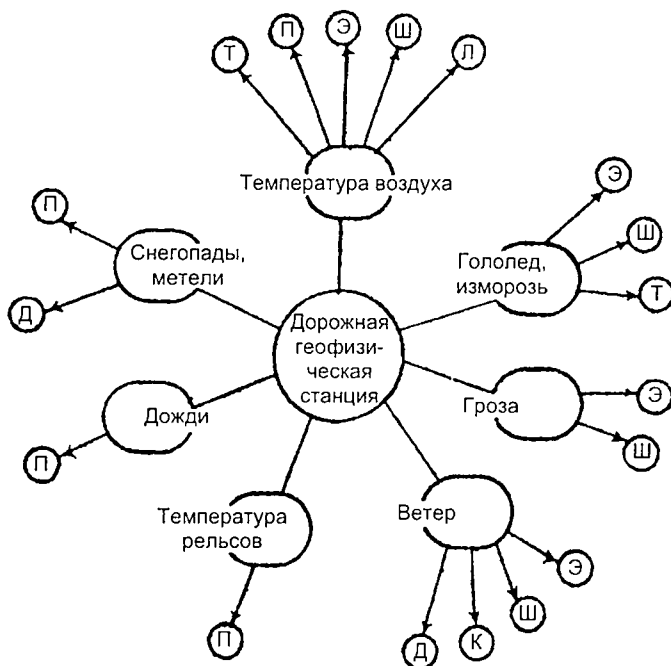


Рис. 3.3. Схема штормового предупреждения об опасных явлениях погоды ведущих служб дороги геофизической станции.

П — служба пути, предупреждается о снегопадах при количестве снега 1—3 см и более до 12 ч и метелях всех видов и любой интенсивности; о температуре воздуха $\geq 25^\circ\text{C}$ и $\leq -25^\circ\text{C}$ и переходе температуры воздуха через 0°C ; о дождях интенсивностью ≥ 20 мм и более за 12 ч; Д — служба движения, предупреждается о снегопадах интенсивностью ≥ 5 см за 12 ч и метелях всех видов и любой интенсивности; о скорости ветра ≥ 15 м/с; Э и Ш — службы электроснабжения, сигнализации и связи соответственно, предупреждаются о гололедно-изморозевых отложениях с момента их возникновения и скорости ветра ≥ 15 м/с, о температуре воздуха $\geq 25^\circ\text{C}$ и $\leq -25^\circ\text{C}$ и переходе температуры воздуха через 0°C , о грозах с момента их возникновения; К — служба контейнерных перевозок, предупреждается о скорости ветра ≥ 15 м/с; Л — пассажирская служба, предупреждается о температуре воздуха $\leq -25^\circ\text{C}$; Т — локомотивная служба, предупреждается о температуре воздуха $\leq -25^\circ\text{C}$, о гололедно-изморозевых отложениях с момента их возникновения.

и транспортные средства для борьбы с опасными явлениями, особенно со снежными заносами. Снижение потерь может быть обеспечено не только достаточной заблаговременностью предупреждений

о снегопадах и метелях, но и действиями потребителя — постоянной готовностью рабочей силы и техники и заблаговременным включением их в защитные мероприятия.

Большое значение для железнодорожного транспорта имеет метеорологическая информация, которая используется для проектирования и планирования, при решении технологических и хозяйственных задач. Климатическая информация широко используется для общей характеристики климата дороги (или отдельных ее районов), при составлении прогнозов погоды на длительные сроки, в целях планирования работ и расходования материальных ресурсов, для проектных работ, в частности при проектировании сортировочных горок, а также при проектировании мостов и мостовых переходов.¹ Климатическая информация играет важную роль и при решении проблемы борьбы со снежными заносами на железных дорогах, и при определении пунктов размещения снегоочистительной техники.

3.3.2. Морские организации

Россия — одна из крупнейших морских держав мира. Суда под флагом России посещают сотни зарубежных портов. Они обеспечивают перевозку грузов, выступая как средство крупномасштабных, главным образом межгосударственных, торговых операций.

К морским организациям относятся: морской транспорт, морские порты, рыболовный флот, морские промыслы и гидротехническое строительство.

Преимущества *морского транспорта* перед другими видами транспорта: затрачивается меньше материальных, трудовых и топливных ресурсов на транспортировку груза, обеспечивается высокая провозная способность. К морскому транспорту относятся пассажирские, сухогрузные, наливные и служебно-вспомогательные суда. Они широко применяются для международных и внутренних (каботажных) перевозок.

Одной из составляющих морского транспорта являются *морские порты*, которые различаются по их назначению: торговые; пассажирские; специальные, выполняющие перевозку таких грузов, как нефть, уголь, лес и др., а также порты—базы рыболовного флота. Выделяют еще порты-убежища, хотя безопасное укрытие судов от неблагоприятной погоды может обеспечить любой из перечисленных портов.

¹ Использование климатической информации в работе железнодорожного транспорта обстоятельно рассмотрено в книге Н. В. Кобышевой и ее коллег „Климат и железнодорожный транспорт”. М.: Изд. ВНИИГМИ—МЦД, 2000. — 187 с.

В зоне шельфа и на акватории ряда морей организованы *морские промыслы* — ведется добыча нефти и других природных материалов (янтаря, песка и т. п.).

Постоянно осуществляется строительство новых портов, защитных сооружений, каналов и т. д.

Рыбопромысловый флот ведет добычу рыбы и морепродуктов, значительная часть которых перерабатывается непосредственно на судах. Рыбопромысловые суда подразделяются на три группы: промысловые (рыбопромысловые базы, траулеры, сейнеры и др.), приемно-транспортные (рефрижераторные, сухогрузные и др.) и вспомогательные (суда промысловой разведки, буксиры-спасатели и др.).

Существуют два вида рыбного промысла: *прибрежный* — вдоль береговой зоны и *океанический* — в открытых частях морей и океанов.

Суда располагают крупными дорогостоящими орудиями лова, потеря которых во время шторма сопряжена со значительными убытками.

В морском промышленном рыболовстве ведущая роль отводится экспедиционной форме лова — большое количество судов выполняет одновременно экспедиционный лов в течение длительного времени. В районе лова могут быть сосредоточены десятки судов, включая крупнотоннажные рыбопромысловые базы типа „Восток” (водоизмещением 42,5 тыс. т).

Спецификой работы морских организаций является их постоянная зависимость от гидрометеорологических условий. Относительно *низкие путевые скорости* не обеспечивают судам достаточной маневренности при ухудшении погоды. Ветер и волнение определяют поведение судов в море на протяжении всего маршрута следования. В соответствии с Регистром разработан свод морских правил, согласно которым для каждого вида судна устанавливается штормовое значение скорости ветра, своего рода „погодный минимум”, по достижении которого работа в море (выход из порта, пребывание в штормовой зоне) запрещается. Особые специфические условия складываются в работе рыбопромыслового флота. Промысловые суда оказываются „закрепленными” в заданной акватории моря (океана) и нередко подвергаются самым опасным гидрометеорологическим условиям, которые не всегда удается избежать десяткам судов, входящих в экспедицию.

К опасным явлениям погоды и состояния моря относятся штормовой ветер, сильное волнение, туман, снежные заряды, ухудшающие видимость, обледенение судов. Уже при скорости ветра, достигающей 20 м/с, малотоннажные суда теряют управление. Ветер, скорость которого превышает 28 м/с, опасен для судов любого водоизмещения.

От гидрометеорологических условий зависят все стационарные и подвижные объекты в море и шельфовой зоне. Наиболее чувствительны к этим условиям крупные тихоходные морские объекты (платформы, вышки, специальные конструкции, караваны судов в ледовых условиях и т. п.). При определенных синоптических условиях в портах возникает опасное явление — тягун. Тягун отмечается в портах Прибалтики и Черного моря.

Особую опасность в прибрежной зоне представляют цунами. Опережающая цунами регистрация океанских землетрясений береговыми сейсмографами позволяет с достаточной заблаговременностью принимать защитные меры.

Гидрометеорологическое обеспечение морских организаций предусматривает специфику их хозяйственной деятельности и передачу потребителям необходимой гидрометеорологической информации. Суда, находящиеся в море, получают гидрометеорологическую информацию из гидрометцентров (или гидрометбюро) через радиостанции пароходства. В частности, метеорологическая информация передается в следующем порядке, рекомендованном ВМО:

- штормовые предупреждения;
- обзор синоптической обстановки по приземной карте погоды;
- прогноз на текущий день, сутки и последующие двое суток.

Для разработки прогноза погоды и прогноза состояния моря синоптик использует самую разнообразную исходную гидрометеорологическую информацию (данные наблюдений судов погоды, автоматических станций, спутниковую информацию и др.). По акватории порта прогнозируются те же метеорологические величины и явления погоды, что и для других пунктов на суше. Особое значение придается прогнозам ОЯ и НГЯ. Минимальная заблаговременность предупреждения устанавливается потребителем. Прогностическая информация необходима для предотвращения аварий и связанных с ними крупных убытков в портах, для планирования производственных операций в пределах портов, которые составляют около половины всей стоимости перевозок.

Маршрутные прогнозы для морского транспорта, в частности для перегона судов, плавучих кранов, составляются на срок не более трех суток и имеют свои особенности. Прогноз составляется по отдельным участкам маршрута перегона, носит более детальную пространственную и временную характеристику. Перегон должен осуществляться с участием синоптика и специалиста по гидрологии моря.

Особо выделяется гидрометеорологическое обеспечение проводки караванов судов на трассе Северного морского пути (от Карских Ворот до мыса Уэлен). Метеорологические проводки судов осуществляются комплексно ААНИИ и местными УГМС, которые охватывают арктическое побережье. Широко используются спутниковая

информация и сведения, поступающие с обеспечивающих судов. Особое значение имеют прогнозы направления и скорости ветра, температуры воздуха, тумана, гололедных условий, а также состояния и подвижки льдов.

Гидрометеорологическое обеспечение портов включает предоставление потребителю режимной (нормативной), текущей и прогностической гидрометеорологической информации.

Режимная информация используется для проектирования и строительства портов, портовых и защитных сооружений, гидро-, тепло- и электрокоммуникаций и морских каналов. Рациональное переоборудование портов с учетом гидрометеорологических условий района позволяет сократить время на погрузо-разгрузочные работы на 15—20 %.

Метеорологическое обеспечение рыбопромыслового флота осуществляется непосредственно в районе лова оперативными синоптическими группами. Преимущество такой формы гидрометеобеспечения в том, что прогнозист находится в условиях работы судов экспедиции, имеет непосредственный контакт с ее руководством, располагает дополнительными сведениями с береговых центров обеспечения, включая зарубежные.

Оперативная синоптическая группа дает информацию о текущем состоянии погоды и моря; составляет прогнозы погоды на сутки по акватории промысла; дает предупреждения об ОЯ и НГЯ, а также консультации и обзоры гидрометеорологических условий. Руководитель синоптической группы ежемесячно сообщает в отдел службы погоды УГКС сведения о наблюдавшихся опасных гидрометеорологических явлениях и об успешности прогнозов погоды, данные об убытках (при необходимости) и об экономическом эффекте прогнозов и штормовых предупреждений.

Материалы гидрометеорологических наблюдений, выполненных судами экспедиции, используются для научно-исследовательской работы по изучению гидрометеорологического режима района морского промысла. В прибрежной зоне морей вылов рыбы часто имеет путинный характер, что вызвано массовым подходом рыбы к берегу на относительно короткое время (сельдяная путина на юго-западном побережье Сахалина, путина хамсы в Керченском проливе и др.).

Сроки наступления путины существенно зависят от гидрометеорологических условий. Только при определенном, наиболее благоприятном сочетании значений гидрометеорологических величин (температуры воды и воздуха, ледового состояния, скорости ветра, волнения, уровня воды и др.) может быть обеспечен успех лова рыбы. В период путины требуется точная информация о текущей и ожидаемой температуре воды. Точный прогноз позволяет более эффективно и производительно использовать рыбопромысловые суда.

Синоптик должен хорошо знать специфику района лова, количество и расположение судов, способы лова, чтобы по отдельным участкам моря составлять конкретные прогнозы в зависимости от производственной обстановки.

Гидрометеорологическое обеспечение рыбного промысла в прибрежных районах морей включает:

1) регулярную информацию о текущем состоянии моря в прибрежных районах (температура и уровень воды, направление и скорость течения, высота ветровых волн и волн зыби, ледовые явления, толщина берегового припая);

2) прогнозы погоды для конкретных промысловых районов и отдельных участков побережья (время наступления ледовых фаз, толщина льда берегового припая, температура и уровень воды, направление и скорость течения, высота ветровых волн и волн зыби);

3) предупреждения об опасных значениях волнения и ледовых условиях;

4) рекомендации по наиболее целесообразному использованию ожидаемых состояния моря и погоды, особенно „промысловой погоды”;

5) рекомендации о маршрутах выхода из зоны интенсивного обледенения для малотоннажных рыболовецких судов.

Под *промысловой погодой* понимается благоприятная для рыбного промысла погода, когда значения ветра, волнения и ледовых условий меньше значений, опасных для данного типа судов и орудий лова.

3.3.3. Речной флот

Современная технически оснащенная транспортная речная сеть включает в себя судоходные реки, каналы, водохранилища, озера и заливы. Крупные реки являются основными водными магистралями. По пропускной способности они эквивалентны мощным железнодорожным магистралям. В целом речная воднотранспортная система в силу близости и доступности достаточно экономична.

Протяженность судоходных рек в России достигает 107 тыс. км. Речные пути разделяют по их территориальной и экономической значимости на *магистральные речные пути* (обслуживают внешнеторговые перевозки); *межрайонные* (транспортировка грузов между крупными административными и экономическими районами страны) и *местные* (обслуживают внутрирайонные хозяйственные связи). На европейской территории России действует единая воднотранспортная система, соединяющая пять морей: Балтийское, Белое, Каспийское, Черное и Азовское.

В систему речного флота входят *транспортные суда* всех разрядов и видов, *речные порты и пристани*, а также объекты, обеспечивающие работу речных судов на маршруте.

Речной флот осуществляет транспортные операции в течение навигации — периода отсутствия ледостава.

Речной транспорт включает *пассажирские, грузовые самоходные и несамоходные суда* (лихтера, баркасы и др.). Грузоподъемность сухогрузных и наливных речных судов достигает 20 тыс. т. Маршрутную безопасность судов обеспечивает *технический флот*, выполняющий разного рода путевые и дноуглубительные работы.

Речным регистром суда делятся на *разряды* по допуску к плаванию на больших озерах, водохранилищах, на больших судоходных реках и в мелководных бассейнах.

На внутренних водных путях осуществляется перевозка разнообразных грузов (полезных ископаемых, нефтепродуктов, строительных материалов и др.), буксировка несамоходных судов, плотов и гидротехнические работы.

С помощью речного транспорта выполняются как внутрибассейновые, так и межбассейновые перевозки.

Речные порты обеспечивают безопасную стоянку судов и перегрузочные операции. Основными характеристиками любого порта являются: *грузооборот* (суммарное количество грузов в обоих направлениях), *пропускная способность*, *судооборот*. Речные порты делятся на общие, специальные, аванпорты (в верхних бьефах шлюзов) и порты-убежища.

Речные порты включают в себя причальные сооружения, перегрузочные устройства и механизмы, плавучие и порталные краны и многие другие гидротехнические и энергетические устройства, обеспечивающие работу порта.

Специфика работы речного транспорта состоит в следующем:

1) все виды работ осуществляются на открытом воздухе и сильно зависят от условий погоды и состояния водной поверхности;

2) относительно малые путевые скорости и недостаточная маневренность (на реках, на сложных фарватерах, в узостях между островами и т. п.), особенно при ухудшении погоды;

3) немаловажное значение имеет наличие укрытий, приподнятых берегов, обеспечивающих „ветровую тень”, а также гидротехническая оснащенность фарватеров.

Работа речного флота находится в постоянной зависимости от таких условий погоды, как ветер и волнение; туман и другие явления, ухудшающие видимость; переход температуры воздуха через 0 °С и начало устойчивых морозов с появлением ледостава.

В зависимости от скорости ветра и состояния водной поверхности решается вопрос о выходе судов в плавание, о проводке или буксировке караванов судов по заданной акватории, а также о необходимости захода в порты-укрытия.

Ветер и волнение оказывают влияние на все виды стационарных работ. Так, при скорости ветра 14—16 м/с прекращаются погрузо-разгрузочные работы в портах, на пристанях и причалах.

Опасным является изменение уровня воды в реках за счет сгонно-нагонных явлений, в период весеннего половодья и возможных жаржорных явлений на реках.

Гидрометеорологическое обеспечение речного транспорта осуществляется прогностическими подразделениями (гидрометцентрами, гидрометбюро) в пределах данного территориального УГМС. Необходимая для речного транспорта метеорологическая информация включает: текущие сведения о состоянии погоды; прогнозы погоды; прогнозы погоды по маршрутам, акватории водоема на периоды времени, предусмотренные запросами потребителя; предупреждения об опасных для речного флота погодных условиях.

Суточные прогнозы разделяются по времени, по участкам рек, озер и водоемов. При необходимости диспетчерская служба запрашивает прогнозы погоды у оперативных подразделений других УГМС, обеспечивающих информацией на продолжении водных маршрутов.

Маршрутные (рейсовые) прогнозы погоды составляются для транспортных судов, несамоходных плавсредств, буксировки плотов по предварительным заявкам, но не позднее чем за 3—6 ч до выхода судна в рейс.

Штормовые предупреждения немедленно передаются диспетчеру для передачи их на суда.

На основании прогностической информации о направлении и скорости ветра разрабатываются прогнозы волнения на реках и водоемах. Прибрежные и морские судовые маршруты отличаются по сложности фарватеров. Особое внимание прогнозиста уделяется участкам трассы, для которых известны опасные направления ветра и „теньевые” участки реки и водоемов, обеспечивающие надежное укрытие.

К особой форме деятельности на реках относится *лесосплав*. Осуществляется принудительная проводка древесины в плотам или перевозка в лихтерах на крупных реках, водоемах и озерах. Буксировка плотов зависит от условий погоды и сложности маршрута.

Для различных водоемов установлены критические (штормовые) значения скорости ветра при его определенном направлении. Аналогичные пороговые условия погоды устанавливаются для проводки лихтеров. Дополнительно учитывается возможность снижения видимости, с которой связана опасность столкновения судов и посадки судна на мель.

3.3.4. Автомобильный транспорт

В экономике страны автомобильный транспорт занимает важное место. Он является главным связующим звеном трех транспортных систем: железнодорожной, морской и речной. Широко используются различного типа пассажирские и грузовые автомобили. Однако перевозке грузов принадлежит основная роль в экономическом значении автомобильного транспорта. Основными факторами, определяющими его эффективное функционирование, являются: состояние дорог как федерального, так и местного значения; техническое оснащение дорог; уровень организации безопасности движения.

Особое место занимает специализированное метеорологическое обеспечение автомобильного транспорта в городах.

Автомобильный транспорт как составной элемент хозяйственной деятельности входит во все отрасли производственной сферы. Автомобили различного назначения широко используются на промышленных предприятиях, в коммунальном, специальном и гидротехническом строительстве, на открытых горных разработках, заготовках древесины и т. д. От эффективности работы автомобильного транспорта во многом зависит освоение природных ресурсов, особенно в восточных и северных регионах страны. Значительный удельный вес занимает автомобильный транспорт в сельскохозяйственном производстве.

Специфика работы автомобильного транспорта состоит в следующем. В течение всего года непосредственно транспортные операции осуществляются *на открытом воздухе*.

В ряде регионов страны в силу большой разветвленности шоссейных и грунтовых дорог автомобильный транспорт обладает достаточной *маневренностью*, что в определенных ситуациях способствует выбору более благоприятного пути следования.

Успешная работа автомобильного транспорта зависит от правильной эксплуатации дорог, включая соблюдение правил движения, от технического состояния дорог, отвечающего современным требованиям скоростного оборота грузов, и, конечно, от эффективного специализированного метеорологического обеспечения.

Метеорологические условия оказывают влияние не только на процесс транспортировки грузов, но и на все дорожно-строительные работы и работы по ремонту дорожных одежд. Современная эксплуатация дорог характеризуется большими нагрузками на дорожное покрытие. Изменения температуры, скорости и направления ветра и количества осадков оказывают сильное влияние на состояние дорог. Дорожно-строительные работы, как правило, осуществляются в период года, когда температурный режим отвечает нормативам использования строительного материала и технологии работ,

включая применение дорожных машин. Однако в течение теплого сезона года сказываются следующие неблагоприятные условия погоды: длительные обложные осадки, ливневые дожди и сильные ветры.

Состояние и проезжаемость дорог сильно меняются в течение года. Зимой опасными являются метель, снегозаносы, возможное образование длительной ледяной корки на протяженных участках дороги. В переходные сезоны нередко образование гололеда на открытых участках дороги и значительное снижение видимости (туман, снегопад, снежные заряды). Весной проезжаемость грунтовых дорог существенно ухудшается, а в период дождей вовсе исключается. В этот период с повышением температуры быстро возрастает глубина оттаивания грунта. Скорость оттаивания определяется на основании уравнения множественной регрессии вида

$$\Delta h = a \sum_{i=1}^n t + bh + c, \quad (3.6)$$

где Δh — изменение глубины оттаивания грунта (см) за декаду (n дней); $\sum t$ — сумма положительных среднесуточных температур за декаду; h — глубина оттаивания грунта (см) к началу новой (расчетной) декады; a , b , c — коэффициенты, полученные эмпирическим путем и имеющие размерности: a [см/°C], b — значение безразмерное, c [см].

Для различных дорожно-климатических зон А. А. Разумовой получены следующие эмпирические формулы:

в районах сильного увлажнения (I и II зоны)

$$\Delta h = 0,575 \sum_{i=1}^n t + 0,125h + 3,0; \quad (3.7)$$

в районах нормального увлажнения (III зона)

$$\Delta h = 0,2 \sum_{i=1}^n t - 0,175h + 24,0; \quad (3.8)$$

в IV и V зонах с глубоким залеганием грунтовых вод

$$\Delta h = 0,775 \sum_{i=1}^n t + 1,1h - 2,1. \quad (3.9)$$

При отсутствии справочных сведений об устойчивости грунтовых дорог и необходимости работы автомобильного транспорта вне дорог с жестким покрытием оценка глубины оттаивания грунта, выполненная по метеорологическим данным, позволяет выбрать оптимальный маршрут.

Прямой угрозой для автотранспорта является гололедица, с которой связано более 50 % дорожно-транспортных происшествий. Для любых дорог к неблагоприятным условиям погоды относятся длительные дожди и ливни, особенно на дорогах в сельской местности. Особые условия работы автотранспорта складываются на Крайнем Севере и на Дальнем Востоке в условиях слаборазвитой дорожной сети надежных конструкций. Значительно затрудняется работа автотранспорта в горных районах, где возможны сходы снежных лавин, оползневые явления и селевые потоки.

Метеорологическое обеспечение автомобильного транспорта осуществляется в самых разных физико-географических и производственных условиях, на трассах различной протяженности, сложности, в городах, на промышленных предприятиях, в сфере добычи полезных ископаемых и т. д. Разнообразие задач автомобильного транспорта обуславливает все более избирательное *специализированное обеспечение* его.

В повседневных оперативных условиях автомобильному транспорту необходима следующая метеорологическая информация:

- 1) фактические данные о текущей погоде в целях осведомленности о зависимости автотранспортных работ на данный момент;
- 2) суточные и полусуточные прогнозы как по пунктам базирования автомобильного транспорта, так и по автотрассам, по которым устанавливается специализированное обеспечение;
- 3) предупреждения об ОЯ и НГЯ;
- 4) консультации и уточнения информации.

Особые трудности испытывает автомобильный транспорт зимой и в переходные сезоны. В это время большое внимание в прогнозах уделяется снегозаносам на дорогах, включая городские условия, и возникновению гололедицы на тех или иных участках дорог. Если ожидается, что гололедицей будет охвачено 10 % и более обслуживаемой территории, потребителю направляется предупреждение об ОЯ.

Заблаговременные предупреждения о снегопадах, метелях и гололедице в городах позволяют своевременно включить в защитные мероприятия специализированную технику Спецтранса города.

В метеорологическом обеспечении автотранспорта особое внимание уделяется перевозкам грузов по международным трассам, транспортировке руды и пород в открытых карьерах, перевозке грузов по зимникам и др. В каждом отдельном случае разрабатывается специальная программа метеорологического обеспечения, которая включается в договорные соглашения. При этом устанавливается заблаговременность прогнозируемых явлений погоды и частота прогнозирования выбранных метеорологических величин.

3.3.5. Гражданская авиация

Основное назначение гражданской авиации — пассажирские и грузовые перевозки. Авиация широко используется при решении многих хозяйственных задач и специальных операций в различных отраслях экономики. Ограничимся кратким перечнем применения авиации: в сельском хозяйстве, в охране лесов, в контроле ЛЭП, газо- и нефтепроводов, санитарной службе, в промышленном и жилищном строительстве, в поиске рыбопромысловых районов в море, в обеспечении ледовой разведки и проводке судов, при выполнении экспедиционных и многих других работ.

Гражданская авиация представляет собой довольно большой спектр современных летательных аппаратов. Это пассажирские лайнеры международного сообщения с дальностью полета до 9 тыс. км, самолеты федерального и местного значения, вертолеты различных классов, одномоторная авиация учебно-транспортного, санитарного и спортивного назначения.

Авиация располагает парком турбореактивных, турбовинтовых и винтомоторных самолетов и вертолетов. Обеспечение регулирования движения по авиалиниям осуществляется службами управления и радиотехническими средствами. Особое место занимает метеорологическая служба обеспечения авиации.

Специфика работы этого потребителя метеорологической информации состоит в том, что авиация осуществляет свою функциональную деятельность *в условиях наиболее высокого риска метеорологической опасности*, поскольку именно авиация в наибольшей степени подвержена влиянию метеорологических условий.

Характерной чертой работы авиации является ее *мобильность*, т. е. подвижность, способность быстро доставлять пассажиров и грузы.

Влияние метеорологических условий на авиацию рассматривается отдельно в зависимости от фазы полета: взлета, посадки и полета на высотах.

Сложные условия на взлете и посадке характеризуются *ограниченной видимостью* и *высотой* нижней границы низких облаков и такими опасными явлениями погоды, как грозы, шквалы, сильные ливневые дожди и вертикальный сдвиг ветра.

Для обеспечения безопасности взлета и посадки устанавливается *минимум погоды* — минимально допустимое значение нижней границы облаков и видимости, при которых посадка для данного типа самолета разрешается. Минимум погоды при посадке устанавливается не только для данного типа самолета, но и для каждого командира воздушного судна.

На взлетно-посадочные характеристики самолетов оказывает влияние ветер. При сильном боковом ветре при посадке парирование сноса может оказаться предельным. В неустойчивой воздушной массе опасность во время посадки создают сильные порывы ветра, вызывающие „подъемы” и „проваливание” самолета. В холодную часть года снежные заносы, обледенение и туманы могут на многие часы и сутки парализовать работу аэропортов.

При полете на высотах наибольшую опасность создают грозы по маршруту, турбулентность, вызывающая болтанку самолета, и его обледенение. Метеорологические и синоптические условия развития этих явлений достаточно хорошо изучены и приведены в известных учебниках и монографиях отечественных ученых: П. Д. Астапенко, С. В. Солонина, А. М. Баранова, О. Г. Богаткина, Г. И. Мазурова и других.

Специализированное метеорологическое обеспечение гражданской авиации предусматривает обеспечение безопасности, экономической эффективности и регулярности ее работы. Метеорологическое обеспечение авиации осуществляется как при взлете и посадке, так и при полете на высотах. Особое значение приобретают сведения о фактической погоде на аэродроме. Они являются официальной метеорологической информацией, на основании которой диспетчером аэропорта принимаются решения на взлет и посадку самолетов.¹ Выделяются стандартные, специальные и особые (штормовые) наблюдения за состоянием погоды на аэродроме.

Стандартные представляют собой наблюдения через 1 ч или 30 мин. Это наземные метеорологические, шаропилотные и радиолокационные наблюдения.

Специальные наблюдения передаются на борт самолета перед взлетом и посадкой.

Штормовые — при изменении погодных условий до опасных.

Широко используется спутниковая информация, как более полное дополнение сведений о характере облачности, особенно над океаном, над горными районами, над сложной ледовой поверхностью в полярных районах.

Разработка прогностической информации осуществляется в зависимости от разряда АМСГ и типов воздушных судов (ВС). Виды авиационных прогнозов и их детализация устанавливаются в условиях договорных обязательств между Гидрометслужбой и Граждан-

¹ В Наставлении по метеорологическому обеспечению гражданской авиации приводятся все необходимые метеорологические величины и явления погоды, которые используются диспетчерской службой в режиме непрерывного слежения за полетами самолетов.

ской авиацией¹. В разных региональных условиях применительно к различным типам самолетов и вертолетов объем прогностической информации, заблаговременность и продолжительность прогнозов, как и их содержание, могут заметно меняться.

Осуществление метеорологического обеспечения на этапах взлета и посадки остается наиболее сложным и ответственным. Фактическая погода на момент взлета и посадки является основной информацией, на основании которой принимаются соответствующие решения. При этом прогноз текущего состояния погоды (на 1 ч и менее) обеспечивает более надежную оценку метеорологических условий и снижение риска метеорологической опасности (по высоте нижней границы облаков, видимости, вертикальному сдвигу ветра и опасным явлениям погоды).

Предполетная метеорологическая подготовка экипажа — необходимое условие успешного осуществления полета. Перед полетом экипажу выдается метеорологическая документация, включающая прогностическую карту особых явлений, карту АТ изобарической поверхности, ближайшей к эшелону полета, прогнозы погоды по пункту посадки и запасным аэродромам и другие материалы.

При продолжительности полета менее 2 ч командир ВС получает у синоптиков только предполетную консультацию. Возможны иные способы обеспечения экипажа метеорологической документацией.

Метеорологическое обеспечение авиакомпаний Аэрофлот, Трансаэро, А/К СНГ, а также иностранных авиакомпаний осуществляется в рамках единых требований Международной организации гражданской авиации (ИКАО). Поскольку объем воздушных перевозок возрастает, увеличивается и потребность в оперативной метеорологической информации, поступающей по каналам связи со всего мира. В дополнение к традиционным системам связи создана новая система SADIS — спутниковая система распространения метеорологических данных, как часть существующей наземной системы ИКАО. Синоптик может получить оперативную (METAR, TAF, SIGMET) и специальную (AIRET) информацию; данные о ветре и температуре для стандартных уровней полета, карты особых явле-

¹ В 90-е годы XX в. метеорологическое обеспечение гражданской авиации осуществлялось в обстановке нарастающей сложности ее организационной структуры. На базе бывшего Аэрофлота было создано около 500 всевозможных авиакомпаний. Однако около 85 % всех перевозок выполняют 10—12 авиафирм. Такого рода „дробление“ гражданской авиации в столь короткий период существенно осложнило специализированное метеорологическое обеспечение вследствие роста объема прогностической информации, новых требований и адаптации к новой экономической специфике.

ний и другие сведения, включая карты распространения вулканического пепла. Выброс тefры — вулканического вещества — достигает 80 км.

Метеорологическое обеспечение сверхзвуковой авиации имеет свою специфику. Особенности полета в сверхзвуковом режиме определяются следующими факторами: 1) значительным лобовым сопротивлением воздуха, вызывающим нагрев поверхности самолета, достигающий в некоторых точках 120 °С и более; 2) резким уплотнением воздушной среды вокруг самолета, проявляющимся в виде ударной волны; 3) большой вертикальной скоростью подъема, достигающей 30 м/с; 4) осуществлением полета на значительных высотах, где самолет подвержен влиянию озона и космической радиации.

Метеорологическое обеспечение сверхзвуковой авиации носит особый характер.¹

3.3.6. Трубопроводный транспорт

Это особый вид транспорта, представляющий собой трубопровод разного диаметра (от 200 до 1400 мм), с помощью которого осуществляется передача (транспортировка) на расстояние жидких, газообразных или твердых продуктов. В качестве трубопроводного транспорта выступает нефтепровод, газопровод, а также гидро- и пневмотранспорт.

Выделяют *магистральный* и *промышленный* трубопроводный транспорт. Передача на большие расстояния газа и нефти осуществляется магистральным трубопроводным транспортом.

Нефте- и газопроводы простираются на тысячи километров, нередко в сложных условиях подстилающей поверхности и рельефа.

Действуют три основных нефтепроводных магистральных направления: урало-сибирское (около 9 тыс. км), северо-западное (около 2 тыс. км) и юго-западное, ранее именуемое „Дружбой”. Юго-западный нефтепровод — крупнейший в мире, его протяженность более 5 тыс. км. Мощные газопроводные магистрали обеспечивают передачу газа из Тюменской области и Республики Коми в районы Урала, Центра и Северо-Запада. Вблизи крупных городов сооружаются нефтяные и газовые хранилища.

Промышленный трубопроводный транспорт используется в пределах промышленного объекта (производственного предприятия) в условиях выполнения технологического процесса.

¹ Первый в мире сверхзвуковой самолет ТУ-144 был построен в СССР в 1968 г. В тот период уже были разработаны основные принципы метеорологического обеспечения сверхзвуковых самолетов гражданской авиации.

3.4. Метеорологическое обеспечение строительства

Строительная индустрия охватывает широкий спектр строительных работ. Это строительство промышленных и коммунальных объектов, транспортных магистралей (дорог, мостов, многоуровневых развязок), объектов специального назначения и др. Все многообразие строительных работ предусматривает единую отрасль материального производства — строительство.

Эта отрасль базируется на производстве строительных материалов, строительной и специальной транспортной техники. Финансовая и технологическая организация строительства, проведение строительно-монтажных работ осуществляются как государственными, так и частными предприятиями.

Специфика строительных работ заключается в следующем: 1) строительство объекта основано на использовании большого разнообразия таких строительных элементов, как блоки, конструкции, балки различного назначения, требующие необходимой точности их укладки в процессе возведения объекта; 2) используются строительные материалы, связующие и химические растворы; 3) успешное выполнение всех этапов строительства (нулевой цикл, возведение, отделка или наладка), как и проведение отдельных видов работ, зависит от условий погоды.

Влияние неблагоприятных условий погоды выражается в потере или неэффективном использовании рабочего времени, в простое строительной техники и транспорта, в порче строительного материала и оборудования.

Температура воздуха, осадки и ветер оказывают влияние на весь ход строительных работ: подвоз стройматериалов и конструкций, работу кранов, монтажные и другие работы. Так, при сильном ветре и морозе работа на открытом воздухе крайне затруднена и может быть приостановлена. Для определенных климатических поясов и видов работ установлены лимитирующие, предельные температурно-ветровые условия, при которых выполнение работ ограничивается или прекращается. При скорости ветра 12—15 м/с отдельные подъемные краны вне „теневого” зоны стройплощадки выполняют работы со значительным риском аварии, что требует остановки этих работ.

Наиболее неблагоприятные условия для выполнения строительных работ складываются в холодную часть года. Ветер, низкие температуры, снегопады, гололеды ограничивают монтажные работы, вынуждают вести корректировку намеченных планов работ. Нередко в таких условиях работы оправданно приостанавливаются.

Строительными организациями разрабатываются перечни неблагоприятных условий погоды и их возможных последствий, что позволяет потребителям принимать более эффективные меры защиты (приложение 1).

Специализированное метеорологическое обеспечение осуществляется по широкому набору требований к содержанию метеорологической информации (текущей, прогностической, климатической), к необходимому объему и формам ее представления. При выполнении строительных работ постоянно используются прогнозы погоды. Они позволяют уточнить очередность работ, расстановку рабочей силы и техники, прекращение отдельных видов работ и замену одних видов работ другими.

От ожидаемых условий погоды зависит работа строительных кранов, а также заблаговременная приостановка их работы и отвод на безопасную стоянку. Штормовые (пороговые) значения скорости ветра должны быть доведены до сведения руководителя работ на стройплощадке — прораба, который принимает необходимые решения прежде всего по обеспечению безопасности работ, т. е. по снижению метеорологического риска. На строительные объекты поступают не только прогнозы погоды заданной продолжительности, но и предупреждения об опасных и стихийных гидрометеорологических явлениях с максимально возможной заблаговременностью.

Погодо-климатический фактор, как метеорологический ресурс, играет большую роль в деле оптимизации строительства на всех его этапах: планировании, проектировании, конструировании и строительно-монтажных операциях. Это вызвано тем, что метеорологические факторы оказывают влияние на прочность, долговечность и комфортность строящихся объектов и в значительной мере определяют их стоимость. Учет климатического режима при строительном проектировании промышленных зданий и жилых домов является необходимым условием оптимального удешевления объекта. При проектировании — выборе типа здания, его теплоизоляционных качеств, системы отопления и т. п. — учитываются климатические особенности температуры и ветра, температурно-влажностных показателей, ветровых и гололедно-ветровых нагрузок на высотные сооружения и ряд других режимных характеристик. Это один из важных резервов повышения качества, снижения себестоимости строительства и обеспечения комфортных условий на базе использования современных технологий.

3.5. Метеорологическое обеспечение других отраслей экономики

Лесное хозяйство — отрасль производства, которая включает учет, воспроизводство и содержание лесов, их охрану от пожаров, вредителей и болезней. Дозорно-сторожевая охрана лесов осущест-

вляется местными и федеральными службами на основании наземной информации лесничеств, наблюдений, выполняющихся с самолетов и вертолетов, а также информации, поступающей с искусственных спутников Земли (научно-исследовательский комплекс „Салют”—„Союз”). Анализ поступающей информации о состоянии лесов с учетом текущей и ожидаемой погоды (температура, ветер, осадки) позволяет заблаговременно принимать меры защиты. В случае образования локальных лесных пожаров при высокой температуре и сильном ветре в борьбу с ними включается МЧС РФ.

Оперативно-производственные подразделения Росгидромета обеспечивают подведомственные организации лесного хозяйства следующей метеорологической информацией:

- 1) сведениями о текущем состоянии метеорологических условий (температура воздуха, влажность, количество выпавших осадков, направление и скорость ветра, показатель горимости леса и другие) по отдельным лесным регионам, где ведутся метеорологические наблюдения;

- 2) предупреждениями об опасных и стихийных гидрометеорологических явлениях; прогнозы засушливых условий, горимости лесов, грозовых ситуаций, ураганных ветров позволяют заблаговременно предпринять необходимые меры по предотвращению опасности для леса или быстрой ликвидации последствий;

- 3) прогнозами погоды на сутки, трое суток и на более длительные периоды (по запросу); прогнозы используются для более эффективного проведения ежедневных лесных работ, планирования таких видов работ, как закладка питомников, химическая обработка лесопосадок с помощью авиации и другие мероприятия;

- 4) долгосрочными прогнозами погоды и консультациями в целях более длительного планирования работ и их возможной корректировки.

В ряде районов страны лесное хозяйство испытывает разрушающее воздействие вредных выбросов в атмосферу в зонах работы металлургических, химических и иных предприятий. Возникает необходимость изучения этих ситуаций, выявления неблагоприятных синоптических условий и оценки природоохранных мероприятий со стороны „загрязнителей”.

Наибольший ущерб лесам причиняют пожары. Возникновение лесного пожара в значительной мере зависит от метеорологических условий. Пожар распространяется тем быстрее, чем суше лесная подстилка, чем выше температура воздуха и ниже относительная влажность и чем больше скорость ветра. В летние месяцы, когда длительное время наблюдаются антициклонические условия, лесная растительность достигает определенной критической сухости.

Оценку возможности возникновения пожара в лесу в зависимости от метеорологических условий устанавливают посредством расчета показателя горимости леса, предложенного В. Г. Нестеровым:

$$\Gamma = \sum_{i=1}^n t(t - t_d), \quad (3.10)$$

где t — температура воздуха в 13 ч (°C); $t - t_d$ — дефицит точки росы; n — число сухих дней от начала отсчета горимости, при этом дни с осадками менее 2,5 мм считаются как дни без осадков.

Для практического удобства используется шкала горимости, приведенная в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Шкала горимости леса

Класс горимости	Горимость	Показатель горимости
I	Отсутствует или малая	0—300
II	Средняя	301—1000
III	Высокая	1001—4000
IV	Особо опасная	4001—10 000
V	Чрезвычайная	> 10 001

Горимость IV и V классов считается как особо опасное условие погоды, которое может вызвать стихийное бедствие.

Открытая разработка полезных ископаемых. Разработка полезных ископаемых из недр Земли осуществляется закрытым (подземные и подводные выработки) и открытым (рудники, разрезы) способами. Генеральное направление развития горнодобывающей промышленности ориентировано на открытый способ, при котором добыча руды и угля дешевле в 2—3 раза.

Для открытых карьеров (разрезов) знание погодных условий является определяющим фактором организации всех видов работ на поверхности рудных и угольных карьеров. Погода оказывает непосредственное воздействие на выполняемые в карьерах работы. Все работы внутри карьеров отмечаются высокой трудоемкостью и опасностью. Это прежде всего работы, связанные с выемкой руд с помощью как мощных механизмов, так и буровзрывных работ. Достаточно сложна и разнообразна транспортировка добываемой руды и другого природного сырья (автотранспорт, конвейер, подвесная канатная дорога). Значительная доля работ приходится на зачистку уступов, ремонт и строительство дорог. Так, длина железнодорожных путей в Коркинском карьере составляет 15—20 км. Площадь крупных карьеров достигает 10—40 км². Осуществляется открытая разработка каменного угля, железной руды, марганцевой

руды, руд цветных металлов. Ведется добыча асбестовой руды, слюды, гранита, солей, щебня и многого другого.

Во всех открытых карьерах *учет погоды остается обязательным условием* успешной работы, хотя и носит избирательный характер, поскольку добыча природного сырья, его обработка и транспортировка имеют свою специфику.

Наиболее сложные, „тяжелые” погодные условия складываются в холодную часть года. Это в полной мере относится к глубоким карьерам типа Коркинского разреза (г. Коркино, Челябинская обл.), проектная глубина которого 500 м, а внешние размеры примерно 3 × 4 км. В этот период года при антициклонических условиях нередко образуются туманы. В результате карьер может оказаться „изолированным” от обмена с внешней средой, расположенной выше его верхнего горизонта. Это вызывает повышение в карьере концентрации газов, в частности СО. Возможна полная остановка работы в карьере и срочная эвакуация людей на „поверхность”.

Все виды работ внутри карьеров требуют учета внутрикарьерной погоды, которая может складываться в ближайшие часы. Наряду с этим используются суточные и полусуточные прогнозы.

Некоторые крупные объекты по открытой добыче полезных ископаемых имеют ведомственную прогностическую базу, что позволяет в производственных условиях более оперативно адаптироваться к ожидаемой погоде.

Торговля на открытом воздухе характерна для теплой части года. В жаркие летние дни торговые точки (открытые павильоны, передвижные ларьки, велохолодильные камеры и прочее) выставляют продукцию массового спроса. Это типично не только на территории города, но и в пригороде, в зонах отдыха, особенно в выходные и праздничные дни. Бойкая торговля, обещающая прибыль, скрывает в себе и долю метеорологического риска.

Летом в дневные часы внезапное наступление непогоды — шквалистого ураганного ветра, грозы, сильного ливня с градом — может причинить огромный ущерб торговле.

Знания ожидаемой погоды, главным образом в дневные часы, позволяют предпринять меры, достаточные, чтобы предотвратить или снизить потери при резком внезапном ухудшении погоды. Местные торговые организации обеспечиваются на договорных условиях специализированными прогнозами, в которых предусматривается возможность возникновения опасных явлений погоды, указываются наиболее вероятные часы их наступления.

Раздел II

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ

Глава 4

СОВРЕМЕННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

4.1. Основные классы и виды метеорологических прогнозов

Метеорологические прогнозы разделяются на три основных класса по пространственно-временному признаку: по *охвату территории, периоду действия* — *периоду упреждения* — и по *интенсивности явления* (см. п. 1.3).

Разделение прогнозов по охвату территории обусловлено не только производственными интересами, но и физико-географическими особенностями (озеро, полуостров и т. п.), а также административными границами. Прогнозы могут разрабатываться для области, республики, края или части их, для акватории озера, залива, прибрежной зоны, части горного района, острова и т. п.

С учетом особенностей транспортных потоков прогнозы выдаются потребителям по отдельным участкам рек (для речного транспорта), по известным маршрутам на море, на океанических акваториях (для морских судов) и в воздухе (для авиации).

Территориальное деление прогнозов выработано практикой, используется уже многие десятилетия, прошло испытание и получило признание.

По *периоду действия*, или по *периоду упреждения*, метеорологические прогнозы подразделяются: *сверхкраткосрочные* (от десятков минут до нескольких часов), *краткосрочные* (от 12 до 48 ч), *среднесрочные* (на 3—10 сут), *долгосрочные* (на месяц, сезон) и *сверхдолгосрочные* (на год или на несколько лет).

Оперативные метеорологические прогнозы разрабатываются на основании синоптических материалов, содержащих как фактические, так и прогностические сведения. Особое значение придается учету прогноза поля давления у земли и геопотенциальных высот стандартных изобарических поверхностей. Такие прогнозы разрабатываются на основании уравнений гидротермодинамики атмосферы. В 1955 г. Нейманом была предложена классификация гидродинамических прогнозов. Она основана на оценке роли *внутренней* динамики развития атмосферных движений на интервале прогноза и *внешних* факторов воздействия в развитии этих процессов.

Краткосрочными считаются такие прогнозы, когда динамика атмосферных движений определяется их начальным состоянием, т.е. реализуется собственная динамика.

Долгосрочными считаются прогнозы, при которых атмосферные движения определяются внешними, граничными условиями.

Среднесрочный прогноз занимает промежуточное положение: движение зависит и от начальных, и от внешних условий.

Однако определить влияние внешних факторов очень трудно, особенно если рассматриваются различные модели общей циркуляции атмосферы.

В принятой ВМО (1997 г.) классификации выделяются следующие по продолжительности прогнозы:

1) *описание текущего состояния* погодных характеристик и их экстраполяция на 0—2 ч вперед („наукастинг”);

2) *сверхкраткосрочный* прогноз до 12 ч вихрей, шквалов, гроз, снежных зарядов и т. д., включая ожидаемые условия погоды;

3) *краткосрочный* прогноз на 12—72 ч зон бароклиной неустойчивости, фронтальных разделов, тропических циклонов, а также описание элементов погоды;

4) *среднесрочный* прогноз на 72—240 ч основных барических систем, их положения и интенсивности с формулировками в терминах элементов погоды;

5) *месячный и внутримесячный* прогнозы хода аномалий температуры, избытка или дефицита осадков (это прогноз погоды на удлиненные сроки от 10 до 30 дней, включающий осредненные значения элементов погоды или их отклонений от климатических значений);

6) *долгосрочный (сезонный и межсезонный)* прогноз глобальных аномалий атмосферной циркуляции (явления Эль-Ниньо, муссонов, планетарных воли). *Долгосрочные прогнозы* — прогнозы на сроки от 30 дней до 2 лет, формулируемые в терминах отклонений средних месячных, 90-дневных или сезонных значений от климатических за тот же период;

7) *Климатологические прогнозы* — прогнозы на период свыше 2 лет.

Различие прогнозов по периоду действия сложилось как результат запросов в хозяйственной практике в зависимости от выполнения производственных задач разного временного масштаба. Если ежедневная оперативная работа потребителей требует учета прогнозов на несколько часов, на сутки, двое суток, то для планирования масштабных производственных мероприятий уже необходимы знания ожидаемой погоды на более длительные сроки.

В зависимости от продолжительности прогноза частота их разработки различна. Так, сверхкраткосрочные прогнозы, разрабатываемые для авиации, наиболее часты. В крупных авиаметеорологических центрах (АМЦ) число таких прогнозов может исчисляться десятками в течение суток для различных типов воздушных судов.

Краткосрочные прогнозы разрабатываются в гидрометцентрах, в гидрометбюро и других прогностических подразделениях в основном один-два раза в сутки. Прогноз на сутки содержит два 12-часовых интервала: на периоды ночи и дня. Прогноз может составляться несколько раз, если продолжительность его действия определяется интервалом менее 12 ч.

В зависимости от интенсивности явлений погоды или гидрометеорологических условий в настоящее время выделяют *опасные гидрометеорологические явления (ОЯ)* и *неблагоприятные гидрометеорологические явления (НГЯ)*.

Опасное гидрометеорологическое явление (ОЯ), как источник чрезвычайной ситуации, может быть как гидрометеорологического, так и гелиогеофизического происхождения. Согласно „Порядку”, утвержденному в Росгидромете, к опасным природным гидрометеорологическим явлениям относятся *метеорологические, агрометеорологические, гидрологические и морские* явления, воздействие которых может привести к гибели людей и причинить значительный ущерб отраслям народного хозяйства. Явление оценивается как ОЯ, если достигло критических значений или принятых характеристик (критериев). Критические значения рассматриваются как редкие по территории обслуживания данным УГМС. Климатическая повторяемость их не превышает 10 %.

К неблагоприятным гидрометеорологическим явлениям (НГЯ) относятся такие, которые значительно затрудняют выполнение производственных операций или иных мероприятий. По своим значениям НГЯ не достигают критериев ОЯ.

Особое значение в деятельности оперативно-производственных организаций придается разработке *предупреждений и оповещений* об угрозе и фактическом осуществлении опасного явления.

Штормовое предупреждение разрабатывается незамедлительно по выявлении угрозы возникновения ОЯ на основании анализа синоптических материалов.

Предупреждение об ОЯ составляется по району ответственности с указанием времени возникновения, продолжительности и интенсивности и срочно передается потребителям.

Предупреждение об ОЯ составляется синоптиком в тех случаях, когда возникновение их не было предусмотрено в прогнозе погоды и в случае необходимости уточнения времени возникновения, интенсивности и продолжительности опасных явлений, отмеченных в ранее составленном прогнозе или предупреждении.

При угрозе возникновения опасных агрометеорологических явлений и штормовой погоды в районах рыбного промысла штормовое предупреждение направляется администрации (правительству) субъектов Российской Федерации, а также в УРСА¹ Росгидромета.

Если ОЯ не было предусмотрено штормовым предупреждением, составляется штормовое оповещение с указанием времени начала ОЯ и его интенсивности. При этом дается прогноз возможного развития ОЯ.

При возникновении ОЯ (достижении критерия) все сетевые наблюдательные подразделения (гидрометеорологические станции и посты, судовые станции) подают штормовое сообщение в УГМС, ЦГМС и другие подразделения Росгидромета.

Наряду с синоптиками местных УГМС в ЦГМС, ГМБ синоптическую обстановку по всей территории России непрерывно анализируют дежурные синоптики, океанологи в Гидрометцентре и ААНИИ. Предупреждение об ОЯ в той или иной части суши, в зоне шельфа арктических морей, на акватории моря согласовывается с синоптиком данного региона. Текст предупреждения об ОЯ докладывается должностным лицам Росгидромета. В справке „Погода по территории России за прошедшие сутки и прогноз на ближайшие дни” дается полная характеристика о наблюдавшихся ОЯ и возможности их проявления в ближайшее время. Такая справка за подписью руководства Росгидромета направляется в правительственные органы и соответствующим потребителям этой информации.

Длительные неблагоприятные метеорологические условия (не менее 10 дней) тщательно исследуются. Дополнительная информация об экономических последствиях поступает от администрации субъектов Федерации. Неблагоприятные метеорологические усло-

¹ УРСА — Управление работ федерального назначения в области гидрометеорологии, государственной наблюдательной сети, Арктики и Антарктики Росгидромета.

вия (НМУ) могут складываться для производственной деятельности в сельском хозяйстве (засуха, длительные дожди, обширные зоны заморозков, гололедно-ветровые последствия и др.). Информация об этом готовится в Росгидромете и докладывается Правительству Российской Федерации. Для выявления и прогноза НМУ дополнительно привлекаются материалы космических съемок. Их используют для обнаружения следующих опасных явлений и чрезвычайных ситуаций (согласно „Порядку” Росгидромета, 2000):

- наводнений;
- лесных и тундровых пожаров;
- разливов нефти и пожаров на нефтяных промыслах;
- последствий схода снежных лавин и селевых потоков;
- районов землетрясений;
- загрязнения воздушного бассейна над крупными промышленными центрами;
- загрязнения вод суши и моря;
- зон выпадения сильных ливней;
- районов образования льда, непроходимого судами и ледоколами в период навигации на судовых трассах;
- районов штормовых нагонных ветров;
- результатов последствий опасных явлений и чрезвычайных ситуаций вследствие перемещения циклонов.

В обязанности оперативно-производственных организаций входит выявление степени ущерба на хозяйственном объекте или на определенной территории или акватории, вызванного возникновением опасного явления.

По окончании ОЯ оценивается его влияние на производственную деятельность отраслей экономики.

Обслуживаемые организации-потребители предоставляют информацию о предупредительных мерах, которые принимались для обеспечения нормальных условий работы хозяйственного объекта, а также о качественной характеристике ущерба.

В случае уникальности наблюдавшегося явления на обслуживаемой территории в прогностическом подразделении составляется его описание, картографическая характеристика и указываются его последствия.

Эти сведения как экстренная информация передаются местными УГМС в Росгидромет, Гидрометцентр России и ВНИИГМИ—МЦД.

Перечень опасных природных (гидрометеорологических) явлений, разработанный в Росгидромете в 2002 г., приведен в Приложении 2.

4.2. Теоретические основы разделения прогнозов по времени действия

Теоретический подход к определению прогнозов по продолжительности действия позволяет установить, к какому виду продолжительности относятся разрабатываемые прогнозы, если известна эмпирическая корреляционная функция $R_x(t_1, t_2)$ данной метеорологической величины. Следуя Г. В. Грузе, запишем ее в виде

$$R_x(t_1, t_2) = \overline{[X(t_1) - \overline{X(t_1)}] \cdot [X(t_2) - \overline{X(t_2)}]}, \quad (4.1)$$

где $X(t_1)$ и $X(t_2)$ — случайные значения выбранной метеорологической величины X в два последовательных момента времени t_1 и t_2 ; $\overline{X(t_1)}$ и $\overline{X(t_2)}$ — математические ожидания случайной величины в соответствующие фиксированные моменты времени.

Наряду с этим используется формула (5.1).

Анализ корреляционной функции (рис. 4.1) позволяет установить связь одной и той же метеорологической величины через определенные интервалы времени. На этом основании выделяются прогнозы по периоду действия.

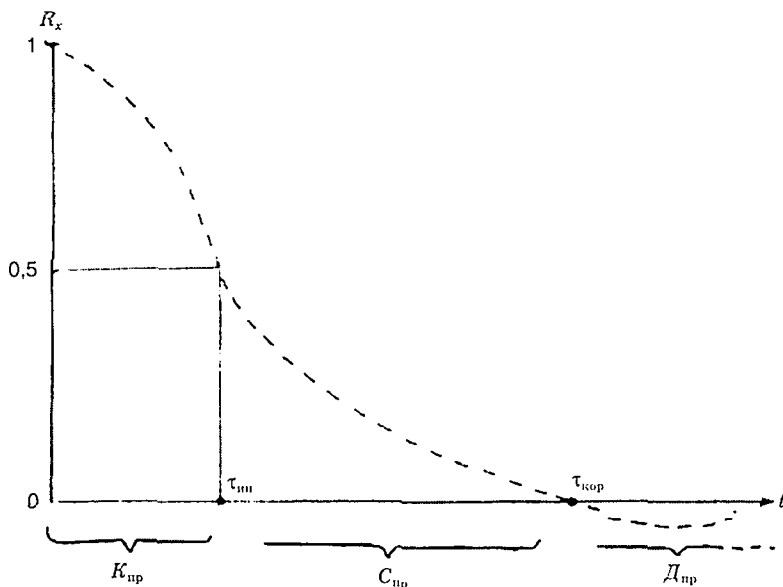


Рис. 4.1. Классификация прогнозов по продолжительности действия. По Г. В. Грузе.

Период времени, в течение которого корреляционная функция убывает в два раза, называется *радиусом инерции* $\tau_{ин}$. Инерционный прогноз, выдаваемый на этот период, будет более успешным, чем климатологический, предусматривающий прогноз нормы (среднего).

Период времени, в течение которого корреляционная функция убывает до нуля ($R_x(t_1, t_2) = 0$), называется *радиусом корреляции* ($\tau_{кор}$).

Разность временных периодов ($\tau_{кор} - \tau_{ин}$) показывает тот отрезок времени, в течение которого корреляционные связи отражают наиболее успешные прогнозы по сравнению с инерционными. Согласно исследованиям Г. В. Грузы и Э. Я. Раньковой, установлена следующая естественная классификация прогнозов по продолжительности действия: *краткосрочные прогнозы* $K_{пр}$ — на сроки меньше радиуса инерции ($\tau_{кр} < \tau_{ин}$), *среднесрочные* $C_{пр}$ — на сроки больше радиуса инерции и меньше радиуса корреляции ($\tau_{ин} < \tau_{ср} < \tau_{кор}$) и *долгосрочные* $D_{пр}$ — на сроки больше радиуса корреляции ($\tau_{дол} > \tau_{кор}$).

4.2.1. Сверхкраткосрочные прогнозы

Это прогнозы малой заблаговременности и малой продолжительности локальных условий погоды. Сверхкраткосрочный прогноз, включая наукастинг (описание текущей погоды и ее прогноз на 0—2 ч), как правило, используется на ограниченной территории при выполнении работ, которые требуют строго избирательной погоды. Прогнозы такого вида разрабатываются по аэродрому, по космодрому (на момент пуска ракет), по территории специального строительства, по сельскохозяйственному опытному полю (на время особых агротехнических работ), по территории проведения спортивных мероприятий и т. п.

Локальная погода формируется под влиянием мезомасштабных особенностей метеорологических полей на фоне процессов синоптического масштаба. Возникающие при этом *микровозмущения* проявляются в виде многих кратковременных опасных явлений погоды: ливней, гроз, шквалов, вертикальных сдвигов ветра, резких понижений температуры, снежных зарядов и др. Пространственно-временной масштаб этих возмущений исчисляется несколькими километрами (а то и сотнями метров) и минутами.

Для успешного их обнаружения и прогноза требуется большой объем метеорологической информации высокого пространственно-временного разрешения. Сбор, усвоение и переработка ее могут выполняться высокоэффективным комплексом ЭВМ.

Явления погоды мезомасштабного происхождения представляют большую опасность для потребителей. Многочисленные хозяйственные и другие мероприятия имеют широкий спектр ограничений при их выполнении в малых отрезках времени. Такие ограничения хорошо известны для авиации.

Интенсивные мезометеорологические процессы и опасные явления погоды отмечаются в горных районах, на границе суша—море, в орографически сложной береговой зоне. Прогнозы такого класса требуют обстоятельной научной базы.¹

4.2.2. Краткосрочные прогнозы

Краткосрочные прогнозы (от 12 до 48 ч) имеют очень широкое применение в хозяйственной и социальной практике. Под прогнозом погоды понимается количественное и качественное описание погодных условий. Ожидаемые синоптические процессы, которые вызывают эту погоду, фиксируются синоптиком отдельно и могут быть предметом дополнительного анализа в случае ошибочного прогноза.

Период действия прогноза, как и его заблаговременность (период времени от момента передачи его потребителю до начала осуществления), устанавливается потребителем. Выбор этого периода диктуется подготовкой производственных операций, требующих заданного отрезка времени. Производственная операция затем может выполняться в стационарных условиях или при смене местоположения объекта обеспечения.

Прогнозы погоды по пункту, территории и трассе имеют свою специфику реализации, которая связана с различными стационарными видами работ и транспортными задачами потребителей. Территориальное разделение краткосрочных прогнозов обусловлено как разобщенностью по площади, так и концентрацией производства, а также другими особенностями повседневной производственной деятельности.

Краткосрочные прогнозы специализированного назначения обычно разрабатываются на сутки. Стандартными приняты соответственно интервалы времени от 18 до 06 ч и от 06 до 18 ч. Однако потребитель может предложить иные часы начала и окончания полусуточных прогнозов.

Полусуточные прогнозы содержат количественные указания об экстремальных температурах на ночь и день, преобладающих направлении и скорости ветра.

¹ Теоретическая проработка этого вида прогнозов дана в учебном пособии И. Н. Русина и Г. Г. Тараканова „Сверхкраткосрочные прогнозы погоды“ (СПб.: РГГМУ, 1996).

Краткосрочные прогнозы по согласованию с потребителями могут содержать:

1) более частые указания прогностических значений метеорологических величин или описаний погоды внутри полусуточного или суточного интервала времени;

2) особенность погоды в региональных условиях (для промышленных объектов в горных, прибрежных и других особых географических районах);

3) графическое или картографическое описание хода предстоящей погоды в целях более полного использования этой информации в планируемых краткосрочных хозяйственных действиях.

4.2.3. Среднесрочные прогнозы

В хозяйственной практике наряду с краткосрочными прогнозами широко применяются прогнозы на средние сроки 3—10 дней. В основном это прогнозы температуры воздуха и осадков. Среднесрочные прогнозы основаны на известных закономерностях развития крупномасштабных синоптических процессов, охватывающих целые полушария. Ожидаемое развитие синоптических процессов на прогнозируемый период интерпретируется в терминах элементов погоды.

До периода разработки и внедрения гидродинамических методов применялся синоптико-статистический способ прогноза погоды на 3 сут, аномалий температуры воздуха на 10 сут и количества осадков на 5 сут.

В дальнейшем при разработке прогноза на 3 сут использовался комплексный подход учета гидродинамического и синоптического прогнозов атмосферной циркуляции. Прогноз погоды разрабатывался на основе хода погоды в аналогах и выдавался в виде карт-схем с указанием направлений перемещения барических образований, зон повышения и понижения приземной температуры воздуха, районов развития гроз, туманов и других явлений погоды.

Декадные аномалии приземной температуры воздуха определялись на основании индексов зональной и меридиональной циркуляции в атлантико-евразийском секторе. Успешность таких прогнозов была удовлетворительной (В. И. Воробьев, 1977):

Величина	Прогнозы	
	методические	инерционные
Оценка по знаку	0,46	0,23
Абсолютная ошибка	2,5	3,3
Относительная ошибка	0,88	1,16

В настоящее время развиваются как физико-статистические модели среднесрочного прогнозирования, так и гидродинамические. В численные модели включаются уравнения, описывающие условия образования и развития приземных циклонов, антициклонов и атмосферных фронтов. Интерпретация погоды выдается по конечному результату — характеристике барического поля у земли и на высотах — на основе статистических уравнений, отражающих синхронные связи барического поля и условий погоды.

Использование, в частности, регрессионного и дискриминантного анализа позволяет установить не только вид, но и количественную меру тесноты связи предиктанта (ожидаемых значений метеорологических величин) и предиктора (численных характеристик макромасштабных синоптических полей). Для этого используется архив фактических значений метеорологических величин в пунктах прогнозирования и прогностических полей макроциркуляции за длительный период (3—7 лет).

К настоящему времени внедрены в практику гидродинамические модели среднесрочных прогнозов погоды. Продукцией таких прогнозов являются прогностические синоптические поля с удовлетворительной оправдываемостью на 6—7 сут (П. П. Васильев, Е. Л. Васильева).

В лаборатории среднесрочных прогнозов погоды Гидрометцентра России разрабатываются прогнозы минимальной и максимальной температуры воздуха по дням до 7 сут по всей территории России. Для этой цели используется ряд потенциальных предикторов, на основании которых составляется регрессионное уравнение. Таким образом, среднестатистическая модель строится для каждой точки и даты прогноза.

Детализированный прогноз приземной температуры воздуха по дням до 5 сут уже широко применяется в народном хозяйстве.

Метод прогноза средней за декаду температуры воздуха используется по всей территории России. Прогноз осредненных значений температуры воздуха дается в аномалиях. Разрабатывается метод прогноза суточных сумм осадков по дням также по всей территории России.

Оперативные прогнозы передаются из Гидрометцентра России во все УГМС страны, в том числе и на территории СНГ.

4.2.4. Долгосрочные прогнозы

В последние десятилетия XX в. проводилось усиленное изучение процессов общей циркуляции атмосферы и были разработаны новые методы долгосрочного прогнозирования погоды. Объектом

долгосрочных метеорологических прогнозов, как правило, являются не все характеристики и явления погоды, а лишь осредненные во времени и пространстве значения температуры воздуха и количества осадков.

К долгосрочным прогнозам относятся прогнозы на месяц, сезон. В основу оперативной разработки таких прогнозов положены синоптические методы прогноза атмосферных макропроцессов. Использование ЭВМ позволило привлекать большие объемы архивного синоптического материала.

При разработке долгосрочных метеорологических прогнозов привлекаются такие характеристики атмосферы, как центры действия атмосфер, естественный синоптический район и другие.

Месячные прогнозы разрабатываются на основании установления ритмичности макропроцессов. В качестве основного признака выявления ритмов принимается реперный ультраполярный процесс (перемещение на юг или юго-запад усиливающегося хорошо выраженного антициклона, сформировавшегося в арктическом воздухе).

Были установлены правила повторяемости реперных ультраполярных процессов и прогностические указания. Прогноз разрабатывается на основании подбора аналогичных процессов в прошлом. Применяемый в долгосрочных прогнозах метод аналогов пока не дает хороших результатов. Как показывают ориентировочные оценки (Н. А. Багров), требуется ряд наблюдений около 400 лет, чтобы подобрать группу более или менее хороших аналогов для средних месячных величин.

В 1963 г. в Гидрометцентре СССР начали выпускать официальные сезонные прогнозы.

При разработке сезонных прогнозов использовался метод Мультановского—Пагавы (1960—1970-е годы) с уточнением его в последующие годы. Методические приемы при этом содержат выявленную последовательность развития синоптических процессов на основе полей H_{500} . Используется экстраполяция особенностей нетипичных синоптических процессов как предвестников, формирующихся в текущем естественном синоптическом сезоне.

Прогноз выдается в виде аномалий температуры и количества осадков. Кроме того, в прогнозе указываются периоды резких похолоданий и потеплений, а также дефицита и избытка осадков. Тем самым разрабатываются важные для народного хозяйства прогнозы таких сезонных явлений, как атмосферная засуха, избыточное увлажнение, оттепели, сильные морозы и устойчивые переходы среднесуточной температуры воздуха через 0 и ± 5 °C весной и осенью.

При разработке прогноза на 3—5 месяцев на основе макроциркуляционного метода Вангенгейма—Гирса (сейчас метод ААНИИ) используются закономерности преемственности форм атмосферной циркуляции W (западной), E (восточной) и C (меридиональной). Дополнительно используются аналоги циркуляции прошлых лет как по внешним, так и по генетическим признакам.

Прогноз представляется в виде серии карт аномалий средней месячной температуры воздуха, среднего месячного давления и преобладающих направлений ветра.

Метод используется для составления долгосрочных метеорологических прогнозов по полярным районам.

Однако ни один из существующих методов не обеспечивает устойчивой высокой оправдываемости характеристик погоды в сезонном прогнозе.

Экономическая ценность среднесрочных и особенно долгосрочных прогнозов исключительно велика в хозяйственном планировании. В сельскохозяйственном производстве они используются для планирования и выбора технологий ухода за сельскохозяйственными культурами; в энергетике — в целях регулирования энергетических нагрузок и возможных перераспределений энергетических ресурсов; в транспортной системе — для разработки и заблаговременного осуществления комплекса мероприятий и т. п. Их экономическая полезность значительна и в планировании сбыта сельскохозяйственной продукции сезонного назначения.

4.3. Показатели распространения и последствий опасных гидрометеорологических явлений

В 2002 г. в Росгидромете были установлены и применяются в гидрометеорологической и хозяйственной практике *показатели распространения и последствий опасных гидрометеорологических явлений*, при достижении или превышении которых сведения о них сообщаются в местные и центральные управления Гидрометслужбы.

Опасные гидрометеорологические явления могут вызвать стихийные бедствия и причинить ущерб отраслям экономики. Это могут быть прямые потери, которым дается обстоятельная гидрометеорологическая оценка и которые включаются в отчет об опасных природных явлениях.

1. *Сельское хозяйство.* На территории области, края, республики без областного деления такие опасные гидрометеорологические явления, как град, сильные ветры с ливнями, длительные дожди, понижения температуры воздуха со снегопадами, могут вызвать

повреждение или гибель зерновых культур и трав (в том числе сенокосов) на площади более 10 000 га; технических, овощных, плодово-ягодных, субтропических — на площади более 1000 га.

Продолжительная холодная погода с дождями может привести к значительным (10 дней и более) задержкам в сроках проведения посевных и уборочных сельскохозяйственных работ.

В горных районах в переходные сезоны вторжение холодных масс воздуха со снегопадами и ураганными ветрами создает крайне неблагоприятные условия для пастбищного содержания скота и отгонного животноводства. Они могут вызвать массовую гибель скота. В тундровой зоне гололедица, оледенение снежного покрова могут вызвать массовую гибель оленей.

Обильные дожди в низинной части равнины вызывают разрушение оросительных систем и затопление сельскохозяйственных культур на площади 10 000 га и более.

2. Лесное хозяйство. В теплую часть года длительная жаркая погода может оказаться причиной лесных пожаров на площади 10 000 га и более.

3. Энергетика и связь. Особую опасность представляют гололедно-ветровые нагрузки для высоковольтных линий электропередачи. Возможны повреждения высоковольтных линий электропередачи (100 кВ и выше) и прекращение подачи электроэнергии более чем на 6 ч. В отчетных материалах указывается наименование ЛЭП и напряжение, протяженность поврежденного участка в километрах или число поврежденных опор, продолжительность прекращения подачи энергии в часах, а также при наличии сведений количество недоданной потребителям электроэнергии в киловатт-часах.

Возможно при этом и повреждение магистральных линий связи и прекращение телефонно-телеграфной связи на период более 6 ч;

4. Железнодорожный и автомобильный транспорт. Здесь особую опасность вызывают метели, снегозаносы, сильные гололедно-изморозевые явления на железнодорожных узлах, разрывы и „выбросы” рельсов при низких и высоких температурах воздуха. В результате возможно прекращение движения транспорта более чем на 6 ч на дорогах республиканского и межгосударственного значения. Длительные ливневые дожди, наводнения могут вызвать разрушения дорожного полотна и мостовых переходов через реки. В отчете указываются участок дороги и причины нарушения движения.

5. Речной транспорт и лесосплав. Гидрометеорологическому анализу подлежат следующие ситуации:

— прекращение судоходства на судоходных речных путях на период не менее 10 дней;

- аварии крупных речных судов;
- разрушение плотов леса объемом более 10 000 м³;
- прекращение сплава леса на 10 дней и более на реках со среднегодовой пропускной способностью сплава древесины не менее 500 тыс. м³;

- преждевременное прекращение навигации и лесосплава на 10 дней и более против средних многолетних сроков (приведшее к невыполнению плана расстановки флота на судоремонт и замораживанию древесины в портах и запанях не менее 500 тыс. м³);

6. *Коммунальное хозяйство, промышленность и строительство.* Ветровые, дождевые и паводковые наводнения, обильные ливни с грозами на обширной территории могут вызвать подтопление городов и других крупных населенных пунктов, промышленных предприятий и других хозяйственных объектов, перебои или перерывы на 24 ч и более в водо- или электроснабжении городов и крупных промышленных предприятий, в работе городского транспорта, связи, строительной техники и др. В горных районах и в некоторых портах при этих явлениях могут наблюдаться массовые разрушения и повреждения домов, производственных сооружений, строительных, промышленных и портовых объектов.

7. *Деятельность морских организаций.* Сильные длительные ветры в районах рыбного промысла, на трассах судов, в прибрежной зоне, в портах вызывают:

- аварии и происшествия в морском флоте и рыбном хозяйстве, причинившие значительный ущерб морским операциям;

- разрушение сооружений на шельфе, повреждение береговых сооружений;

- подтопление городов и других населенных пунктов, крупных промышленных предприятий на побережье и в устьях рек;

- значительные простои судов в основных промысловых районах (более 7 дней), в портах (более 3 дней).

Крайне неблагоприятная ледовая обстановка может привести к отклонению на 10 дней и более от средней многолетней даты начала и окончания навигации на морях и в устьях рек.

Система наблюдений, оценка и прогноз антропогенных изменений окружающей природной среды позволяют дать заключение о пагубных воздействиях на живые морские ресурсы. В основном это техногенные загрязнения, вызывающие массовую гибель рыбы, морских животных и других видов морской экосистемы.

Глава 5

СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАНИЯ И ДОСТОВЕРНОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

5.1. Методические прогнозы

Успешное прогнозирование погоды стало возможным благодаря современному уровню знаний о закономерностях развития физических процессов, протекающих в атмосфере в различные интервалы времени. Эти положения обстоятельно изложены в отечественной и зарубежной литературе по динамической метеорологии, синоптической метеорологии и региональной синоптике. Все это позволило разработать большое число методов численного и физико-статистического прогнозирования метеорологических величин и явлений погоды. Физическое обоснование получают прогнозы всех видов и классов.

Ожидаемая погода есть лишь некоторый образ реальной погоды. Степень обоснования прогнозов всегда остается различной. Тем самым устанавливается *верификация* прогнозов, их приближение к подлинности, к факту. На этом основании все метеорологические прогнозы разделяются на методические и стандартные (тривиальные).

Специализированные прогнозы разрабатываются на основании известных физически обоснованных методов и потому называются *методическими*.

По назначению все метеорологические прогнозы разделяются на два основных вида. *Общие прогнозы погоды* — прогнозы общего назначения, передаваемые населению по радио, телевидению, публикуемые в газетах, предназначены для самого широкого круга потребителей. *Специализированные прогнозы*, которые разрабатываются в прогностических подразделениях Гидрометслужбы, предназначены для использования в отдельных отраслях народного хозяйства. И те и другие прогнозы являются методическими. По степени утверждения достоверности они подразделяются на два вида: категорические и вероятностные.

Категорическими прогнозами называются такие, в которых указывается только градация прогнозируемой метеорологической величины или фаза явления погоды. Градация метеорологической величины дается в виде интервала, причем ширина интервала устанавливается заранее, а граничные значения изменяются.

Такие прогнозы содержат категорическое утверждение, которое в действительности не имеет 100 %-ной обеспеченности. Поэтому в случае категорических прогнозов используются более „жесткие”

термины, например „условный”, „ненадежный”. Эти прогнозы, конечно, не идеальны, но на сегодня все же достаточно надежны.

Категорические прогнозы будут *формальными*, если каждый раз прогнозируется одна и та же фаза погоды. Современные официальные прогнозы как общего назначения, так и специализированные составляются пока преимущественно в категорической форме. Независимо от точности категорических прогнозов они обладают следующими недостатками.

1. Остается без внимания вероятность осуществления того или иного состояния или явления погоды.

2. В синоптической практике возникают ситуации, вызывающие значительную неуверенность в формулировке прогноза, несмотря на привлечение ряда расчетов и оценок. Отсутствие должного обоснования может сказываться на степени доверия индивидуальных потребителей к прогнозу.

3. Прогнозист может составить такой прогноз, который удовлетворяет его с точки зрения успешности, а на самом деле не отражает возможных изменений погоды.

Формулировка категорического прогноза включает ряд метеорологических величин и явлений погоды, согласно Наставлению по службе прогнозов.

Вероятностными прогнозами называются такие, в которых ожидаемым значениям (градации, фазе) метеорологической величины приписывается ожидаемая их достоверность, выраженная в вероятностной форме. Формулировка каждого прогноза рассматривается с позиции вероятностной природы осуществления условий погоды и ее составляющих в отдельности.

При возрастании качества вероятностного прогноза в пределах его ожидаемая достоверность стремится к уровню категорического утверждения, т.е. к 100 %-ной вероятности возможного осуществления прогнозируемого условия погоды. Отсюда следует, что категорические прогнозы можно рассматривать как простейший вид, *частный случай* вероятностных прогнозов.

Вероятностная форма прогноза является наиболее совершенной и более приемлемой в целях оптимального использования прогностической информации в хозяйственной практике.

Оперативная вероятность ожидаемых условий погоды разрабатывается на основании специальных методов прогнозирования, содержащих итоговые расчеты в вероятностном исчислении. Например: „вероятность грозы в Санкт-Петербурге составляет 0,85 (или 85 %)”.

Вероятностный характер метеорологических прогнозов допускает использование свободных терминов, отражающих степень реа-

лизации ожидаемых условий погоды, например: „... в основном без осадков...”, „... преимущественно без осадков...” и т. п.

На основании статистически обеспеченного ряда категорических прогнозов и данных фактических наблюдений можно составить матрицу сопряженности условий прогноз—факт и полученные частоты сопряжения выразить в вероятностной форме. Вероятностная форма представления категорического прогноза вполне допустима и широко используется в решении многих метеоролого-экономических задач. Такой вероятностный прогноз отражает степень осуществления текста прогноза лишь в среднем, в то время как оперативный вероятностный прогноз рассчитывается прогнозированием на основании конкретной синоптической ситуации.

Одним из возможных путей перехода от категорических прогнозов к вероятностным является использование метода, предложенного В. И. Воробьевым. На основании анализа матриц сопряженности многофазовых прогнозов устанавливаются градации, фазы, имеющие наибольшую вероятность осуществления.

Специализированные прогнозы представляют собой основное содержание повседневной работы службы погоды. Время их составления и передачи регламентируется соответствующими соглашениями, которые устанавливаются между прогностическими подразделениями и потребителями прогнозов погоды. Однако прогнозы опасных условий погоды (ураганные ветры, наводнения, снегопады и сильные метели, сильные пыльные и черные бури и другие явления погоды), представляющих собой стихийные бедствия, должны передаваться для населения и народнохозяйственных организаций незамедлительно.

Многообразие требований, предъявляемых к прогнозам различными отраслями народного хозяйства, привело к тому, что специализированные прогнозы существенно различаются между собой. Содержание прогноза зависит от того, какие метеорологические величины и явления погоды представляют интерес для данной отрасли. Так, в случае *авиационных прогнозов* в первую очередь обращается внимание на облачность, дальность видимости, туман, грозы, а кроме того, согласно правилам ИКАО, особое внимание уделяется прогнозам температуры, скорости и направления ветра на всех обязательных уровнях вплоть до 70 гПа. В случае *морских прогнозов* основной интерес представляют направление и скорость ветра, волнение на море, ледовые условия; в случае *агрометеорологических прогнозов* — осадки, увлажнение почвы, заморозки и т. п.

В некоторых прогностических подразделениях особое внимание уделяется прогнозам таких гидрометеорологических условий, ко-

торые оказывают *опасные воздействия* на производственный или природный объект. Это прогнозы обледенения морских и воздушных судов, горимости леса, лавиноопасности, селевых потоков, снеготаносов, цунами, наводнения в устьях рек, медико-метеорологических условий, загрязнения воздуха, условий зимнего выпаса скота (в районах отгонно-пастбищного животноводства), ледяной корки (в оленеводческих районах), температуры рельсов (для железнодорожного транспорта). Кроме того, разрабатываются прогнозы оптимального маршрута (пути) следования морского транспорта и рыболовецкого флота.

Этот неполный перечень метеорологических прогнозов опасных явлений и условий погоды отражает широту спектра специализированной прогностической информации.

Специализированные прогнозы могут быть постоянными, сезонными и временными (на несколько дней, недель), разрабатываемыми для выполнения отдельных срочных и важных хозяйственных мероприятий. Кроме того, существуют разовые специализированные прогнозы по заявкам. Консультации ряда народнохозяйственных организаций по поводу предстоящей погоды также следует рассматривать как специализированные прогнозы, выраженные в более подробной, устной форме.

К специализированным прогнозам относятся и *штормовые предупреждения*, и *предупреждения об ОЯ*, составляемые в связи с угрозой возникновения опасных явлений и условий погоды. К этим прогнозам потребитель относится с повышенной требовательностью и придает им особое экономическое значение.

К специализированным прогнозам предъявляются следующие требования.

1. Прогнозы должны передаваться потребителю с достаточной заблаговременностью. Заблаговременность прогноза — это промежуток времени от момента передачи прогноза потребителю до начала его осуществления, действия. Потребитель постоянно требует увеличения заблаговременности, ибо в ней видит практическую полезность прогнозов. Однако с увеличением заблаговременности уменьшается успешность прогнозов. Минимум заблаговременности специализированных прогнозов устанавливается потребителем на основании опыта использования прогнозов, а максимум — прогностическим подразделением с учетом существующих возможностей и методов прогнозирования. Чем больше длительность прогноза, тем больше должна быть его заблаговременность.

2. Прогнозы должны иметь устойчиво надежную успешность, т. е. высокую степень соответствия прогнозируемой и фактической

погоды, полученную по достаточно большому числу прогнозов. Прогнозист должен квалифицированно различать сущность ошибок прогноза, учитывать их различное влияние на производство.

3. Выдаваемый потребителю текст (содержание) прогноза должен быть составлен таким образом, чтобы у прогнозиста не было возможности заранее влиять на успешность прогноза.

4. Потребителю необходимы такие формулировки прогнозов, которые бы не оставляли места для домыслов и позволяли наиболее оптимально их использовать в математико-экономических моделях производства. Для этого также необходима вероятностная форма прогноза. Однако в настоящее время в оперативной практике службы погоды пока еще используется категорическая форма прогноза.

Важное место в работе прогнозиста отводится *своевременному предупреждению об опасных* для народного хозяйства гидрометеорологических явлениях.

К предупреждениям об ОЯ предъявляются три основных требования:

1) заблаговременность, достаточная для принятия потребителем эффективных предупредительных мер защиты;

2) высокая успешность, позволяющая повысить экономическую эффективность предпринятых предупредительных мер;

3) экстренность передачи — своевременное доведение предупреждения до всех потребителей и населения.¹

Своевременно установить развитие опасных условий погоды и заблаговременно оповестить об этом — значит предупредить возможные тяжелые последствия, в первую очередь, для населения.

После выпуска специализированного прогноза синоптик иногда вносит коррективы, уточняет прогноз. Такие действия нежелательны, но иногда необходимы. Если поступающая информация указывает на такое развитие синоптического процесса, которое может привести к возникновению опасных явлений, то ранее выданный текст прогноза уточняется и срочно передается всем потребителям, включая при необходимости население.

Для некоторых явлений погоды (грозы, ливневые осадки и др.) в прогнозах по району могут применяться термины „местами”,

¹ В ночь на 6 августа 2001 г. во Владивостоке наблюдался сильный продолжительный ливень, вызванный выходом южного циклона. Выпало катастрофически большое количество осадков. За три дня до начала этого стихийного явления гидрометцентр Владивостока дал предупреждение о его возникновении. Все потребители в городе были заблаговременно предупреждены. Однако в период ливневых дождей был осуществлен аварийный сброс воды с Седанского водохранилища. Город оказался затопленным. Как видим, предупреждение о надвигающейся угрозе некоторые организации игнорировали. Городу был причинен значительный ущерб.

„временами”, а по пункту — „возможен”. Оценка успешности таких прогнозов выполняется качественно (по знаку).

Рассмотренные выше специализированные прогнозы, будь то категорические или вероятностные, разрабатываются на основании известных физически обоснованных методов и поэтому называются методическими. Различная точность современных прогнозов погоды зависит в первую очередь от методики, положенной в основу прогнозирования метеорологической величины или явления погоды. Потребитель получает текст прогноза в принятой стандартной форме изложения, отвечающей „схеме” метеорологического обеспечения. Упорядочение текста не зависит от метода прогнозирования, но отвечает требованиям специализированного метеорологического обеспечения. Содержание текста прогноза, т. е. его формулировка, полностью зависит от используемых методов прогнозирования. Каждой формулировке прогноза соответствует определенное будущее состояние погоды, наиболее достоверное из всех возможных.

5.2. Стандартные (тривиальные) прогнозы

Прогнозы, которые не требуют физических обоснований, не требуют синоптического материала и специальных научных разработок, называются *стандартными*, или *тривиальными* (упрощенными, не оригинальными). Это неметодические прогнозы. К ним относятся: инерционные, случайные и климатологические. Такие прогнозы называют еще критерийными, тестовыми.

В практике прогнозирования допускается, что такие характеристики атмосферной среды, как температура и влажность воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра, при определенных условиях могут сохранять свои первоначальные исходные значения в течение некоторого периода времени. Допущение об инерционности этих состояний среды правомерно. Прогнозы, в которых указывается (сохраняется) исходное, начальное состояние среды, а нередко и погоды, называются *инерционными*.

Однако свойство инерции для указанных метеорологических величин при допустимых ошибках от начального к конечному моменту хорошо проявляется на малых отрезках времени (несколько минут, час, реже несколько часов). С увеличением периода прогнозирования это свойство физически утрачивается, особенно с ростом нестационарности атмосферных процессов. Тем не менее свойство инерции состояния среды иногда используется в прогностических целях. Это самый простой прогноз, учитывающий текущее состояние атмосферы. В историческом прошлом (до формирования в ми-

ровой практике гидрометеорологических служб) он оставался единственно возможным и широко использовался в мореплавании, в сельском хозяйстве, при сухопутной транспортировке грузов и т.д. То, что наблюдалось в данный момент, экстраполировалось, допускалось на интересующий период.

Итак, исходное значение заданной метеорологической величины и есть его инерционный прогноз. Выбор оправданной продолжительности такого прогноза обусловлен быстротой смены воздушных масс, т.е. интенсивностью синоптического процесса. Иначе говоря, успех инерционного прогноза зависит от его продолжительности τ . При $\tau = 0$ ч инерционный прогноз есть не что иное как диагноз, а при $\tau = 36$ ч такой прогноз может оказаться уже случайным.

Инерционный прогноз относят не только к метеорологическим величинам, но и в целом к погоде. Формулировка такого инерционного прогноза соответствует исходному состоянию погоды. Однако для таких явлений погоды, как гроза, шквал, которые имеют высокую пространственно-временную дискретность, свойство инерционности проявляется в малой степени. В этом случае можно говорить об инерционности синоптической ситуации, отражающей формирование конвективных процессов и явлений.

С увеличением продолжительности инерционного прогноза его успешность заметно снижается и приближается к успешности случайного прогноза. Это особенно проявляется при циклонических процессах, для которых характерна быстрая смена воздушных масс с прохождением атмосферных фронтов. Успешность инерционных прогнозов в этих ситуациях заметно уступает успешности методических.

Степень инерционности процесса можно определить по автокорреляционной функции. Коэффициент автокорреляции определяется по формуле

$$r(l) = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(x_{i+l} - \bar{x})}{\sigma_x^2 N}, \quad (5.1)$$

где x_i — значение метеорологической величины в момент i ; x_{i+l} — значение метеорологической величины в момент $i + l$; σ_x^2 — дисперсия x ; N — число случаев (объем) выборки); $\bar{x}$ — среднее значение по ряду наблюдений.

С уменьшением параметра запаздывания l коэффициент $r(l)$ растет и равен единице при $i + l = 0$. Меняя l , можно рассчитать авто-

корреляционную функцию и на основании коррелограммы установить наиболее приемлемый сдвиг по времени.

Сопоставление успешности методических и инерционных прогнозов является объективной оценкой качества категорических или вероятностных прогнозов.

Г. В. Груза исследовал статистическую оценку качества прогнозов скорости ветра на высотах, составленных различными методами. Был отмечен заметный рост среднеквадратического отклонения прогнозируемых и фактических значений скорости ветра при инерционном прогнозе. Такой прогноз на вторые — третьи сутки соответствует качеству климатологического прогноза, а на пятые сутки — находится уже на уровне случайного.

Кроме того, ежедневно прослеживаются синоптические процессы различной сложности, особенно в холодную часть года. Нестационарность их развития может быть столь внезапна и значительна, что слабо улавливается существующими методами прогнозирования. Это относится и к физико-статистическим и численным методам прогноза барического поля у земной поверхности и на высотах. Быстрые изменения синоптического процесса сопровождаются иной погодой, отличной от прогнозируемой. В таких ситуациях синоптик может пропустить опасное явление погоды или неблагоприятный комплекс погодных условий, что может вызвать прямые потери у потребителей. Однако большинство методических прогнозов достаточно успешны и экономически выгодно используются в хозяйственной и иной практике.

Методические прогнозы по степени обоснования могут оказаться на уровне *случайного* или близкого к нему.

Как таковые, случайные прогнозы, естественно, не разрабатываются в синоптической практике. Однако правомерно допустить, что текущие, постоянно меняющиеся погодные условия в определенных интервалах времени носят случайный характер как следствие стохастичности меняющихся во времени синоптических процессов. На этом основании можно условно полагать, что „текст” прогноза выбирается „случайным” образом из возможного набора „текстов”, заданных природой, т. е. „осуществляется” случайный выбор фазы, градации метеорологической величины из их совокупного распределения, отвечающего природному, климатическому распределению.

Если действительно допустить, что такая операция разработки прогноза возможна, то очевидно, что случайный прогноз составляется не иначе как наугад, „вслепую”.

Опыт синоптической практики показывает, что в ряде сложных синоптических ситуаций, когда методы прогнозирования не дают

однозначного заключения, формулировки прогнозов могут действительно оказаться случайными. Даже удачный прогноз может быть случайным.

Отсюда следует, что любой методический прогноз можно сравнить со случайным и дать оценку того, насколько он предпочтительнее случайного.

Прогнозы, содержащие климатическую информацию в виде средних многолетних значений метеорологической величины, в виде вероятностей осуществления заданных градаций и вероятностей явлений погоды, называются *климатологическими*. Здесь также не требуется специальной подготовительной работы синоптика. Климатологические прогнозы содержат одну и ту же формулировку на длительный период — месяц, сезон. Такого рода информация содержится в справочниках, является известной и доступной как в повседневной синоптической, так и в хозяйственной практике. Климатологические прогнозы используются в основном при перспективном планировании. Классификация метеорологических прогнозов приведена на рис. 5.1.

Перечисленные стандартные прогнозы обладают только им присущими закономерностями, своим природным „иммунитетом” и в этом смысле свободны от влияния синоптика.

На основании сказанного выше можно утверждать, что стандартные прогнозы (инерционные, случайные, климатологические) следует использовать как *базовое условие отсчета успешности методических прогнозов*. Только сопоставление успешности методических прогнозов с успешностью неметодических (в принятом понимании) позволяет установить действительный уровень успеха прогнозирования данной метеорологической величины или явления погоды.

Например, по некоторому пункту определена общая оправдываемость¹ суточных прогнозов скорости ветра за выбранный сезон, которая оказалась равна 82 %. Это достаточно высокое значение. Однако оно малоинформативно, поскольку отсутствует сравнительный базис, позволяющий установить, насколько данный подход в прогнозировании предпочтительнее иного или уступает ему. По фактическому материалу установлено, что общая оправдываемость инерционных прогнозов за тот же период составляет 87 %. Синоптические процессы этого периода были слабоактивными. Сопостав-

¹ Заметим предварительно, что „общая оправдываемость” как возможный критерий успешности прогнозов признается *неэффективной*, тем более если нет сопоставления с оправдываемостью, например, инерционного прогноза. Об этом дополнительно будет сказано в гл. 6.

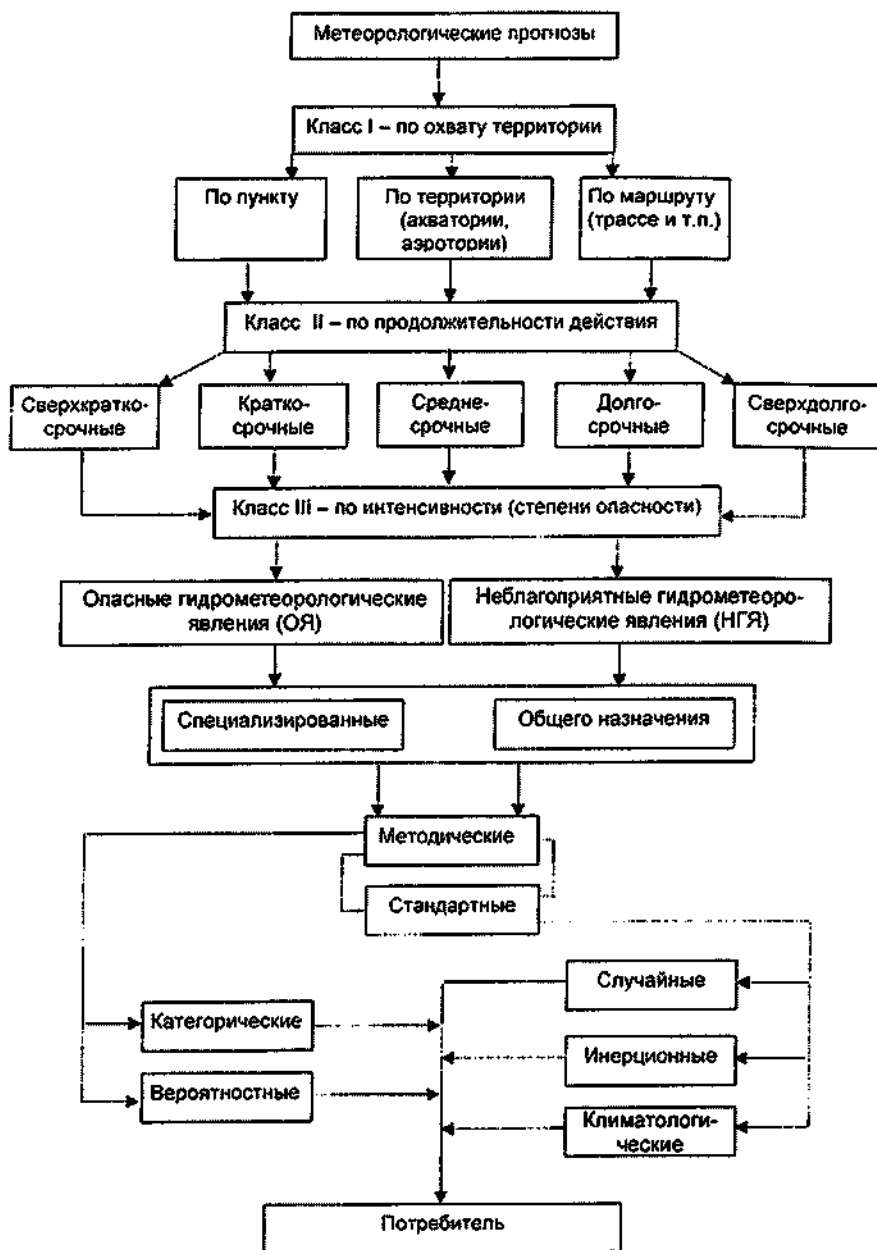


Рис. 5.1. Классификация метеорологических прогнозов. Виды метеорологических прогнозов.

ление приведенных результатов прогнозирования говорит о том, что необходимо внести коррективы в метод (способ) прогнозирования скорости ветра при таких синоптических процессах.

Если в синоптической практике используется критерий „общая оправдываемость”, то он должен быть применен для двух прогнозов: методического и инерционного (чаще всего). Результат прогнозирования, устанавливаемый только по одному значению (например, 82 %), теряет физический смысл.

Раздел III

ОЦЕНКА УСПЕШНОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

Глава 6

ОЦЕНКА УСПЕШНОСТИ КРАТКОСРОЧНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

6.1. Некоторые понятия и определения

Разработка более точных прогнозов и оценка их успешности — одна из фундаментальных задач современной метеорологии. Успешность прогнозов является необходимым условием доверия к ним потребителей. Хотя успех прогнозирования еще не означает экономическую полезность прогнозов, однако является ее важнейшим фактором.

Специализированное обеспечение потребителей невозможно без оценки качества прогностической информации, которое определяется успешностью прогнозов.

Коммерциализация метеорологических прогнозов достигает своей открытой цели, если их поставщик — прогностическое подразделение — предоставляет потребителю полную информацию об успешности прогнозов независимо от того, насколько результаты оценки удовлетворяют поставщика. Если сведения об успешности прогнозов не предоставляются по соображениям опасности потери „престижа“, то коммерциализация прогностической информации уходит в рыночную тень и ее развитие теряет смысл.

Прогностические подразделения и метеоагентства в системе Росгидромета не являются коммерческими организациями. Они не имеют права на секретность метеорологической информации и ее качества. В частности, успешность метеорологических прогнозов как информационного продукта должна быть открытой, доступной и, конечно, достоверной.

Коммерциализация гидрометеорологической информации в системе Росгидромета допускается как отдельный вид деятельно-

сти, направленный на *более эффективное использование* метеорологической информации и прогнозов погоды, в частности, в условиях рыночных отношений между поставщиком и потребителем.

При этом особая роль отводится успешности прогнозов отдельных метеорологических величин и явлений погоды. Коммерциализация прогностической информации предполагает открытое коммерческое соревнование качества этого вида метеорологической продукции. Это положение относится и к другим видам метеорологической информации.

Специализированные прогнозы, как и прогнозы общего назначения, должны обладать определенным качеством. Качество специализированного прогноза определяется его *формулировкой*, приемлемой для данного потребителя, и *точностью* — оценкой *доверительного интервала* ошибки прогноза для заданной вероятности его осуществления. Кроме того, качество прогноза определяется его *достоверностью*, т.е. выполняется оценка доверительной вероятности осуществления ошибки прогноза для заданного доверительного интервала.

Точность оценивания и достоверность прогноза показывают, насколько прогнозы были действительно обоснованы с позиции требований математической статистики. Подобного рода оценка качества относится к области параметрической статистики.

Такой подход применяется в математической статистике для оценки точности аппроксимации заданной функции распределения некоторой метеорологической величины. С этой целью используются понятия „точность”, „достоверность”, а также такие параметрические показатели, как дисперсия, коэффициент корреляции, оценка правдоподобия.

Применительно к оценке успешности метеорологических прогнозов данный подход не получил практического применения.

Возможен иной, непараметрический, подход к оценке успешности прогнозов.

В синоптической практике разрабатывается большое число прогнозов погоды, содержащих как метеорологические величины, так и явления погоды. Оценить точность единичного прогноза погоды или точность единичного прогноза метеорологической величины, или прогноза отдельного явления погоды не представляется возможным. Это связано с тем, что требуется надежный для оценок статистический набор прогнозов идентичной формулировки. Кроме того, прогнозы метеорологических величин, таких как температура, ветер и другие, *содержат интервальные значения* (два градуса для пункта и пять градусов для территории), а не одно целочислен-

ное значение. Грозы, шквалы, туманы, гололед и другие, как правило, прогнозируются как наличие явления, без указания интенсивности. Значит, для этих прогнозов приведенная выше оценка точности и достоверности (тем более прогнозы даются в категорической форме) исключается.

Применительно к метеорологическим прогнозам понятие „точность” носит двоякий характер. С одной стороны, сравнение прогнозируемой и фактической метеорологической величины отражает степень адекватности (схожести) прогноза и факта, а с другой — сравнение метеорологической величины, данной по методическому и инерционному прогнозу, с фактическим значением отражает меру успеха теоретического обоснования методического прогноза.

Все это говорит о том, что более верно говорить не столько о точности метеорологических прогнозов, сколько об их успешности. *Степень адекватности прогноза и факта* и характеризует в первом приближении *успешность* методических прогнозов.

Важнейшим показателем качества прогнозов является их *информативность*. Тем самым устанавливается содержательность прогнозов. В качестве показателей информативности используются параметры, известные в теории информации: *количество прогноз-тической информации J* и информационное отношение ν . Информативность прогнозов тем выше, чем больше „дробление” прогнозируемой погоды на отдельные фазы, т. е. чем выше дискретность представления ожидаемой погоды, хотя неопределенность прогнозирования отдельной фазы возрастает. Наряду с этим информативность методического прогноза в виде показателей J и ν характеризует меру снижения неопределенности климатологического прогноза.

6.2. Назначение оценки успешности прогнозов.

Требования, предъявляемые к оценке успешности прогнозов

Оценка успешности метеорологических прогнозов (погоды, метеорологических величин, явлений погоды) предназначена для решения широкого круга *научных и практических* задач. Знания текущей успешности прогнозов и ее динамики позволяют *совершенствовать* известные *методы прогнозирования* и разрабатывать новые. Для решения этой задачи необходимо установить следующее.

1. Насколько успешность данного метода прогноза метеорологической величины или явления погоды отличается от успешности инерционного, случайного или климатологического прогноза.

2. Оценка успешности возможна и относительно идеального прогноза.

3. При каких синоптических или метеорологических условиях данный метод прогнозирования имеет наилучшие и наихудшие результаты. Здесь важно изучить природу тех ошибочных прогнозов, которые вызывают значительные убытки в ряде отраслей народного хозяйства.

4. Оценка успешности прогнозов при прохождении различных атмосферных фронтов и воздушных масс, а также при различных стадиях эволюции циклонов и антициклонов.

5. Дается региональная оценка успешности прогнозов при разработке прогнозов погоды по отдельным частям обслуживаемой территории и акватории. Горные районы выделяются особо. Оценка успешности прогнозов по отдельным районам при всей условности районирования весьма полезна. В этом случае представляется возможным выявить сложность прогнозирования в зависимости от возмущающего влияния физико-географических факторов на атмосферные процессы.

6. Устанавливается успешность тех или иных прогнозов в различные сезоны или производственные периоды (посевная, уборка урожая, отопительный сезон, навигация и другие).

7. Анализируется успешность предупреждений об опасных явлениях погоды и неблагоприятных гидрометеорологических условиях.

8. Анализируется успешность прогнозов, разработанных различными методами прогнозирования.

В конечном счете оценка успешности преследует цель улучшения качества прогнозирования. Дифференциация условий оценки зависит от изучаемой метеорологической величины или явления погоды, а также от *запросов потребителя*. Приведем следующие примеры.

1. Оценка успешности прогнозов температуры воздуха в различных частях барических образований в зависимости от их эволюции, при различных состояниях облачности, подстилающей поверхности и других факторов. Особое внимание уделяется ситуациям значительных изменений температуры воздуха (понижений и повышений температуры) в отопительный период, поскольку они сказываются на нормальном централизованном теплоснабжении в городах.

2. Оценка успешности прогнозов заморозков при различной адвекции температуры воздуха у поверхности земли и на высотах, при различной скорости ветра и при других термодинамических факторах, определяющих радиационные, адвективные и адвективно-радиационные заморозки.

3. Оценка успешности прогнозов гроз при различных типах атмосферных фронтов или воздушных масс. Успешность прогнозов зависит от правильного учета особенностей распределения температуры и влажности воздуха по высотам, распределения вертикальных движений и других условий конвективного процесса. Выбираются аналогичные условия при оценке успешности прогнозов шквала, града и ливневых осадков.

4. Оценка успешности долгосрочных прогнозов устанавливается в зависимости от региона прогнозирования, формы циркуляции, интенсивности зональной или меридиональной циркуляции и других особенностей макропроцесса.

Оценка успешности может относиться к прогнозам комплексов метеорологических и агрометеорологических величин (гололедно-ветровые явления, эффективные температуры воздуха, суммарные эффективные температуры почвы, влагозапасы в почве весной и др.).

Оценка успешности может проводиться применительно к *прогнозам особого рода*. Это могут быть, например, прогнозы температуры рельсов, гололеда на взлетно-посадочной полосе, обледенения морских и воздушных судов, ледовых условий проводки морских судов по Северному морскому пути (СМП), рекомендаций оптимальных путей следования морских судов в океанах.

Оценка успешности метеорологических прогнозов должна быть непрерывной и определяться по ряду современных критериев в целях выявления ее *динамики — научных достижений прогнозирования*.

Практическое назначение оценки успешности полностью относится к решению задач специализированного метеорологического обеспечения.

Все потребители метеорологических прогнозов заинтересованы в высоком качестве информации этого вида. Поэтому оценка успешности носит сугубо избирательный характер, т. е. оцениваются те прогнозы, которые отвечают специфике работы потребителя. Потребитель определяет продолжительность прогнозов (6, 12, 24 ч и т. п.), место и время года. Им рекомендуется (согласно договорным условиям) и интервальность прогнозов (ширина градаций), и их частота в течение суток или другого отрезка времени. С позиций производственного запроса и осуществляется оценка успешности прогнозов.

В прогностических подразделениях выполняется *административная* оценка успешности (оправдываемости) прогнозов. Тем самым выявляется и эффективность работы прогнозиста. Такая оценка возможна, если успешность методического прогноза сравнивается с успешностью инерционного прогноза. В противном случае воз-

можны парадоксальные оценки: успешность методического прогноза в случае слабоменяющейся погоды в антициклонах может оказаться на уровне инерционного (например, $p_m = 95\%$ и $p_{ин} = 95\%$). Однако подобного рода результат прогнозирования успешность методических прогнозов, как таковую, не отражает. Преимущество методического прогноза ($p_m \gg p_{ин}$) заметно проявляется в тех случаях, когда отмечаются активные синоптические процессы.

Успешность методического прогноза по сравнению с таковой инерционного позволяет судить и о мастерстве прогнозиста. Показатель мастерства, как мера успеха, может применяться в отечественной практике.

Однако административная оценка не может являться достаточным основанием профессиональной оценки работы прогнозиста. За период оценки возможны достаточно сложные синоптические процессы и единичные оценки прогнозов носят случайные колебания. При разработке прогнозов синоптик не только использует данный метод прогнозирования, но и находит другие физические обоснования и, конечно, субъективные подходы, т. е. личный опыт синоптической работы. В настоящее время некоторые методы прогноза погоды (отдельных ее элементов) переведены на программный язык и разработка прогноза дополнительно поручается ЭВМ, что еще больше осложняет оценку профессиональных возможностей прогнозиста. Здесь можно выделить оценку качества выполнения отдельных этапов при подготовке синоптических материалов для ЭВМ, которую можно рассматривать как оценку качества методических разработок.

Оценка успешности прогнозов при их любом назначении является неперенным условием функционирования современной службы погоды.

Если прогностическое подразделение, осуществляющее специализированное метеорологическое обеспечение, не проводит оценку успешности этих прогнозов, то такое положение может быть следствием ряда причин:

- потребитель не испытывает интереса к прогностической информации, а договорные условия носят формальный характер;

- поставщик испытывает научные, технологические или иные трудности с повышением качества прогнозов, которые, возможно, заметно не отличаются от инерционных;

- поставщик находит оправдание в тезисе: „погода—стихия, не поддающаяся точному прогнозированию”;

- поставщик испытывает „опасение” перед конкурентом, что в условиях рынка заслуживает критического возражения, поскольку на рынке качество продукции выставляется, а не скрывается. Если

действительно есть опасение за качество, что заинтересованным потребителем непременно будет отмечено, то необходимо изыскать меры и средства по совершенствованию прогнозирования конкретных состояний погоды.

К оценке успешности прогнозов предъявляются следующие требования.

При подготовке рабочего материала для оценки прогнозов (температуры воздуха, скорости ветра, явлений погоды) необходимо предусмотреть однородность условий прогнозирования. Требуется непрерывность статистического набора. Не допускаются пропуски отдельных прогнозов или произвольные частичные выборки на усмотрение оценщика. По принятому условию оценки в апробацию включаются все прогнозы: как удачные, так и ошибочные.

Оценка успешности прогнозов выполняется на основании расчета ряда критериев. Природная сложность проявления погоды и статистическая сложность набора однородных погодных условий требуют привлечения *нескольких критериев*. Этим обеспечивается более надежная и строгая оценка.

Оценка успешности прогнозов должна быть *объективной*, т.е. независимой от прогнозиста. Это значит, что прогнозист не должен иметь возможности „подгонки” формулировок текстов прогнозов под условия благоприятного исхода.

Необходимо исключить стратегию прогнозиста на среднюю удачу. Такого рода прогнозы оказываются малопригодными для хозяйственных целей.

Согласно принципам Фишера, важнейшим условием оценки прогнозов является требование к *чувствительности оценки*. Должны различаться близкие, но разные прогнозы. Оценка должна быть *простой, понятной и доступной* как в оперативной синоптической практике, так и в хозяйственной.

Достоверность оценки успешности методических прогнозов достигается за счет сопоставления ее с таковой стандартных прогнозов.

Перечисленные требования к оценке успешности прогнозов являются важнейшим условием их экономической полезности.

6.3. Системы оценки успешности прогнозов

Под *системой оценки* успешности прогнозов понимается набор правил и численных мер оценки, удовлетворяющих решению целевой задачи.

Выделяют две системы оценки: административную и матричную.

Административная система основана на собрании правил и допусков ошибок при оценке успешности единичных прогнозов. Это могут быть прогнозы на 12 или 24 ч, т. е. те, которые входят в ежедневную практику прогнозирования. Прогнозы по пункту и по территории оцениваются на основании „Наставления по службе прогнозов”. Каждая метеорологическая величина и каждое явление погоды, отмеченные в прогнозе, подвергаются самостоятельной оценке. В итоге устанавливается оценка прогноза погоды по результатам оценки отдельных его составляющих.

Успешность прогнозов, согласно Наставлениям, определялась в виде такой меры, как общая оправдываемость, выражаемая в процентах.

Система оценки общей оправдываемости прогнозов включает субъективные правила, которые менялись без особого научного обоснования. Так, согласно „Наставлению по службе прогнозов” (1957 г.), все метеорологические величины и явления, указанные в прогнозе погоды, оценивались раздельно с учетом допустимой ошибки. Прогноз в целом оценивался по следующей схеме:

прогноз считался оправдавшимся, *если все* метеорологические величины и явления погоды спрогнозированы в пределах допустимых ошибок;

прогноз погоды считался не оправдавшимся, *если хотя бы одна* из его составляющих (температура, ветер, явления и др.) имела ошибку больше допустимой.

Начиная с 1963 г. в Наставление включаются новые положения, менее жесткие для оценки правила, а также положение об оценке штормовых предупреждений, об опасных метеорологических явлениях. Был введен термин *предупреждение об опасном явлении погоды* (ОЯ). В 1978 г. он был дополнен новым: *предупреждение об особо опасном явлении* (ООЯ). Начиная с 1987 г. в Наставление включается термин особого рода: *предупреждение о стихийном гидрометеорологическом явлении* (СГМЯ). В „Инструкцию” (Руководящий документ, 2002 г.) введены новые понятия, такие как „опасное гидрометеорологическое явление” (ОЯ) и „неблагоприятное гидрометеорологическое явление” (НГЯ).

Каждое Наставление в сущности выражало свой способ оценки оправдываемости (успешности) прогнозов погоды. Хотя успешность краткосрочных прогнозов повышалась из года в год, динамика ее по этой причине оставалась неоднородной и сложной. На рис. 6.1 приведена осредненная успешность краткосрочных прогнозов в нашей стране за 60-летний период.

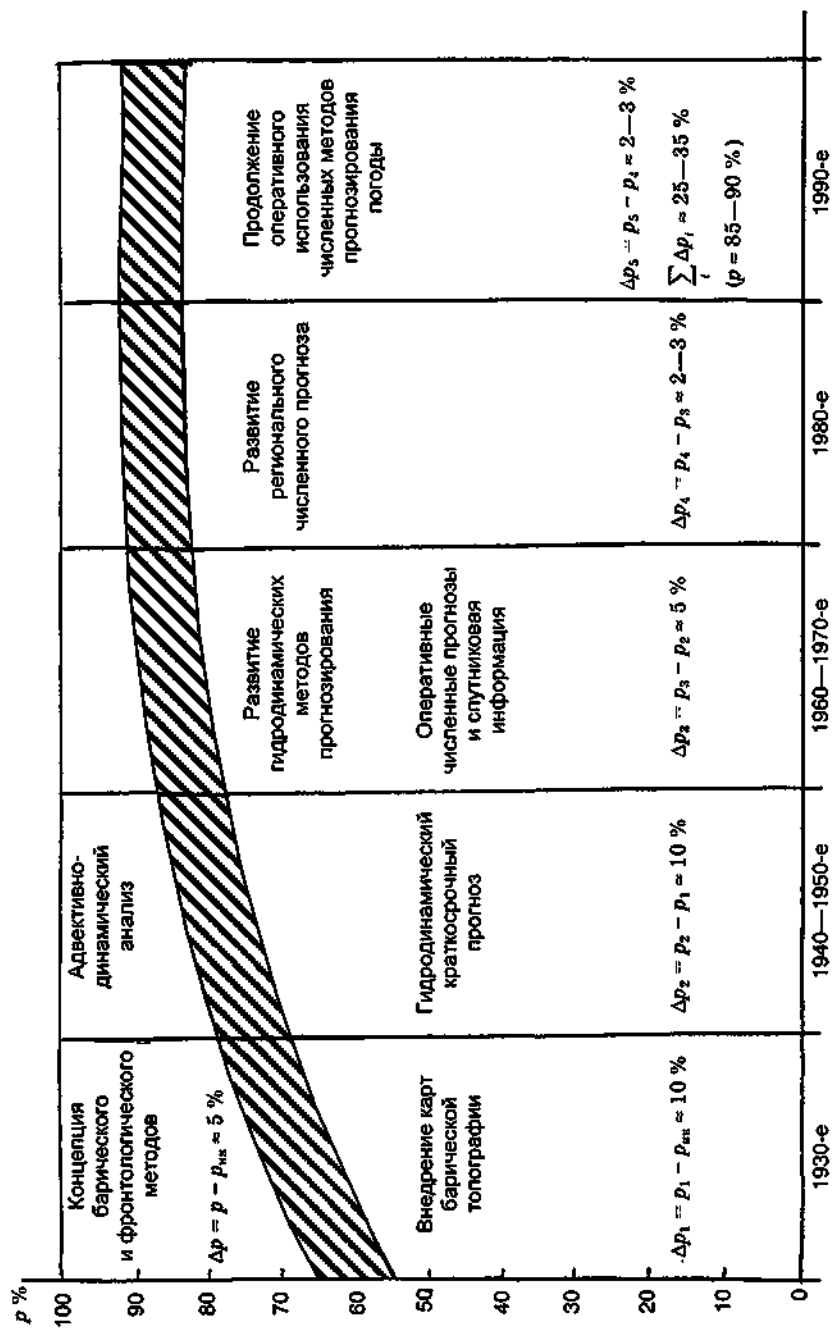


Рис. 6.1. Динамика успешности краткосрочных метеорологических прогнозов.

Оправдываемость краткосрочных прогнозов повышалась неравномерно. Если с 1966 по 1970 г. она выросла с 84 до 88 % (Е. К. Федоров), то в период 1978—1979 гг. практически не изменилась, оставаясь на уровне 88 % (М. А. Петросянц). К 1983 г. оправдываемость прогнозов уже составляла 85—90 % (Ю. А. Израэль), а к 1999 г. превышала 90 % (А. А. Васильев, О. Н. Белинский и др.).

Матричная система — более объективный подход к оценке успешности. В ней предусматривается следующий алгоритм оценки.

1. Успешность прогнозов явлений погоды (гроза, шквал, гололед, туман и др.) выполняется по *принципу простой альтернативы*, что является основанием для подготовки исходного материала на базе прогнозов погоды за каждый день в пункте или на территории за теплую или иную часть года. Альтернативная оценка может рассматриваться и для метеорологических величин (температура воздуха, скорость ветра и др.), если заданы их пороговые (критические, штормовые) значения.

2. Разрабатывается матрица сопряженности альтернативных прогнозов, содержащая *два прогностических условия* ($m = 2$): „явление ожидается, прогнозируется” (Π) или „не ожидается, не прогнозируется” ($\bar{\Pi}$) — и *два условия исхода* ($n = 2$), что затем фактически наблюдалось: „явление было” (Φ) или „не было” ($\bar{\Phi}$). Таким образом подготавливается матрица сопряженности второго порядка (2×2).

Более полное содержание оценки успешности альтернативных прогнозов в матричной системе рассматривается в п. 6.4.

3. Численная оценка успешности альтернативных прогнозов выполняется на основании распределения частот n_{ij} реализации прогнозов ($\Pi_j \sim \Phi_i$) из совокупности представительного статистического объема данных N , приведенных в матрице сопряженности.

4. Рассчитываются критерии успешности, обеспечивающие достаточно полное представление о качестве прогнозов данного вида — успешности прогнозирования.

5. Успешность прогнозов метеорологических величин выполняется на основании разработки матрицы сопряженности размером $n \times m$. Практически число градаций устанавливает потребитель, согласно регламенту принимаемых решений (действий) d , или оно определяется исходя из задач совершенствования метода прогнозирования. Анализ матрицы сопряженности многофазовых прогнозов приведен в п. 6.6.

6. Численная оценка успешности многофазовых прогнозов дается на основании ряда критериев. Кроме того, сама матрица сопря-

женности является полным выражением адекватности прогноза (Π) и факта (Φ) на всем поле распределения частот n_{ij} .

7. Матричное описание результатов прогнозирования в виде частот n_{ij} позволяет перевести их в вероятностную форму. Апостериорные совместные (p) и условные (q) вероятности используются при оценке результатов экономических решений потребителя.

Матричная система оценки является универсальным подходом не только в прогностической практике. Это достаточно простой, содержательный и эффективный способ анализа результатов как сопоставления любых признаков, так и прогнозирования.

Выбор способа (системы) оценки успешности прогноза является далеко не безразличным и может ускорять или тормозить развитие методов прогноза (М. И. Юдин, 1963).

6.4. Оценка успешности альтернативных прогнозов

В целях оценки успешности разрабатываются матрицы сопряженности методических, инерционных и случайных прогнозов явления погоды или метеорологической величины или прогноза погоды в целом.

Альтернативный прогноз (простая альтернатива) содержит одну из двух взаимоисключающих градаций (состояний, категорий, фаз) погоды: ожидается (Π) или не ожидается ($\bar{\Pi}$) явление или некоторое состояние погоды. В синоптической практике это трактуется как „наличие” или „отсутствие” ожидаемого состояния погоды. Альтернативными прогнозами преимущественно считаются те, которые относятся к явлениям погоды (гроза, ливень, шквал, туман и др.). Прогнозы метеорологических величин и некоторых специальных характеристик погоды (температура воздуха, скорость ветра, высота нижней границы низких облаков и др.) также могут быть представлены в альтернативном виде. Если установлено некоторое пороговое значение, например „штормовая скорость ветра $V_{шт} \geq 12$ м/с, $V_{шт} \geq 15$ м/с или $V_{шт} \geq 20$ м/с”, „граница заморозка”, „минимум высоты нижней границы облаков”, то определенное число фаз, градаций погоды группируются в одну обобщенную опасную для потребителя фазу (градацию), другая часть фаз (градаций) — в неопасную.

Прогностические и фактические данные, подлежащие анализу, должны по возможности включать весь диапазон значений данной метеорологической величины, характерных для выбранного пункта, района, маршрута и т. п. Если выборка содержит только часть значений метеорологической величины, то оценка результатов ее прогнозирования может оказаться несостоятельной.

Оценка успешности требует достаточно большого числа случаев прогнозов N , подлежащих статистической обработке. Как следует из ряда рекомендаций, при $N \geq 30$ результаты оценки могут быть удовлетворительными, при $N \geq 100$ — хорошими.

Результаты альтернативного методического прогноза можно представить в виде матрицы сопряженности (табл. 6.1). Она является обобщенной формой представления реализаций прогноза погоды или метеорологической величины по соответствующим градациям. Иначе говоря, рассматривается построение таблицы (матрицы) сопряженности прогностических и фактических значений метеорологических величин, явлений или иной характеристики погоды. В дальнейшем будем использовать сокращенный вариант этой формулировки, скажем: „матрица сопряженности прогнозов тумана” или „матрица сопряженности прогнозов гроз” и т. п.

Таблица 6.1

Общий вид матрицы сопряженности альтернативных прогнозов

Фактически наблюдалось, Φ_i	Прогнозировалось, Π_j		$\sum_{j=1}^{m-2} n_j$
	Π — наличие явления, неблагоприятного условия погоды	$\bar{\Pi}$ — отсутствие явления, неблагоприятного условия погоды	
Φ — явление наблюдалось	n_{11}	n_{12}	n_{10}
$\bar{\Phi}$ — явление не наблюдалось	n_{21}	n_{22}	n_{20}
$\sum_{i=1}^{n-2} n_i$	n_{01}	n_{02}	N

В табл. 6.1 сопряженность прогноз—факт выражена числом случаев, частотой n_{ij} . Соответствующие сочетания характеризуют следующее:

n_{11} — число случаев *оправдавшихся прогнозов наличия явления*: явление (или состояние погоды) прогнозировалось и фактически наблюдалось;

n_{21} — число случаев *неоправдавшихся прогнозов наличия явления*: явление (или состояние погоды) прогнозировалось, но фактически не наблюдалось;

n_{12} — число случаев *неоправдавшихся прогнозов отсутствия явления*: явление (или состояние погоды) не прогнозировалось, но фактически наблюдалось;

n_{22} — число случаев *оправдавшихся прогнозов отсутствия явления*: явление (или состояние погоды) не прогнозировалось и фактически не наблюдалось.

Здесь n_{12} — ошибки первого рода — *ошибки-пропуски*; n_{21} — ошибки второго рода — *ошибки-страховки*; n_{01} — число случаев прогнозов наличия явления (или состояния погоды) — число прогнозов с текстом Π ; n_{02} — число случаев прогнозов отсутствия явления (или состояния погоды) — число прогнозов с текстом $\bar{\Pi}$; n_{10} — число случаев наличия явления (или состояния погоды) — столько раз явление фактически наблюдалось; n_{20} — число случаев отсутствия явления (или состояния погоды) — столько раз явление фактически не наблюдалось; N — общее число прогнозов (за месяц, сезон и т. п.).

Матрица сопряженности *методических прогнозов* разрабатывается по следующей схеме.

1. За выбранный период времени устанавливается общее число прогнозов N и фактически наблюдавшееся число явлений Φ , т. е. n_{10} .

2. Устанавливается число случаев отсутствия явления $\bar{\Phi}$: $n_{20} = N - n_{10}$.

3. По прогностическим материалам (дневникам, журналам и т. п.) находится число случаев, когда явление прогнозировалось Π , т. е. n_{01} .

4. Определяется число случаев, когда явление не прогнозировалось: $n_{02} = N - n_{01}$.

5. Остается установить частоты n_{ij} собственно матрицы сопряженности: n_{11} , n_{12} , n_{21} , n_{22} . Это достаточно простая операция, если установить число оправдавшихся прогнозов наличия явления, т. е. n_{11} . Остальные частоты определяются как разностные значения: $n_{12} = n_{10} - n_{11}$, $n_{21} = n_{01} - n_{11}$, $n_{22} = n_{02} - n_{12}$.

Согласно приведенной алгоритмической схеме, разработка матрицы сопряженности легко программируется, что позволяет создать уникальную базу данных об успешности прогнозов.

Оценка успешности прогнозов требует знания матрицы сопряженности стандартных прогнозов.

Матрица сопряженности *инерционного прогноза* устанавливается только по фактическим сведениям о данном явлении. Исходное состояние явления (или значение метеорологической величины) рассматривается как прогностическое ($\Pi_{ин}$) и выполняется сравнение с последующим состоянием или значением, которое принимается за факт ($\Phi_{ин}$). Последнее состояние или значение снова принимается за прогноз и так далее.

Матрица сопряженности инерционного прогноза содержит одно универсальное свойство: такого рода прогнозы являются несмещенными. *Свойство несмещенности инерционных прогнозов* отражает тот факт, что частоты фактически наблюдавшихся фаз погоды (n_{10} и n_{20}) равны частотам текстов прогнозов (n_{01} и n_{02}). Это значит, что $n_{10} = n_{01}$ и $n_{20} = n_{02}$. Отсюда и $n_{12} = n_{21}$.

Используя уже разработанную матрицу сопряженности методических прогнозов для искомой матрицы, записываем: n_{10} , n_{20} и N (это природные условия и они сохраняются при любом способе прогнозирования); те же самые значения будут и для n_{01} и n_{02} ; величину $n_{12}^{ин}$ устанавливаем по фактическому ряду; остальные частоты $n_{ij}^{ин}$ суть разностные значения.

Матрица сопряженности случайного прогноза является следствием статистического механизма такого прогнозирования. Представляется случайный выбор из совокупности величин, одинаково распределенных с предиктантом (М. Кендалл, А. Стьюарт, 1973).

Случайный прогноз отражает случайный характер связи между признаками Π и Φ . Независимость этих признаков означает, что знание признака Π не дает нам никакой информации о признаке Φ . Независимость признаков Π_i и Φ_i формулируется следующим образом.

1. Доля элементов с признаком Φ среди элементов, обладающих признаком Π , т. е. $n_{11}/(n_{11} + n_{21})$, должна быть равна доле элементов с признаком Φ среди элементов, не обладающих признаком Π (иначе $\bar{\Pi}$), т. е. $n_{12}/(n_{12} + n_{22})$; отсюда, согласно табл. 6.1, находим

$$\frac{n_{11}}{n_{11} + n_{21}} = \frac{n_{12}}{n_{12} + n_{22}} = \frac{n_{11} + n_{12}}{N}. \quad (6.1)$$

2. Доля элементов с признаком $\bar{\Phi}$ среди элементов, обладающих признаком Π , т. е. $n_{21}/(n_{11} + n_{21})$, должна быть равна доле элементов с признаком $\bar{\Phi}$ среди элементов, не обладающих признаком Π (иначе $\bar{\Pi}$), т. е. $n_{22}/(n_{12} + n_{22})$; отсюда получаем

$$\frac{n_{21}}{n_{11} + n_{21}} = \frac{n_{22}}{n_{12} + n_{22}} = \frac{n_{21} + n_{22}}{N}. \quad (6.2)$$

Если в качестве исходного признака рассматривать Π и $\bar{\Pi}$ и находить их доли соответственно среди элементов Φ и $\bar{\Phi}$, то можно записать

$$\frac{n_{11}}{n_{11} + n_{12}} = \frac{n_{21}}{n_{21} + n_{22}} = \frac{n_{11} + n_{21}}{N}, \quad (6.3)$$

$$\frac{n_{12}}{n_{11} + n_{12}} = \frac{n_{22}}{n_{21} + n_{22}} = \frac{n_{12} + n_{22}}{N}. \quad (6.4)$$

На основании соотношений (6.1)—(6.4) устанавливается случайность сопряженности признаков Π_j и Φ_i . Так, из формул (6.1) или (6.3) следует

$$n_{11}^{сл} = \frac{(n_{11} + n_{21})(n_{11} + n_{12})}{N} = \frac{n_{01}n_{10}}{N}. \quad (6.5)$$

На основании формул (6.1) или (6.4) получаем

$$n_{12}^{сл} = \frac{(n_{12} + n_{22})(n_{11} + n_{12})}{N} = \frac{n_{02}n_{10}}{N}. \quad (6.6)$$

Из других соотношений находим

$$n_{21}^{сл} = \frac{(n_{11} + n_{21})(n_{21} + n_{22})}{N} = \frac{n_{01}n_{20}}{N} \quad (6.7)$$

и

$$n_{22}^{сл} = \frac{(n_{12} + n_{22})(n_{21} + n_{22})}{N} = \frac{n_{02}n_{20}}{N}. \quad (6.8)$$

На основании (n_{ij}) частот матрицы сопряженности методического прогноза определяются частоты $n_{ij}^{сл}$ при случайном выборе текста прогноза.

Разработанные дополнительно матрицы сопряженности стандартных прогнозов позволяют перейти к оценке успешности альтернативных прогнозов. Для этой цели используются критерии успешности.

Успешность прогнозирования погоды есть степень соответствия значений метеорологических величин или явлений погоды, которые содержатся в тексте прогноза и которые затем фактически наблюдались. Устанавливается степень схождения (адекватность) прогнозируемых Π_j и фактических Φ_i значений метеорологической величины или явления погоды. Степень схождения должна быть измерена, т.е. должна получить численное выражение. Если измерено соответствие, схождение прогноза факту, то очевидным становится и различие.

В качестве мер успешности прогнозов используются различные критерии, разработанные отечественными и зарубежными учены-

ми. *Критерии успешности* позволяют дать количественную оценку результативности прогнозирования как методических, так и стандартных прогнозов. Особенность оценки методических прогнозов состоит в том, что полученные критерии сопоставляются с аналогичными для стандартных прогнозов. Стандартным прогнозам, по выражению Г. В. Грузы, соответствует нулевая мера мастерства прогнозирования.

Предварительно устанавливается *наличие* статистической связи между показателями Π и Φ . Это выполняется с помощью *критерия независимости Пирсона*, который определяется по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{(n_{ij} - n_{ij}^{сл})^2}{n_{ij}^{сл}}. \quad (6.9)$$

В качестве нулевой гипотезы принимается независимость частот n_{ij} и $n_{ij}^{сл}$.

Для определения теоретического (табличного) значения χ^2 рассчитывается число степеней свободы (ν) в таблице сопряженности

$$\nu = (\kappa_1 - 1)(\kappa_2 - 1), \quad (6.10)$$

где κ_1 — число строк, κ_2 — число столбцов.

По заданному уровню значимости $\alpha = 0,05$ (в 5 % случаев возможна независимость признаков — подтверждение нулевой гипотезы¹⁾) находится табличное значение $\chi_{\alpha, \nu}^2$. Используется правило: если $\chi^2 > \chi_{\alpha, \nu}^2$, то гипотеза о независимости признаков Π и Φ отклоняется; если $\chi^2 \leq \chi_{\alpha, \nu}^2$, то гипотеза о независимости принимается — связь между признаками носит случайный характер²⁾.

В связи с крайне низкой дискретностью распределения признаков Π и Φ снижается точность оценки χ^2 по таблицам сопряженности 2×2 . Уменьшение числа градаций снижает чувствительность критерия χ^2 к статистическому свойству независимости предиктора и предиктанта в длительном процессе прогнозирования. Чтобы в некоторой мере избежать этого недостатка, следует воспользоваться *условиями Кокрэна*:

1) если сумма четырех частот меньше 20, то следует использовать точный критерий Фишера;

¹ Содержание приведенных терминов изучается в дисциплине математическая статистика, поэтому здесь к дополнительным пояснениям мы не обращаемся.

² Значение $\chi_{\alpha, \nu}^2$ можно найти по соответствующим таблицам в учебниках по математической статистике.

2) если сумма находится между 20 и 40 и наименьшая ожидаемая частота меньше 5, то следует также использовать точный критерий Фишера;

3) если сумма равна 40 и более, то критерий можно применять с учетом поправки на непрерывность (поправка Йейтса).

Отсюда следует, что критерий χ^2 надо применять с определенной осторожностью. Частоты в матрице сопряжением 2×2 не должны быть менее 5 (или даже 10).

В целях уточнения χ^2 при $n = m = 2$ используют *показатель сопряженности* в виде

$$\varphi^2 = \frac{(n_{11}n_{22} - n_{12}n_{21})^2}{n_{10}n_{20}n_{01}n_{02}}. \quad (6.11)$$

Нормируя χ^2 относительно объема выборки N , можно записать

$$\varphi^2 = \chi^2 / N \quad (6.12)$$

или

$$\chi^2 = \frac{N[(n_{11}n_{22} - n_{12}n_{21}) - 0,5N]^2}{n_{10}n_{20}n_{01}n_{02}}. \quad (6.13)$$

Оценку χ^2 для альтернативных прогнозов предпочтительнее определять по формуле (6.13), чем по формуле (6.9). Предварительная оценка χ^2 позволяет лишь установить наличие или отсутствие связи между признаками Π и Φ , но не измеряет эту связь, т. е. не является мерой связи, как, например, коэффициент корреляции или критерии успешности, которые приведены ниже.

1. Общая оправдываемость прогнозов. Исторически сложилось так, что под *оправдываемостью прогнозов* понимается их общая оправдываемость как отношение числа оправдавшихся прогнозов к общему числу случаев. Этим по существу и исчерпывается понятие оправдываемости прогнозов в противоположность более широкому толкованию понятия успешности.

Общая оправдываемость прогнозов в процентах, в соответствии с частотой n_{ij} (см. табл. 6.1) реализации текста альтернативного прогноза, определяется по формуле

$$p = \frac{n_{11} + n_{22}}{N} \cdot 100, \quad (6.14)$$

где n_{11} и n_{22} — число случаев оправдавшихся прогнозов соответственно при сочетании $\Pi \sim \Phi$ и $\overline{\Pi} \sim \overline{\Phi}$.

Общая оправдываемость не является надежным критерием оценки успешности прогнозов. Укажем некоторые недостатки критерия p .

1. Критерий p не позволяет установить преимущество методического прогноза перед формальным $p_{\text{фор}}$ (климатологическим). Пусть, например, имеем следующую матрицу сопряженности прогнозов¹:

$$\begin{array}{c} \Pi_j \\ \left| \begin{array}{c|ccc} \Phi_i & \Pi & \overline{\Pi} & \sum_j \\ \hline \Phi & 1 & 1 & 2 \\ \overline{\Phi} & 10 & 88 & 98 \\ \sum_i & 11 & 89 & 100 \end{array} \right| \end{array}.$$

Отсюда следует, что если постоянно прогнозировать одну и ту же фазу погоды, скажем отсутствие явления, то общая оправдываемость таких *формальных прогнозов* составит

$$p = \frac{98}{100} \cdot 100 = 98 \%.$$

В то же время общая оправдываемость методических прогнозов равна

$$p = \frac{1+88}{100} \cdot 100 = 89 \%.$$

2. Критерий p не учитывает характера распределения ошибок-пропусков n_{12} и ошибок-страховок n_{21} . Замена их местами в таблице сопряженности не вызывает изменения значения p . Это наглядно видно из приведенного ниже примера:

Первый вариант				Второй вариант			
Π_j				Π_j			
Φ_i	Π	$\overline{\Pi}$	$\sum_j$	Φ_i	Π	$\overline{\Pi}$	$\sum_j$
Φ	8	2	10	Φ	1	9	10
$\overline{\Phi}$	9	81	90	$\overline{\Phi}$	2	88	90
$\sum_i$	17	83	100	$\sum_i$	3	97	100

$n_{12} = 2, n_{21} = 9$
 $p = 89,0 \%$

$n_{12} = 9, n_{21} = 2$
 $p = 89,0 \%$

¹ Приводимые в дальнейшем таблицы сопряженности альтернативных прогнозов даются в сокращенной форме. Обозначения при этом сохраняются прежние.

Хотя для матриц сопряженности показатель p имеет одинаковые значения, сами матрицы сопряженности существенно различны. Может оказаться, что для одного потребителя прогнозы убыточнее во втором варианте ($n_{12} > n_{21}$), а для другого — в первом ($n_{21} > n_{12}$). Потребители, ориентирующиеся на снижение убытков при использовании прогнозов, предпочтут первый вариант. Критерий p , как видим, не чувствителен к ошибкам прогнозирования. В формуле (6.14) они исключены, им не придается значение, их потребительская „цена” сведена к нулю. Отсюда следует, что критерий „общая оправдываемость” не является надежным показателем качества прогнозов.

3. Критерий p не учитывает климатической природы прогнозируемого состояния погоды, тем самым не воспринимает географических различий при оценке успешности. Если общая оправдываемость p прогнозов гроз в Архангельске и Астрахани составляет, например, 80 %, это не означает, что их успешность одинакова. Очевидно, что прогнозы, разрабатываемые в Архангельске, в силу их малой повторяемости имеют большую надежность. Для потребителей они будут более предпочтительны.

Более жесткой оценкой оправдываемости прогнозов является показатель ρ

$$\rho = \frac{(n_{11} + n_{22}) - (n_{12} + n_{21})}{N}. \quad (6.15)$$

2. Общая оправдываемость инерционных прогнозов. Чтобы дать более полную оценку успешности методических прогнозов, необходимо сравнить их с инерционными прогнозами, которые не требуют никакой научной разработки и идентифицируются с исходным состоянием погоды. Это позволяет установить, насколько методические прогнозы способны „улавливать”, воспроизводить значительные, резкие и иные изменения погодных условий. Общая оправдываемость инерционных прогнозов записывается по аналогии с (6.14)

$$p_{ин} = \frac{n_{11}^{ин} + n_{22}^{ин}}{N} \cdot 100. \quad (6.16)$$

Отсюда следует, что успешность инерционных прогнозов принимается за *начало отсчета успешности методических прогнозов*. Это главным образом относится к прогнозам метеорологиче-

ских величин. Однако в ряде случаев этот принцип отсчета успешности применим и к оценке успешности явлений погоды. Например, для внутримассовых гроз (грозового состояния, особенно при барическом „болоте”), явлений при устойчивом состоянии атмосферы (обложных осадков, туманов) и для других состояний погоды.

3. Общая оправдываемость случайных прогнозов. Ряд явлений погоды имеет достаточно высокую дискретность пространственно-временного распределения. В основном это явления конвективного происхождения (грозы, шквалы, ливни, град). Прогнозирование таких явлений по пункту сопряжено с „ошибками”, не связанными с методами прогнозирования. Ливневый дождь, шквал ураганной силы, как случайное проявление погодных условий, может пройти в любой части города, что характерно для мегаполисов (Москва, Санкт-Петербург).

Понятие случайного прогноза, как одного из видов стандартного, вводится для того, чтобы установить, насколько методический прогноз, составляемый в оперативной синоптической практике, отличается от случайного выбора текста прогноза.

Общая оправдываемость случайных прогнозов определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} p_{\text{сл}} &= \frac{n_{11}^{\text{сл}} + n_{22}^{\text{сл}}}{N} \cdot 100 = \frac{1}{N} \left(\frac{n_{10}n_{01}}{N} + \frac{n_{20}n_{02}}{N} \right) \cdot 100 = \\ &= \frac{n_{10}n_{01} + n_{20}n_{02}}{N^2} \cdot 100, \end{aligned} \quad (6.17)$$

где $n_{11}^{\text{сл}} = \frac{n_{10}n_{01}}{N}$ и $n_{22}^{\text{сл}} = \frac{n_{20}n_{02}}{N}$ — число случайно оправдавшихся прогнозов при сочетании $\Pi \sim \Phi$ и $\bar{\Pi} \sim \bar{\Phi}$.

Следуя формуле (6.15), запишем по аналогии показатель $\rho_{\text{сл}}$ для оценки случайных прогнозов:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{сл}} &= \frac{1}{N} \left(\frac{n_{01}n_{10} + n_{02}n_{20}}{N} - \frac{n_{02}n_{10} + n_{01}n_{20}}{N} \right) = \\ &= \frac{n_{01}(n_{10} - n_{20}) - n_{02}(n_{10} - n_{20})}{N^2} = \\ &= \frac{(n_{10} - n_{20})(n_{01} - n_{02})}{N^2}. \end{aligned} \quad (6.18)$$

4. Превышение оправдываемости методического прогноза над инерционным и случайным. Если допустить возможность использования в синоптической практике критерия „общая оправдываемость”, то обязательным условием выступает необходимость дать сравнительную оценку оправдываемости методических прогнозов с общей оправдываемостью инерционных и случайных прогнозов. Для этого используются разности

$$\delta p_{ин} = p - p_{ин} \quad (6.19)$$

и

$$\delta p_{сл} = p - p_{сл}. \quad (6.20)$$

5. Критерий Хайдке. Более общим показателем преимущества методических прогнозов над инерционными или случайными является критерий вида¹

$$S = \frac{(n_{11} + n_{22}) - E_{ст}}{N - E_{ст}}, \quad (6.21)$$

где $E_{ст}$ — число оправдавшихся прогнозов при использовании некоторого стандартного прогноза:

— при использовании инерционного прогноза в качестве стандартного

$$E_{ст} = E_{ин} = n_{11}^{ин} + n_{22}^{ин}, \quad (6.22)$$

— при использовании случайного прогноза в качестве стандартного

$$E_{ст} = E_{сл} = n_{11}^{сл} + n_{22}^{сл}, \quad (6.23)$$

— при использовании климатического прогноза в качестве стандартного

$$E_{ст} = E_{кл} = \frac{1}{\kappa} N, \quad (6.24)$$

где κ — число градаций.

В (6.24) принимается равновероятность осуществления фаз погоды.

¹ В зарубежной практике этот критерий предлагалось использовать для оценки квалификации прогнозиста.

6. Критерий надежности прогнозов по Н. А. Багрову. Критерий имеет вид

$$H = \frac{p - p_{\text{сл}}}{1 - p_{\text{сл}}}. \quad (6.25)$$

Критерий H характеризует относительное приращение общей оправдываемости оцениваемых прогнозов (по сравнению со случайными) к максимально возможному. Здесь разность $p - p_{\text{сл}}$ нормирована относительно отклонения идеального прогноза от случайного на интервале $(0; 1)$. Очевидно, что критерий H лишен недостатков, присущих критерию „общая оправдываемость”. Значения H меняются в пределах от 0 до 1.

7. Критерий точности прогнозов по М. А. Обухову. Критерий рассчитывается по формуле

$$Q = 1 - \left(\frac{n_{12}}{n_{10}} + \frac{n_{21}}{n_{20}} \right), \quad (6.26)$$

где n_{12}/n_{10} и n_{21}/n_{20} — относительные ошибки прогнозов.

Показатель Q выражает долю точных, успешных прогнозов при известной повторяемости фаз погоды. Он меняется в пределах от 1 до -1 (идеальные прогнозы и все прогнозы ошибочны).

Г. А. Карпеев предложил нормировать критерий Обухова относительно оправдываемости случайного прогноза. Критерий точности в этом случае записывается в виде

$$Q = \frac{p - p_{\text{сл}}}{1 - p_1}, \quad (6.27)$$

где

$$p_1 = p^2(\Phi) + p^2(\bar{\Phi}) = \left(\frac{n_{10}}{N} \right)^2 + \left(\frac{n_{20}}{N} \right)^2. \quad (6.28)$$

Тем самым два критерия по Багрову и Обухову оказались сравнимыми.

8. Показатель взвешенной оправдываемости по Л. А. Хандожко. Данный показатель выступает в качестве такой меры оправдываемости, которая учитывает *взвешенную „цену”* оправдавшихся прогнозов. При этом учитываются веса ошибок-пропусков n_{12} и ошибок-страховок n_{21}

$$p_x = \frac{1}{N} \left[n_{11} \left(1 - \frac{n_{12}}{n_{10}} \right) + n_{22} \left(1 - \frac{n_{21}}{n_{20}} \right) \right]. \quad (6.29)$$

9. Адекватность прогнозов по Л. А. Хандожко. Учитывается условный по прогнозу *успех* и безусловная по факту *ошибочность* прогнозирования

$$A_x = 0,5 \left[\left(\frac{n_{11}}{n_{01}} + \frac{n_{22}}{n_{02}} \right) - \left(\frac{n_{12}}{n_{10}} + \frac{n_{21}}{n_{20}} \right) \right]. \quad (6.30)$$

Показатель A_x является более жестким критерием оценки.

10. Количество прогностической информации и информационное отношение. Все состояния погоды имеют природную (климатическую) вероятность осуществления. В этом проявляется вероятностный характер прогнозов метеорологических величин и явлений погоды. Не будучи идеальными, прогнозы содержат *неопределенность* в осуществлении. В качестве меры ее предложена *статистическая энтропия*. Это позволило на основании ряда положений теории информации получить критерий успешности прогноза метеорологических величин и явлений погоды. Рассматриваются два вида энтропии: *климатическая*, или *безусловная*, и *условная*.

Безусловная энтропия определяется на основании известных вероятностей фаз данного явления или состояния погоды ($p_{i0} = n_{i0}/N$)

$$H(\Phi) = - \sum_{i=1}^n p(\Phi_i) \lg p(\Phi_i), \quad (6.31)$$

где $p(\Phi_i) = p_{i0} = n_{i0}/N$. Индекс n над знаком суммы означает число фаз, градаций выбранной метеорологической величины или явления погоды. При альтернативном прогнозе $n = 2$.

Выражая (6.31) в частотах для альтернативного прогноза, запишем

$$H(\Phi) = - \left(\frac{n_{10}}{N} \lg \frac{n_{10}}{N} + \frac{n_{20}}{N} \lg \frac{n_{20}}{N} \right). \quad (6.32)$$

Некоторые свойства энтропии: 1) энтропия — величина положительная, что следует из (6.31); 2) с ростом числа фаз, градаций (n) увеличивается энтропия явления (или иного состояния погоды),

т. е. растет неопределенность в осуществлении заданной фазы явления (или иного состояния погоды).

Задача методического прогноза сводится к тому, чтобы уменьшить энтропию явления по сравнению с безусловной (климатической), тем самым повысить определенность знаний о возможной реализации той или иной фазы прогнозируемого явления. Для этой цели используется дополнительная информация об ожидаемом явлении. Это могут быть синоптические материалы, данные температурно-ветрового зондирования, радиолокационные данные и другие, которые используются в практике при разработке краткосрочных метеорологических прогнозов. Все это дополнительные условия, выраженные в итоге в виде текстов прогнозов Π_j . На этом основании рассчитывается *условная энтропия* $H(\Pi)$ осуществления явления (или иного состояния погоды):

$$H(\Pi) = - \sum_{j=1}^m p(\Pi_j) H(\Pi_j / \Phi_i), \quad (6.33)$$

где $p(\Pi_j) = n_{0j}/N$; $H(\Pi_j / \Phi_i)$ — частная энтропия, равная

$$H(\Pi_j / \Phi_i) = \sum_{i=1}^n p(\Pi_j / \Phi_i) \lg p(\Pi_j / \Phi_i).$$

Выражение $p(\Pi_j / \Phi_i)$ означает условную вероятность вида $q_{ij} = p_{ij}/p_{0j}$ или $q_{ij} = n_{ij}/n_{0j}$. Тогда формулу (6.33) можно переписать так:

$$H(\Pi) = - \sum_{j=1}^m p(\Pi_j) \sum_{i=1}^n q_{ij}(\Pi_j) \lg q_{ij}(\Pi_j). \quad (6.34)$$

Значение $H(\Pi)$ в (6.33) можно рассматривать уже как энтропию осуществления прогноза явления (состояния) погоды.

На основании частот n_{ij} (см. табл. 6.1) можем записать

$$H(\Pi) = - \left[\frac{n_{01}}{N} \left(\frac{n_{11}}{n_{01}} \lg \frac{n_{11}}{n_{01}} + \frac{n_{21}}{n_{01}} \lg \frac{n_{21}}{n_{01}} \right) + \frac{n_{02}}{N} \left(\frac{n_{12}}{n_{02}} \lg \frac{n_{12}}{n_{02}} + \frac{n_{22}}{n_{02}} \lg \frac{n_{22}}{n_{02}} \right) \right]. \quad (6.35)$$

Основание логарифма выбирается произвольно, что равносильно выбору единицы измерения энтропии. Если за основание выбрано 10, то энтропия выражается в десятичных единицах (дитах), если основание равно 2 — в двоичных единицах (битах).

Количество прогностической информации I представляет собой снижение природной энтропии на величину

$$I = H(\Phi) - H(\Pi). \quad (6.36)$$

Однако в силу различий климатической повторяемости явлений (или состояний погоды) критерий I не может быть надежной мерой сравнения качества их прогнозирования. Переход к относительным значениям I представляется для этой цели предпочтительным. Поэтому используется более универсальный критерий — *информационное отношение*

$$\nu = \frac{H(\Phi) - H(\Pi)}{H(\Phi)} = 1 - \frac{H(\Pi)}{H(\Phi)}. \quad (6.37)$$

Величина ν показывает, какая часть неопределенности климатологических прогнозов устраняется с помощью методических прогнозов¹.

Заметим, что при оценке $H(\Pi)$ крайних вариантов прогнозирования „прогнозы на уровне идеальных” и „все прогнозы ошибочны” имеют особый смысл. Действительно, при $p \rightarrow 0$ произведение $-p \lg p$ убывает, так что $\lim_{p \rightarrow 0} (-p \lg p) = 0$. Поэтому, если исходы (реализации) $\Pi \sim \Phi$ и $\bar{H} \sim \bar{\Phi}$ невозможны, соответствующие величины $q_{11} \lg q_{11}$ и $q_{22} \lg q_{22}$, содержащие условные вероятности q_{ij} в варианте „все прогнозы ошибочны”, можно просто отбросить. Кроме того, при $p \rightarrow 1$ величина $\lg p$ стремится к нулю. Значит, $q_{12} \lg q_{12}$ и $q_{21} \lg q_{21}$ также будут стремиться к нулю.

Это хорошо согласуется со смыслом понятия энтропии как меры степени неопределенности. Именно в этих крайних вариантах прогнозирование (как опыт) не содержит никакой неопределенности.

11. Показатель взаимной сопряженности признаков по А. А. Чупрову. Взаимная сопряженность признаков Π и Φ численно выражается показателем

$$K = \left(\frac{\chi^2}{N \sqrt{(\kappa_1 - 1)(\kappa_2 - 1)}} \right)^{1/2}. \quad (6.38)$$

¹ Достаточно обстоятельное изложение свойств энтропии дается в монографии А. М. Яглома и И. М. Яглома „Вероятность и информация” (М.: Наука, 1973).

Показатель K , предложенный А. А. Чупровым, записывается в ином виде:

$$K^* = \frac{1}{\kappa - 1} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{p_{0j}}{p_{i0}} (q_{ij} - p_{i0})^2 \right]. \quad (6.39)$$

Для матрицы сопряженности порядка 2×2 величина K^* расписывается через частоты n_{ij} следующим образом:

$$K^* = \frac{1}{\kappa - 1} \left[\frac{n_{01}/N \left(\frac{n_{11}}{n_{10}/N} - \frac{n_{10}}{N} \right)^2}{n_{10}/N \left(\frac{n_{11}}{n_{10}/N} - \frac{n_{10}}{N} \right)} + \frac{n_{01}/N \left(\frac{n_{21}}{n_{20}/N} - \frac{n_{20}}{N} \right)^2}{n_{20}/N \left(\frac{n_{21}}{n_{20}/N} - \frac{n_{20}}{N} \right)} + \right. \\ \left. + \frac{n_{02}/N \left(\frac{n_{12}}{n_{02}/N} - \frac{n_{10}}{N} \right)^2}{n_{10}/N \left(\frac{n_{12}}{n_{02}/N} - \frac{n_{10}}{N} \right)} + \frac{n_{02}/N \left(\frac{n_{22}}{n_{02}/N} - \frac{n_{20}}{N} \right)^2}{n_{20}/N \left(\frac{n_{22}}{n_{02}/N} - \frac{n_{20}}{N} \right)} \right]. \quad (6.40)$$

12. Меры Гутмана. Рассматриваются два известных признака Π и Φ . Для оценки связи между ними используются два равнозначных решения.

1. В выбранной совокупности случаев сочетания признаков Π и Φ необходимо установить возможность осуществления Φ . Уменьшение относительной ошибки прогноза признака Φ определяется по формуле

$$\lambda(\Pi / \Phi) = \frac{\sum_{j=1}^m n_{j\text{макс}} - n_{i0\text{макс}}}{N - n_{i0\text{макс}}}, \quad (6.41)$$

где $n_{j\text{макс}}$ — максимальное значение частоты в j -м столбце, $n_{i0\text{макс}}$ — максимальное значение частоты в столбце сумм, определяющих повторяемость фаз явления или условия погоды.

2. Предстоит дать оценку признаку Π на основании осуществления признака Φ . Тогда

$$\lambda(\Pi / \Phi) = \frac{\sum_{i=1}^n n_{i\text{макс}} - n_{0j\text{макс}}}{N - n_{0j\text{макс}}}, \quad (6.42)$$

где $n_{i\text{макс}}$ — максимальное значение частоты в i -й строке, $n_{0j\text{макс}}$ — максимальное значение частоты в строке сумм, определяющих повторяемость текстов прогнозов.

Для оценки общей связности признаков Π и Φ используется обобщенная мера

$$\lambda = \frac{\left(\sum_{j=1}^n n_{j\text{макс}} - n_{i0\text{макс}} \right) + \left(\sum_{i=1}^n n_{i\text{макс}} - n_{0j\text{макс}} \right)}{2N - n_{i0\text{макс}} - n_{0j\text{макс}}}. \quad (6.43)$$

13. Меры Гутмана и Крускала. Предлагаемая мера позволяет оценить зависимость различных категорий в пропорции наблюдаемых итогов. Для оценки взаимосвязи $\Pi \sim \Phi$ устанавливается мера

$$\tau(\Pi / \Phi) = \frac{\sum_i \sum_j [(Nn_{ij} - n_{i0}n_{0j})^2 / n_{0j}]}{N(N^2 - \sum_i n_{i0}^2)}, \quad (6.44)$$

где n_{ij} — частоты в матрице сопряженности, соответствующие перекрестному положению при выбранных значениях n_{i0} и n_{0j} .

Для оценки взаимосвязи $\Phi \sim \Pi$ мера связи записывается так:

$$\tau(\Phi / \Pi) = \frac{\sum_i \sum_j [(Nn_{ij} - n_{i0}n_{0j})^2 / n_{i0}]}{N(N^2 - \sum_j n_{0j}^2)}. \quad (6.45)$$

Генеральная мера τ принимает вид

$$\tau = \frac{\sum_i \sum_j [(Nn_{ij} - n_{i0}n_{0j})^2 / n_{0j}] + \sum_i \sum_j [(Nn_{ij} - n_{i0}n_{0j})^2 / n_{i0}]}{2N^3 - N(\sum_i n_{i0}^2 + \sum_j n_{0j}^2)}. \quad (6.46)$$

Мера τ характеризует успешность прогнозирования различных категорий Π , выраженную пропорционально частоте фактически наблюдававшихся фаз явления Φ . Как частные, так и общий параметр τ имеют определенное сходство с критерием χ^2 .

Генеральная мера τ равна *относительному уменьшению вероятности неправильного предсказания* одной переменной при известной другой. Она называется еще *симметризованным коэффициентом*, отражающим предсказуемость в обе стороны: зависимость Φ_i от Π_j и Π_j от Φ_i .

Каждый из приведенных критериев не дает исчерпывающей информации об успешности прогнозов, в то время как совокупность их позволяет получить более полное представление об их качестве.

Приведенные здесь критерии не обязательно применять в полном объеме. Возможен выбор наиболее подходящих оценок. При этом следует выбирать такие меры оценки, которые допускают интерпретацию результатов в терминах решаемой задачи. В зарубежной практике широкое применение получили такие критерии, как коэффициент схождения A , коэффициент связи Юла I , коэффициент коллигации и ряд мер, предложенных Гудмэном и Крускалом.

6.5. Оценка успешности многофазовых прогнозов

Многофазовыми называются такие прогнозы, которые содержат более двух фаз (градаций) ($\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_m$). Это прогнозы метеорологических величин (давления, температуры и влажности воздуха, скорости ветра), а также количественных и качественных характеристик таких явлений погоды, как облачность (форма, количество) и осадки (вид, количество, интенсивность). Такие комплексные характеристики погоды, как эффективная и эквивалентная температура, гололедно-ветровые величины, критерии суровости погоды (по Бодману) и другие, относятся к многофазовым.

Оценка успешности многофазовых прогнозов производится на основе массового статистического материала, позволяющего разработать матрицу сопряженности многофазовых прогнозов (табл. 6.2).

В табл. 6.2 частоты сопряжения n_{ij} есть числа случаев соответствия признаков Π_j (прогнозировалось) и Φ_i (фактически было);

Таблица 6.2

Матрица сопряженности многофазовых прогнозов

Фактически наблю- далось, Φ_i	Прогнозировалось, Π_j					$\sum_{j=1}^m n_j$
	Π_1	Π_2	Π_3	$\dots \Pi_j \dots$	Π_m	
Φ_1	n_{11}	n_{12}	n_{13}	n_{1j}	n_{1m}	n_{10}
Φ_2	n_{21}	n_{22}	n_{23}	n_{2j}	n_{2m}	n_{20}
Φ_3	n_{31}	n_{32}	n_{33}	n_{3j}	n_{3m}	n_{30}
$\dots \Phi_i \dots$	n_{i1}	n_{i2}	n_{i3}	n_{ij}	n_{im}	n_{i0}
Φ_n	n_{n1}	n_{n2}	n_{n3}	n_{nj}	n_{nm}	n_{n0}
$\sum_{i=1}^n n_i$	n_{01}	n_{02}	n_{03}	n_{0j}	n_{0m}	N

n_{i0} — фактически наблюдавшееся число случаев выбранных фаз погоды Φ_i ; n_{0j} — число прогнозов Π_j тех же фаз погоды.

Разработка многофазовой матрицы сопряженности требует достаточно *представительной выборки* N . Выбор необходимого объема информации — задача достаточно сложная и обусловлена достижением цели. Один из возможных вариантов расчета величин N предложен Ю. Кюном. Используется формула вида

$$N \geq \frac{z^2(1-p)}{e^2 p}, \quad (6.47)$$

где z — параметр, определяемый из таблицы стандартного нормального распределения ($z = (\bar{x} - \mu) / \sigma_x$); e — относительная ошибка прогнозирования (или иной расчетной операции); p — вероятность опасной градации, которая включается в методику прогнозирования.

Применительно к многофазовым прогнозам скорости ветра: $p = 0,1$ (10 % опасные скорости ветра); e — относительная ошибка прогноза не более 20 % (ошибка прогноза скорости ветра $V \geq 15$ м/с не должна превышать 3 м/с). Выбор z находится из стандартных условий при известной доверительной вероятности $1 - \alpha$:

$1 - \alpha$	0,90	0,95	0,99	0,999
z	1,645	1,960	2,576	3,291

Расчеты показывают: в этом случае необходимый объем выборки $N = 864$. Рекомендуются следующая представительность статистической выборки: при $N = 30$ результаты могут быть удовлетворительными, при $N \geq 100$ — хорошими.

Все множество значений данной метеорологической величины группируется в виде ряда фаз (градаций, категорий). Такие ряды метеорологической информации, включая прогнозы, называются *категоризованными*.

Вся область значений в выборке N группируется в *непересекающиеся интервалы*, т.е. в *градации*. Число градаций κ зависит от объема выборки N :

- 1) $\kappa \leq 5 \lg N$ при этом $6 \leq \kappa \leq 20$;
- 2) $\kappa \leq 10 \lg N$ при этом $5 \leq \kappa \leq 30$;
- 3) N 50 100 500 1000 10 000
 κ 8 10 13 15 20;
- 4) $\kappa \leq \sqrt{N}$.

Другие формулы для расчета k приведены в „Практикуме”.

Большое число градаций снижает обеспеченность частот n_{ij} на границах распределения, что требует „объединения” частот на крайних градациях.

Число градаций данной метеорологической величины, подлежащей оценке успешности, может быть предложено самим потребителем. Это связано с тем, что действия, которые предпринимает потребитель согласно тексту прогноза, могут включать более широкий диапазон значений метеорологических величин, чем это принято в синоптической практике.

Ширина градации определяется как величина

$$l = \frac{X_{\text{макс}} - X_{\text{мин}}}{k}, \quad (6.48)$$

где $X_{\text{макс}}$ и $X_{\text{мин}}$ — экстремальные значения метеорологической величины в данной выборке.

При оценке качества многофазовых прогнозов используемый статистический материал (прогностические и фактические значения) должен отвечать известным *принципам Фишера*.

1. *Повторяемость* — одно и то же состояние погоды, равно как и сопряженность признаков Π и Φ , должно повторяться многократно. Это свойство слабо прослеживается для редких состояний погоды.

2. *Сбалансированность* — требование равного числа случаев возможных сочетаний признаков. При известной повторяемости значений метеорологических величин сбалансированность выполняется для центральной области кривой распределения.

3. *Рандомизация* — порядок представления значений метеорологической величины, сведенных в определенные группы, градаций, фазы. Это свойство статистического ряда позволяет привлечь статистические принципы к анализу результатов оценки качества многофазовых прогнозов.

4. *Чувствительность* — число прогнозов должно превосходить некоторый минимум, ниже которого никаких разумных выводов сделать нельзя. Иначе, если выборка слишком мала, оценка успешности прогнозов может оказаться нечувствительной.

5. *Однородность* — идентичность условий прогнозирования. Определенная однородность выражается в том, что рассматривается прогноз одной и той же метеорологической величины (температуры воздуха, скорости ветра и др.) или одного и того же явления погоды (грозы, шквала, метели и др.). Здесь невозможно достичь идеальной однородности всей выборки прогнозов, подлежащих оценке. Различия от-

мечаются как в синоптических процессах, так и в самой физической природе формирования метеорологических полей и явлений погоды.

Принцип однородности может быть достигнут в большей мере при оценке качества прогнозов в случаях, приходящихся на одни и те же синоптические объекты и определенные условия погоды. Например: 1) оценка успешности прогнозов температуры воздуха или скорости ветра в тылу циклона после прохождения холодного фронта, 2) оценка успешности прогнозов заморозков при адвекции холода или при радиационном понижении температуры, 3) оценка успешности прогнозов фронтальных гроз в зависимости от типа атмосферного фронта и в ряде других относительно однородных атмосферных процессов.

Для оценки успешности многофазовых прогнозов предварительно дается статистическая оценка распределения частот в матрице сопряженности (см. табл. 6.2). Анализируются условные вероятности двух типов:

— условная вероятность первого типа

$$q_{ij} = q(\Phi_i / \Pi_j) = n_{ij} / n_{0j}; \quad (6.49)$$

— условная вероятность второго типа

$$\tilde{q}_{ij} = q(\Pi_j / \Phi_i) = n_{ij} / n_{i0}. \quad (6.50)$$

Рассчитанные на основании формул (6.49) и (6.50) матрицы сопряженности условных вероятностей q_{ij} и $\tilde{q}_{ij}$ позволяют соответственно установить: 1) насколько полно осуществляется фаза Φ_i в соответствии с текстом Π_j ; 2) какая формулировка прогноза Π_j в наибольшей степени отвечает данной фазе Φ_i .

С помощью условных вероятностей типа $\tilde{q}_{ij}$ определяется доля оправдавшихся прогнозов при $i = j$:

$$r^* = 1 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{q}_{i \neq j}. \quad (6.51)$$

Доля успешности приходится только на те прогнозы, которые полностью оправдались и которым соответствуют частоты n_{11} , n_{22} , ..., n_{nm} (см. табл. 6.2).

Успешность многофазовых прогнозов устанавливается на основании следующих критериев: 1) информационное отношение ν , 2) коэффициент сопряженности по А. А. Чупрову, 3) мера Крамера, 4) меры Гутмана, 5) меры Гудмэна—Крускала, 6) меры Кендалла.

В приложении 3 приведена достаточно полная *сводка критериев* успешности прогнозов. Как в нашей стране, так и за рубежом они используются в решении ряда метеоролого-экономических задач.

Для оценки успешности многофазовых прогнозов необходимо учитывать то обстоятельство, что в отличие от альтернативных они содержат большое число „ошибок-пропусков” (ошибки первого рода) и „ошибок-страховок” (ошибки второго рода). Первые из них есть результат того, что прогнозировались не опасные значения метеорологической величины X , а фактические, наблюдались опасные или особо опасные ($P(X) < \Phi(X)$). Вторые отражают обратное соотношение $P(X) > \Phi(X)$. Экономические последствия этих ошибок различны. Ошибки, связанные с пропуском явления или неблагоприятного состояния, условия погоды, несут потребителям прямые потери. Ошибки, отражающие перестраховку прогнозиста, вынуждают потребителя к расходам на защитные мероприятия, которые оказываются излишними. Отсюда следует, что для оценки успешности многофазовых прогнозов *с позиции интересов потребителя* необходима такая система оценки, которая учитывала бы *весовую значимость ошибок прогнозирования*. Иначе, ошибкам прогноза должны быть приписаны определенные „веса” a_{ij} , которые можно упорядочить соответствующей матрицей. При этом безошибочные прогнозы получают максимальную значимость $a_{11} = a_{22} = \dots = a_{nm} = 1$ (или 100 %). Наряду с этим ошибочным прогнозам приписывается тот „вес”, который они „заслуживают” согласно определениям конкретного потребителя, который в меру специфики своей работы несет издержки от такого рода прогнозов.

Матрица весов, таким образом, есть производное от реакции потребителя на последствия ненадежности прогностической информации. Веса при ошибках-пропусках и веса при ошибках-страховках показывают, насколько снижается метеорологическая успешность специализированных прогнозов.

Посредством учета весов осуществляется справедливое ужесточение требований к качеству прогнозов, которые потребитель использует с полным доверием.

Матрицы весов разделяют на два вида: *симметричные* и *асимметричные*.

Так, для альтернативных прогнозов могут быть использованы следующие симметричные матрицы весов:

— *безразличное* отношение к ошибкам

$$a_{ij} = \begin{pmatrix} & \Phi & \overline{\Pi} \\ \Phi & 1 & 0 \\ \overline{\Phi} & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

— умеренные требования к ошибкам

$$a_{ij} = \begin{pmatrix} & \Phi & \overline{\Pi} \\ \Phi & 1 & -0,5 \\ \overline{\Phi} & -0,5 & 1 \end{pmatrix};$$

— жесткие требования к ошибкам

$$a_{ij} = \begin{pmatrix} & \Phi & \overline{\Pi} \\ \Phi & 1 & -1 \\ \overline{\Phi} & -1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (6.52)$$

Возможны промежуточные требования к ошибочным прогнозам.

Заметим, что при оценке общей оправдываемости альтернативных прогнозов (см. п. 6.4) ошибочные прогнозы, выраженные частотами n_{12} и n_{21} , исключаются, т. е. используется матрица весов как „безразличное отношение к ошибкам”. Привлечение к оценкам безразличных весов $a_{12} = a_{21} = 0$ не отвечает требованиям специализированного метеорологического обеспечения. Такая оценка неоправданна для прогнозов как „безвредных” не оправдана (см. критерий „общая оправдываемость”).

При альтернативной оценке прогнозов возможны иные матрицы весов:

$$a_{ij} = \begin{pmatrix} & \Phi & \overline{\Pi} \\ \Phi & 1 & -0,5 \\ \overline{\Phi} & -0,1 & 1 \end{pmatrix}, \quad a_{ij} = \begin{pmatrix} & \Phi & \overline{\Pi} \\ \Phi & 1 & -1 \\ \overline{\Phi} & -0,5 & 1 \end{pmatrix} \text{ и другие.}$$

Оценка успешности многофазовых прогнозов несколько усложняется с ростом порядка матрицы. Симметричная матрица весов для трехфазового прогноза была предложена Г. В. Грузой:

$$a_{ij} = \begin{pmatrix} & \Pi_1 & \Pi_2 & \Pi_3 \\ \Phi_1 & 100 & -50 & -100 \\ \Phi_2 & 0 & 100 & 0 \\ \Phi_3 & -100 & -50 & 100 \end{pmatrix}. \quad (6.53)$$

С учетом требования потребителя в условиях его постоянной зависимости от условий погоды матрицы весов являются асимметричными. Приводимая ниже матрица рассматривается применительно к прогнозу скорости ветра $\Pi_1(v_1) < \Pi_2(v_2) < \dots < \Pi_4(v_4)$:

$$a_{ij} = \left\{ \begin{array}{ccccc} & \Pi_1 & \Pi_2 & \Pi_3 & \Pi_4 \\ \Phi_1 & 1,0 & 0,75 & 0,50 & 0,25 \\ \Phi_2 & -0,25 & 1,0 & 0,25 & 0,12 \\ \Phi_3 & -0,75 & -0,25 & 1,0 & 0,06 \\ \Phi_4 & -1,0 & -0,5 & -0,25 & 1,0 \end{array} \right\}. \quad (6.54)$$

Матрица весов рассматривается как „цена” использования прогнозов, дифференцированная по степени ошибочности. На ошибочные прогнозы накладываются „штрафы”. При больших ошибках-пропусках штрафы снижают „цену” использования прогноза до нуля или до ущерба потребителю (отрицательные значения „штрафа”). Матрица весов, как видим, приобретает вполне определенный смысл и называется *производственной матрицей весов*. Элементы производственной матрицы весов определяются по формуле

$$a_{ij} = 1 - A\Delta X_{ij}, \quad (6.55)$$

где $A = A(s, \Delta X)$ — некоторая положительная величина, характеризующая зависимость потребителя от условий погоды; $\Delta X_{ij} = \Pi(X)_j - \Phi(X)_i$ — ошибки прогнозирования. Величина s при A отражает потери потребителя.

Если раскрыть формулу (6.55), то веса осуществившихся прогнозов, согласно матрице сопряженности, устанавливаются следующим образом:

$$a_{ij} = 1 + \frac{s_{\max} \Delta X}{s_{\text{доп}} \Delta X_{\max}} \quad \text{при } \Delta X < 0, \quad (6.56)$$

$$a_{ij} = 1 - \frac{s_{\max} \Delta X}{s_{\text{доп}} \Delta X_{\max}} \quad \text{при } \Delta X > 0, \quad (6.57)$$

где $s_{\max}$ — максимальные потери потребителя соответственно при ошибках-пропусках ($\Delta X < 0$) и ошибках-страховках ($\Delta X > 0$); $s_{\text{доп}}$ — допустимые (минимально возможные) потери при тех же ошибках; $\Delta X_{\max}$ — максимальные ошибки прогноза.

Ошибки-пропуски и ошибки-страховки определяются в зависимости от прогнозируемой метеорологической величины или другой характеристики погоды (табл. 6.3).

Критерием качества специализированных многофазовых прогнозов является *хозяйственная (производственная) успешность*, определяемая по формуле¹

$$p_m = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} n_{ij}. \quad (6.58)$$

Таблица 6.3

Определение знака ошибок-пропусков и ошибок-страховок

Характеристика ошибки прогноза	Скорость ветра	Температура воздуха выше 20 °С	Температура воздуха ниже 8 °С	Температура воздуха ниже -20 °С	ВНГО, МДВ	Количество осадков
Ошибка-пропуск	$\Delta X < 0$	$\Delta X < 0$	$\Delta X > 0$	$\Delta X > 0$	$\Delta X > 0$	$\Delta X < 0$
Ошибка-страховка	$\Delta X > 0$	$\Delta X > 0$	$\Delta X < 0$	$\Delta X < 0$	$\Delta X < 0$	$\Delta X > 0$

Примечание. Здесь $\Delta X = X_{\text{пр}} - X_{\text{ф}}$, где $X_{\text{пр}}$ — прогнозируемое значение метеорологической величины; $X_{\text{ф}}$ — ее фактическое значение; ВНГО — высота нижней границы облаков; МДВ — метеорологическая дальность видимости.

Аналогично для инерционных прогнозов

$$p_{\text{ин}} = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} n_{ij}^{\text{ин}}, \quad (6.59)$$

где a_{ij} — элементы матрицы весов для данного потребителя; n_{ij} и $n_{ij}^{\text{ин}}$ — частоты реализации сопряжений $\Pi \sim \Phi$ соответственно при методических и инерционных прогнозах.

Матрицы сопряженности и критерии успешности есть доступный для синоптической практики механизм совершенствования методов прогноза, поскольку ошибочные прогнозы, отраженные в локальных матрицах сопряженности, есть следствие влияния как фоновых, так и местных особенностей на развитие атмосферных процессов.

Разрабатываемые в синоптической практике матрицы сопряженности многофазовых и альтернативных прогнозов подлежат

¹ Полный алгоритм расчета p_m и $p_{\text{ин}}$ с примерами приведен в „Практикуме по экономике гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства” Л. А. Хандожко (1993 г.).

архивации как уникальные сведения перспективного характера. Каждая из матриц сопряженности $\|n_{ij}\|$ образует отдельную выборочную совокупность $\Omega(\|n_{ij}\|)$ и содержит численное статистическое отображение адекватности $\Pi_j \sim \Phi_i$ при осуществлении ограниченного множества синоптических ситуаций.

6.6. Оценка успешности численных прогнозов метеорологических величин

Современные прогнозы полей метеорологических величин (в основном давления воздуха и геопотенциальных высот) являются обязательным прогностическим материалом при разработке прогнозов погоды или ее отдельных составляющих.

Оценка успешности численных прогнозов может быть выполнена и без представления их в матричном виде. Для этого применяется ряд *показателей успешности* при наличии статистически обеспеченной выборки по территории прогнозирования. Значения прогнозируемых метеорологических величин, выраженных в i -х узлах сетки, сопоставляются с фактическими значениями. Используются следующие показатели.

1. Средняя относительная ошибка прогноза (с точностью до 0,01)

$$\varepsilon = \delta / \delta_{\Phi}, \quad (6.60)$$

где δ — средняя абсолютная ошибка прогноза:

$$\delta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |X_{\text{пр}} - X_{\Phi}|_i,$$

δ_{Φ} — средняя абсолютная фактическая изменчивость, равная:

$$\delta_{\Phi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |X_{\Phi} - X_{\text{и}}|_i.$$

При этом $X_{\text{пр}}$ — прогностическое значение метеорологической величины, X_{Φ} — фактическое значение метеорологической величины на момент прогноза, $X_{\text{и}}$ — исходное значение метеорологической величины в момент разработки прогноза.

Чем меньше ε , тем лучше прогноз.

2. Отношение прогностической изменчивости к фактической (с точностью до 0,01)

$$\tilde{\epsilon} = \delta_{\text{пр}} / \delta_{\phi}, \quad (6.61)$$

где $\delta_{\text{пр}}$ — средняя абсолютная прогностическая изменчивость:

$$\delta_{\text{пр}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |X_{\text{пр}} - X_{\text{н}}|_i.$$

Если $\tilde{\epsilon} < 1$, то прогноз дает систематическое занижение изменчивости; в случае $\tilde{\epsilon} > 1$ — завышение.

3. Коэффициент корреляции между прогностическими и фактическими изменениями (с точностью до 0,01)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (\varphi_{\phi} - \varphi_{\text{н}})_i (\varphi_{\text{пр}} - \varphi_{\text{н}})_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\varphi_{\phi} - \varphi_{\text{н}})_i \sum_{i=1}^N (\varphi_{\text{пр}} - \varphi_{\text{н}})_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\varphi_{\text{пр}} - \varphi_{\text{н}})_i^2 - \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N (\varphi_{\text{пр}} - \varphi_{\text{н}})_i \right]^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^N (\varphi_{\phi} - \varphi_{\text{н}})_i^2 - \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N (\varphi_{\phi} - \varphi_{\text{н}})_i \right]^2}}. \quad (6.62)$$

Используется ряд показателей оправдываемости векторных величин (скорость ветра, перемещение барических образований и др.), для расчета которых используются прогностические карты приземного давления и карты АТ. Они приведены в „Практикуме”.

6.7. Региональная оценка успешности альтернативных прогнозов

Региональная оценка прогнозов выполняется для обширных территорий страны или континентальных регионов в целях исследования *крупномасштабных пространственных характеристик успешности*. Регион включает в себя ряд территорий административного подчинения. Возможно выделение части территории горной, низинной, прибрежной (морской) в виде отдельного частного региона.

Региональная оценка требует многолетнего статистического материала по прогнозам явлений погоды и метеорологических величин. Для этого используются прогнозы по отдельным пунктам, в которых имеются прогностические подразделения Росгидромета. Матрицы сопряженности прогнозов разделяют по сезонам, произ-

водственным периодам или иным отрезкам времени, отвечающим специфике производственной деятельности потребителя или целой отрасли экономики.

Преимущественно используются следующие критерии: критерий Хайдке S , критерий надежности прогнозов по Н. А. Багрову H , критерий точности прогнозов по Л. А. Обухову Q , информационное отношение ν , показатель взаимной сопряженности признаков по А. А. Чупрову K и меры Гудмэна—Крускала $\tau(P/\Phi)$, $\tau(\Phi/P)$, τ .

Расчетные значения критерия успешности картируются. Изолинии успешности выбираются в зависимости от пределов изменения данного критерия $[0; 1]$ или $[1; -1]$. Желательно, чтобы *пространственная плотность* информации была достаточной для обеспечения надежности выводов. В связи с рассредоточенностью прогностических центров пока не удастся получить высокую плотность информации о пространственной успешности прогнозов. *Средняя рассредоточенность* пунктов прогнозирования определяется по формуле

$$\bar{r} = \sqrt{\frac{S}{\pi N^*}}, \quad (6.63)$$

где S — площадь единичной территории, N^* — число прогностических пунктов в пределах площади S .

Полученные результаты по региональной оценке носят квазипостоянный характер. Они рассматриваются как *нормальные условия* при выборе оптимальных хозяйственных решений в пределах данного региона. Прогнозы погоды по пункту и территории имеют свою специфику реализации, которая связана с различными стационарными видами работ и транспортными задачами потребителей. В зависимости от надежности прогнозирования (степени успешности прогнозов) изменяется *риск хозяйственного использования прогнозов* при планировании производственной деятельности.

В каждой стране региональная оценка прогнозов устанавливается в целях решения таких задач, как защита от опасных явлений погоды при размещении различных отраслевых производств и учет метеорологического риска при планировании предотвращения материальных и моральных потерь от стихийных бедствий.

Таким образом, центральной задачей региональной оценки является учет достижений прогностической науки в разработке более эффективных технологий использования прогнозов.

Для ЕТР выполнены региональные оценки прогноза гроз, гололеда, заморозков и других условий погоды.¹

Для этого использовались прогнозы за 20-летний период (1970—1980-е годы). Общая сумма прогнозов скорости ветра по ЕТР составила около 60 тысяч, прогнозов гроз — примерно 30 тысяч. Успешность прогнозов, выполненная по критериям Багрова H и информационному отношению ν , приведена на рис. 6.2 и 6.3.

Погодные условия не полностью детерминированы с синоптическими процессами. Тем самым прогнозы отдельных состояний погоды по своей природе носят вероятностный характер. Прогнозист или рискует пропустить явление, или допускает риск перестраховки. Эти особенности прогнозирования отражаются в региональном распределении успешности прогнозов. Основная причина этого и заключается в сложности прогнозирования синоптических процессов, которые в „погоде” проявляются по-разному в различных регионах ЕТР.

Картированные критерии оценки успешности позволяют выделить регионы повышенной ($H \geq 0,5$; $\nu \geq 0,3$) и соответственно пониженной успешности прогнозов. Особый научный и практический интерес вызывает широкая зона пониженной успешности прогнозов скорости ветра и гроз (см. рис. 6.2 и 6.3). Аналогичные зоны пониженной успешности в тех же регионах были обнаружены для прогнозов гололеда и заморозков. Такого рода региональную аппроксимацию успешности обусловила сама природа. Тем самым зона пониженной успешности прогнозов рассматривается как зона повышенной сложности прогнозирования (зона ПСП). В пределах зоны ПСП достаточно высокая повторяемость ошибок первого (n_{12}) и второго (n_{21}) рода. Прогностическая информация по этой части ЕТР содержит повышенный метеорологический риск пропуска опасного явления. Следовательно, зона ПСП выступает зоной повышенного риска, что необходимо постоянно учитывать в хозяйственной практике, а также организациями МЧС в оперативном и перспективном планировании мероприятий специализированного назначения.

Исследование степени адекватности метеорологических прогнозов составляет одну из важнейших задач экономической метеорологии. Подтверждением тому служат многочисленные исследования в этой области метеорологии отечественных (М. А. Омшанский, А. А. Чупров, Н. А. Багров, М. А. Обухов, Г. В. Груза, Е. Е. Жуковский) и зарубежных (Н. Грингортен, Дж. Томпсон, Л. А. Гутман,

¹ Полная характеристика распределения успешности прогнозов на ЕТР дана в работе Л. А. Хандожко „Региональная оценка успешности и экономической полезности метеорологических прогнозов” (СПб., 1994).

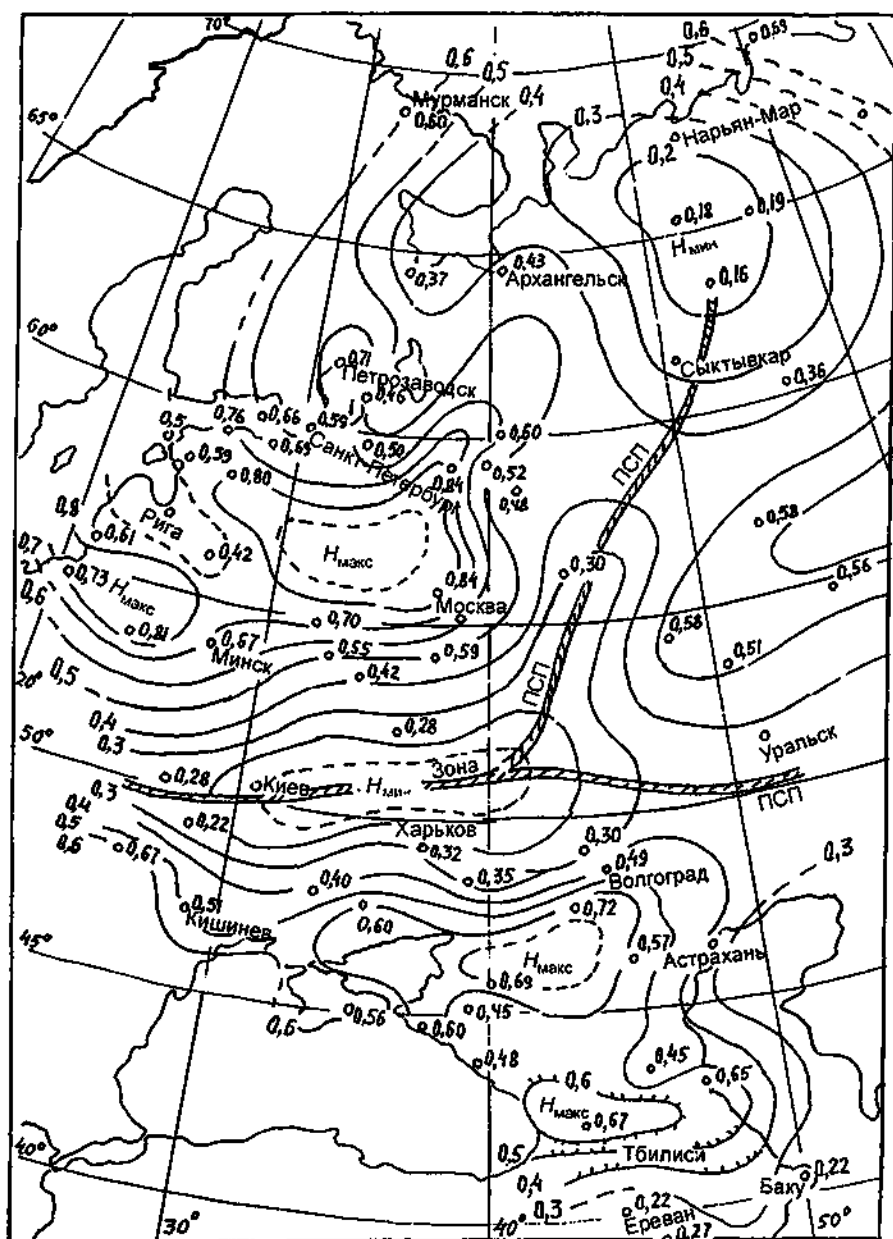


Рис. 6.2. Распределение критерия „надежность прогнозов” по Н. А. Багрову H — меры успешности прогнозов скорости ветра по европейской территории России и сопредельным странам.

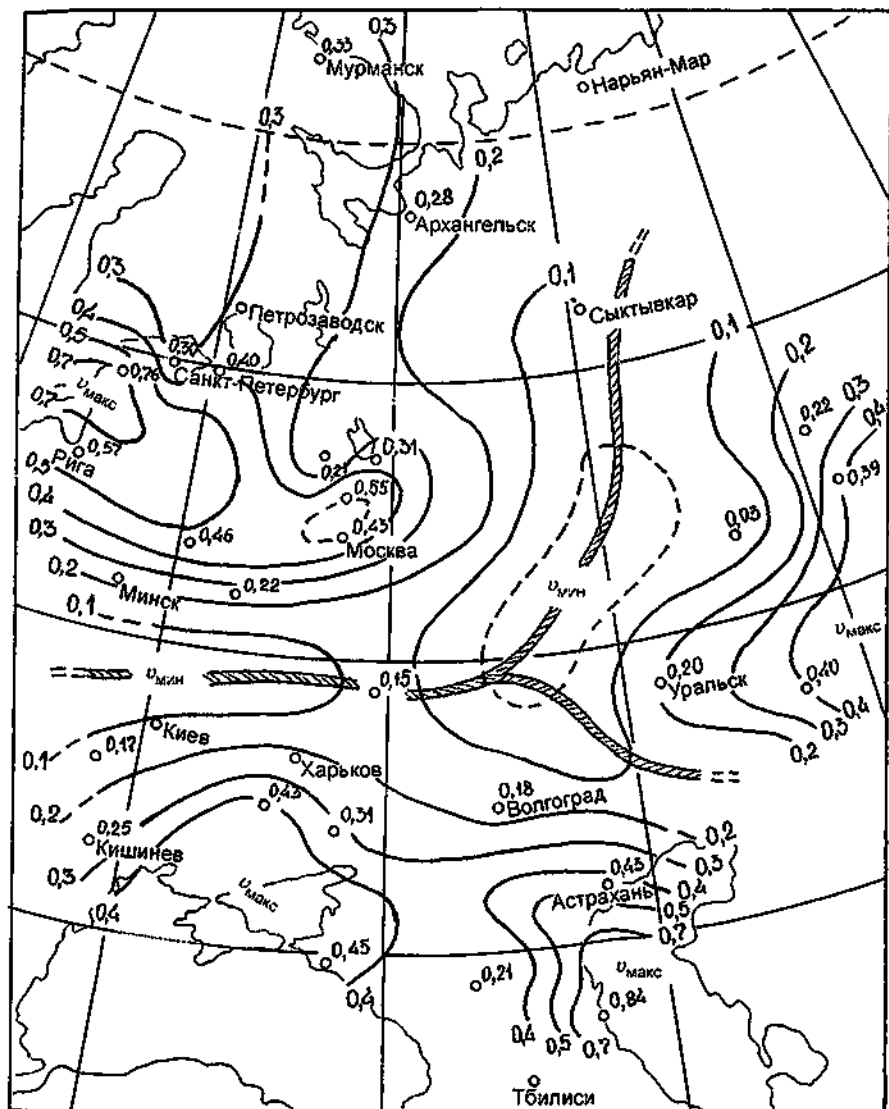


Рис. 6.3. Распределение информационного отношения v — меры успешности прогнозов гроз по европейской территории России и сопредельным странам.

Е. Х. Крускал) ученых, подчеркивавших экономическую значимость роста успешности метеорологических прогнозов.

Объективный анализ результатов оценки успешности прогнозов и получаемые выводы направлены на снижение главным образом

опасных промахов (пропусков ОЯ и НГЯ) и перестраховочного прогнозирования. Ошибки-страховки нередко проявляются как результат субъективной психологической реакции прогнозиста, над которым довлеет „опасность” пропуска явления, грозящая не только его квалификационной оценке.

Признано, что достоверная информация об ошибочности и успешности прогнозов выступает как „мера прогресса в развитии и уточнении методов прогноза” (С. Лейс, 1987).

6.8. Принципы использования критериев успешности альтернативных и многофазовых прогнозов

1. Критерий „общая оправдываемость” r используется как приближенная мера качества прогнозов явлений погоды или прогнозов погоды в целом.

2. Каждый из таких критериев успешности, как H , S , Q и ν , отражает характерные свойства статистической взаимосвязи признаков Π и Φ . Поэтому их необходимо использовать одновременно и давать комплексное заключение об успешности.

Так, критерии S и H устанавливают преимущество методического прогноза относительно инерционного и случайного. Критерий Q показывает „близость” методического прогноза к идеальному. В свою очередь на основании критерия ν определяется, насколько снижается энтропия прогнозируемого явления относительно климатической энтропии.

3. Критерии, основанные на показателе Пирсона $\chi^2(K, \nu, C)$, используются как дополнение для оценки успешности прогнозов явлений или условий погоды, которые встречаются относительно редко и для которых велика вероятность случайной оценки $p_{сл}$.

4. Критерии λ и ϵ , широко применяемые в зарубежной синоптической практике, следует использовать в целях получения дополнительной информации при разработке новых методов прогнозирования явлений и условий погоды.

5. Для оценки успешности многофазовых прогнозов используются критерии ν , K и τ , отражающие соответствующие качества прогнозов.

Глава 7

ОЦЕНКА УСПЕШНОСТИ СРЕДНЕСРОЧНЫХ И ДОЛГОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ

7.1. Оценка успешности среднесрочных прогнозов

Наиболее распространенными являются среднесрочные прогнозы максимальной и минимальной температуры воздуха на 5 и 10 сут и прогноз количества осадков на 5 сут.

Для оценки прогнозов экстремальной температуры воздуха рассматривают следующие статистические показатели.

1. Средняя абсолютная ошибка прогноза

$$\delta(T) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |T_{\text{пр}} - T_{\text{ф}}|_i. \quad (7.1)$$

2. Относительная ошибка

$$\varepsilon(T) = \frac{\sum_{i=1}^N |T_{\text{пр}} - T_{\text{ф}}|_i}{\sum_{i=1}^N \delta_i}, \quad (7.2)$$

где $|T_{\text{пр}} - T_{\text{ф}}|_i$ — абсолютная ошибка прогноза экстремальной температуры воздуха в течение 5- или 10-дневных прогнозов, δ_i — климатическая изменчивость температуры для 5- или 10-дневки данного месяца в выбранном пункте.

Оценка оправдываемости количества осадков на 5 сут осуществляется посредством привлечения „веса” оправдываемости (%) (рис. 7.1). Результат успешности находится как среднее значение критерия „оправдываемость”:

$$\tilde{p} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i a_i, \quad (7.3)$$

где a_i — вес (%) для данного i -го прогноза.

7.2. Оценка успешности долгосрочных прогнозов

Для оценки прогнозов погоды на месяц, в которых содержатся ожидаемые значения аномалий средней месячной температуры воздуха, значения средней месячной температуры воздуха по территории и количества осадков, используются следующие положения.

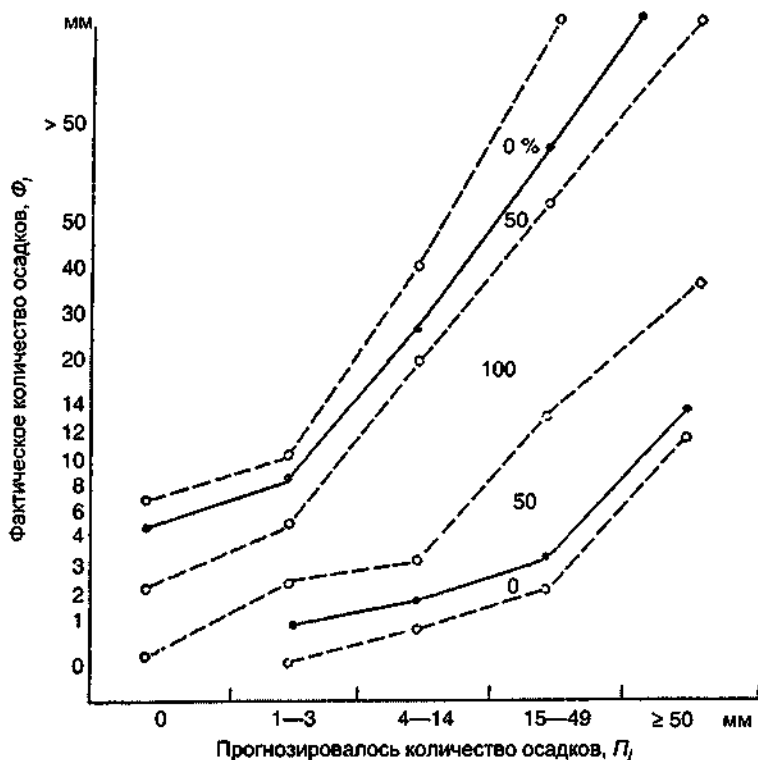


Рис. 7.1. Оправдываемость (%) прогнозов количества осадков.

Аномалии температуры воздуха выбираются из принятых условий (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Значения и характеристика аномалии температуры воздуха ΔT

ΔT °C	Характеристика
$\left. \begin{array}{l} 0...1 \\ 0...-1 \end{array} \right\}$	Норма (около нормы)
$\left. \begin{array}{l} 1...2 \\ 2...3 \end{array} \right\}$	Выше нормы
> 3	Выше нормы более чем на 3 °C
$\left. \begin{array}{l} -1...-2 \\ -2...-3 \end{array} \right\}$	Ниже нормы
< -3	Ниже нормы более чем на 3 °C

Успешность аномалий температуры воздуха определяется по *показателю аналогичности* (оценка качества прогнозов по знаку), предложенному Н. А. Багровым:

$$\rho = \frac{n_+ - n_-}{n_+ + n_-}, \quad (7.4)$$

где $n_+(n_-)$ — число станций (точек), в которых знаки прогнозируемой и фактической аномалий совпадают (не совпадают).

Величина ρ меняется от +1 (прогноз по знаку полностью оправдался во всех точках) до -1 (прогноз по знаку полностью не оправдался). При $\rho = 0$ прогноз на уровне случайного.

Другим критерием успешности является *показатель точности значения аномалии*

$$Q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\delta_i}{\sigma_i} \right)^2, \quad (7.5)$$

где N — общее число станций, по которым проверяется прогноз; $\delta_i = (A_{\text{пр}} - A_{\text{ф}})_i$ — ошибка прогноза аномалии на отдельной станции; σ_i — среднее квадратическое отклонение фактических аномалий.

Если $Q > 1$, ошибка методического прогноза больше ошибки климатического; если $Q = 1$, погрешности методического и климатического прогнозов равны; если $Q < 1$, ошибка методического прогноза меньше ошибки климатического.

Совместная оценка прогнозов по критериям ρ и Q выполняется согласно правилам, приведенным в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Оценка прогнозов по критериям ρ и Q

ρ	Q	Оценка прогнозов
≥ 0	≤ 1	Хорошо
≥ 0	> 1	Удовлетворительно по знаку
< 0	≤ 1	Удовлетворительно по значению
< 0	> 1	Плохо

Прогностические (x) и фактические (y) значения метеорологической величины, снятые в фиксированных точках, можно представить в виде рядов числовых значений. Корреляция этих рядов позволяет получить уравнение регрессии

$$u = ax + b.$$

В случае абсолютного совпадения обоих полей ($x_i = y_i$) будем иметь коэффициент корреляции $r_{xy} = 1$ и коэффициенты $a = 0$ и $b = 0$. Если конфигурации изолиний и географическое распределение градиентов примерно одинаковы, то $r_{xy} \approx 1$, $a \approx 1$ и $b \approx 0$.

По величине отклонений коэффициента регрессии a от единицы и свободного члена b от нуля можно судить об аналогичности сравниваемых полей. В итоге коэффициент аналогичности, согласно А. П. Козыреву, записывается в виде

$$\alpha = (1 - a)^2 \delta_y^2 + (\bar{y} - \bar{x})^2, \quad (7.6)$$

где δ_y^2 — среднее квадратическое отклонение поля y от поля x ; $\bar{x}$ и $\bar{y}$ — средние значения (уровни) поля y и x .

Слагаемое $(1 - a)^2 \delta_y^2$ характеризует сходство конфигурации изолиний и географического распределения градиентов сравниваемых полей. Второе слагаемое показывает разность значений их средних уровней. При полной аналогии двух полей $\alpha = 0$. Чем больше величина α отличается от нуля, тем значительнее различаются сравниваемые поля.

Оценка оправдываемости месячной суммы осадков выполняется по формуле

$$p(S) = \frac{1}{S} (100S_1 + 50S_2 + 0S_3), \quad (7.7)$$

где S — площадь, в пределах которой осуществляется оценка; S_1 — площадь, на которой прогноз оправдался на 100 %, т. е. ожидаемая и фактическая градации количества осадков совпали; S_2 — прогноз оправдался на 50 %, т. е. прогноз и факт оказались в соседних градациях; S_3 — площадь, на которой прогноз не оправдался.

Для оценки долгосрочных прогнозов могут использоваться обеспеченности (%) климатологических и методических прогнозов. Сравнение их показывает, насколько методические прогнозы предпочтительнее климатологических (А. А. Гирс, К. В. Кондратович, 1978).

Если рассматривать оценку двухфазовых условий прогноза метеорологической величины „выше нормы” и „ниже нормы”, то можно обобщить результаты прогнозирования в виде матрицы сопряженности. В этом случае допускается использование критерия качества Пирси—Обухова

$$T = \frac{n_{11}}{n_{01}} - \frac{n_{12}}{n_{02}} = \frac{n_{22}}{n_{02}} - \frac{n_{21}}{n_{01}}. \quad (7.8)$$

Согласно рекомендациям ВМО, для оценки успешности среднесрочных и долгосрочных прогнозов предложен критерий RMSSS (rot — mean — square skill score) — успешность по средней квадратической ошибке

$$\text{RMSSS} = 100\% \left(1 - \frac{RMS_f}{RMS_p} \right), \quad (7.9)$$

где RMS_f — средняя квадратическая ошибка методического прогноза; RMS_p — средняя квадратическая ошибка инерционного прогноза.

Если прогноз идеален, $\text{RMSSS} = 100\%$, если совпадает с инерционным, то $\text{RMSSS} = 0\%$.

Раздел IV

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

Глава 8

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МЕРЫ СТАТИСТИКИ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ

8.1. Элементы статистического анализа

Задачи, решаемые в экономической метеорологии, в значительной степени базируются на научных разработках, известных в *прикладной статистике*. Численным статистическим оценкам предшествует сбор необходимого *представительного объема* сведений — данных наблюдений, относящихся к области метеорологии, экономики или к социальной сфере.

В зависимости от решаемой задачи требуется определенная систематизация статистического материала, удобная для его представления и обработки. Главное состоит в выборе математического метода и модели решения задачи.

Особое внимание уделяется постановке статистической задачи. Это позволяет более верно упорядочить статистические данные одномерного или двумерного эмпирического распределения.

Статистические данные могут быть представлены в табличном или графическом виде. Более полный анализ их можно получить на основании комбинированной группировки данных.

Статистический анализ предполагает оценку основных статистик, выражающих полную характеристику одномерного или многомерного распределения выбранной случайной величины.

Ряд распределения случайной величины обладает свойствами, численными характеристиками которых являются так называемые *статистики*: *среднее*, или *средневзвешенное*, значение; *среднее квадратическое* (или дисперсия); *степень косости* и *степень крутости* кривой распределения. Наряду с этим определяются их стандартные ошибки.

В случае двух случайных величин X и Y исследуются свойства двумерного распределения. На основании выбранной системы пар $(X_i \text{ и } Y_j)$, фаз, градаций разрабатывается *таблица распределения*. В зависимости от выбранной ширины пары, градации таблицы распределения имеют размер от 2×2 до $n \times m$. Частоты n_{ij} совпадения X_i и Y_j распределяются по всей области таблицы распределения с различной плотностью.

Таблица распределения выражает связь между случайными величинами X и Y . Она является *корреляционной* и позволяет установить такие меры корреляционной связи, как коэффициент корреляции или корреляционное отношение.

Построение и исследование таблиц, содержащих частоты n_{ij} соответствия X_i и Y_j , зависят от решаемой задачи в области метеорологии, экономики или в социальной сфере. *Признаки* X и Y , которые принадлежат объекту изучения и рассматриваются как случайные проявления, могут выражать определенные *свойства, характерные черты, факторы, условия, решения, действия* и т. п. Выбор признаков, объема выборки и структура таблиц сопряженности — корреляционных таблиц — во многом предопределяют достоверность полученных результатов.

Таблица сопряженности разрабатывается для относительно однородных условий и условий, заметно различающихся (табл. 8.1).

Если частоты n_{ij} выстраиваются вдоль главной диагонали (символы $\boxed{x}$), то связь признаков детерминирована и коэффициент корреляции $r = 1$ или -1 . „Рассеяние” частот относительно главной диагонали (подключение частот n_{ij} с символами x и 0) показывает стохастическую связь признаков A_i и B_j и ее зависимость от дополнительно принятых условий C .

Таблицы сопряженности позволяют дать разностороннюю оценку зависимости случайных величин X и Y (достаточно полный свод

Таблица 8.1

Корреляционные таблицы для различных условий C_j

	C_1				C_2				C_3			
	B_1	B_2	B_3	B_4	B_1	B_2	B_3	B_4	B_1	B_2	B_3	B_4
A_1	$\boxed{x}$	x	x	0	$\boxed{x}$	x	0		$\boxed{x}$	x		
A_2	x	$\boxed{x}$	x	x	x	$\boxed{x}$	x	0	x	$\boxed{x}$	x	
A_3	x	x	$\boxed{x}$	x	0	x	$\boxed{x}$	x		x	$\boxed{x}$	x
A_4	0	x	x	$\boxed{x}$		0	x	$\boxed{x}$			x	$\boxed{x}$

показателей, критериев, мер связи приведен в приложении 3). Представленная в таблицах сопряженности информация о сопрягаемых признаках позволяет установить аналитическую запись их зависимости в виде эмпирической линии регрессии, т. е. корреляционное уравнение регрессии X по Y или Y по X .

Важным обстоятельством является необходимость предварительного логического допущения связи признаков с тем, чтобы выводы были физически объяснимыми.

Нередко при наличии достаточного объема сведений решается задача о зависимости выбранного фактора от двух и более переменных — устанавливается множественная линейная корреляция вида:

$$Y = aX + bZ + cD + dE + f. \quad (8.1)$$

В качестве аргументов функции Y выступают независимые между собой признаки (X, Z, D, E).

Изложенные подходы отражают простейшие модели *регрессионного анализа*.

Статистический анализ охватывает широкий круг задач, связанных с выбором методов более полного исследования сведений метеоролого-экономического или иного содержания.

При условии допущения линейного характера зависимости ряда переменных в репрезентативной выборке исследуются частные варианты коэффициента корреляции Пирсона; в этом случае используется *факторный анализ*. Для решения этой задачи разрабатываются полная корреляционная и полная факторная матрицы. Это позволяет обоснованно выделить те факторы, которые однозначно определяют зависимости в множестве сочетаний признаков.

Областью статистического анализа является изучение факторов, влияющих на изменчивость средних значений наблюдаемых случайных величин. Эту задачу решает *дисперсионный анализ*. При этом устанавливается общая оценка дисперсии во всей совокупности групп, выделенных в представительной выборке, дается оценка дисперсии по факторам (оценка дисперсии между группами) и оценка остаточной дисперсии (дисперсии внутри группы).

Большое внимание уделяется дискриминантному анализу, в основе которого лежит математический принцип разделения двух групп условий посредством привлечения определяющих их признаков. В итоге устанавливается дискриминантная функция

$$L = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2, \quad (8.2)$$

где a_0, a_1 и a_2 — эмпирические коэффициенты.

Уравнение (8.2) наилучшим образом разграничивает две группы условий (или иных состояний) среды, производственных действий и т.п. посредством двух признаков, факторов X_1 и X_2 .

Статистический анализ допускает использование ряда других подходов, способов и методов математической статистики.

В целях более полной статистической характеристики выбранного одномерного ряда рассчитываются не только основные статистики (среднее, среднее квадратическое, мода, медиана, показатели асимметрии), но и *функции распределения*.

В частности, широко используются построения кривых распределения Пирсона. Наряду с этим известны распределения непрерывных случайных величин, таких как *нормальное распределение* с плотностью вероятности

$$\varphi(x, x_0, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}}, \quad (8.3)$$

где x — конечное значение непрерывной случайной величины X ; x_0 — математическое ожидание (среднее значение) — центр рассеяния; σ — среднее квадратическое отклонение.

Широкое распространение в практике получило *логарифмически нормальное распределение*

$$\varphi(x, x_0, \sigma) = \frac{1}{cx\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(\lg x - \lg x_0)^2}{2\sigma^2}}, \quad (8.4)$$

где $c = \frac{1}{\lg e} = 2,303$.

Иногда используется *распределение Рэлея*

$$\varphi(x, x_0, \sigma) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x}{2\sigma}}. \quad (8.5)$$

Вместе с тем допускается использование равномерного распределения плотности (закон равной вероятности)

$$\varphi(x, x_0, \sigma) = \frac{1}{x_2 - x_1} \quad \text{при } x_1 < x < x_2, \quad (8.6)$$

где x_1 и x_2 — предельные (крайние) значения интервала случайных величин.

Возможно использование других законов распределения случайных величин (Максвелла, Симпсона, Коши и др.)

Природа и человеческая деятельность изобилуют самыми разнообразными проявлениями.

Это могут быть различные состояния природы, такие как температура воздуха, скорость ветра, высота нижней границы низких облаков, загрязнение атмосферы данным ингредиентом и т. п. Такого рода метеорологические условия подвержены значительным колебаниям и во многом обусловлены процессами, которые протекают в атмосфере и также могут рассматриваться с позиции стечения случайных обстоятельств.

Все перечисленные проявления являются *случайными величинами*, значения которых зависят от случая и для которых может быть определена функция распределения вероятностей.

Разнообразие случайных величин наблюдается в хозяйственной практике: различного вида затраты, потери по гидрометеорологическим условиям и ряд других случайных величин производственного, технического и технологического характера.

8.2. Априорные и апостериорные вероятности

Задачи, решаемые в экономической метеорологии, требуют знания вероятностных характеристик осуществления фактических и прогностических метеорологических величин и явлений погоды. Их вероятностная природа рассматривается как случайное проявление любого состояния среды. Здесь необходимо отвлечься от физической природы этих состояний и понимать их как отдельно взятые признаки, события, которые наблюдаются случайно, т.е. возникают в силу стечения обстоятельств. При таком подходе дается вероятностная оценка любого события как отдельно взятого в наборе событий.

Как в метеорологической среде, так и в целом в гидрометеорологической в качестве такого случайного события рассматриваются все явления (грозы, шквалы, туманы, гололед, ветровые или паводковые наводнения, ураганный ветер и др.), а также фиксированные значения метеорологических величин (температуры, ветра, поля давления и др.).

Кроме вероятностного описания метеорологических условий в некоторых задачах используются вероятности осуществления „событий”, относящихся непосредственно к области производства (реализация объемов сбыта данной продукции; нарушения в технологическом режиме, нестабильность транспортных потоков, потери по метеорологическим причинам и др.).

Теория вероятностей изучает такие *случайные события*, которые отвечают случайности их проявления и для которых возможна объективная оценка любой доли из всех случаев. При этом допускается осуществление необходимого комплекса условий:

- события проявляются в *одинаковых* условиях (природных, производственных и иных);

- обозначенные в ряду этих условий события *независимы*;

- события считаются равновероятными;

- события обладают статистической *устойчивостью* (устойчивость частот относительно среднего от выборки к выборке).

Следует заметить, что необходимые условия носят гипотетический характер и в реальных вариациях состояний природной среды не всегда полностью выполнимы. Здесь более сложные случайные проявления, чем это очевидно из тривиального примера о выпадающем числе очков на верхней грани игральной кости.

Классическое определение вероятности события A , т. е. $p(A)$, основано на понятии элементарных событий A , равновероятных и в равной мере однородных. Иначе

$$p(A) = n / N, \quad (8.7)$$

где n — число элементарных событий *данной однородности* или типа A ; N — общее число событий, содержащее A , наряду с другими событиями иной однородности.

Вероятность, как видим, события A проявляется через поведение его частоты. Если условия, сопутствующие событию A , проявляются N раз, а само событие осуществляется n раз, то при больших N частота n/N оказывается близкой к $p(A)$ (закон больших чисел).

Если число событий стремится к бесконечности, то вероятность $p(A)$ выступает уже в качестве *вероятностной меры* на множестве событий или на пространстве Ω , содержащем A .

В реальных оценках вероятность p устанавливается на основании конечного числа N , обеспечивающего требования достоверности статистической выборки.

Вероятность случайного события измеряется числом, заключенным между 0 и 1. Если событие при данном комплексе условий *невозможно*, его вероятность равна 0. При вероятности, равной 1, событие называется *достоверным*.

Рассмотрим два природных равновероятных события: дождь (Φ) и отсутствие дождя ($\bar{\Phi}$). За определенный период времени подготов-

лена статистически представительная выборка N , позволяющая установить вероятности каждой из выбранных фаз дождя $p(\Phi)$ и $p(\bar{\Phi})$:

$$p(\Phi) = \frac{n(\Phi)}{N} \quad (8.8)$$

и

$$p(\bar{\Phi}) = \frac{n(\bar{\Phi})}{N} = 1 - \frac{n(\Phi)}{N}. \quad (8.9)$$

Прежде всего для определения вероятностей $p(\Phi)$ и $p(\bar{\Phi})$ выбирается ряд эмпирических данных. Эмпирические данные — это свод статистических сведений как результат последовательной, непрерывной выборки исследуемого признака, действия, состояния и т.п. Поэтому полученные вероятности являются *эмпирическими*.

Поскольку вероятности наличия (Φ) или отсутствия ($\bar{\Phi}$) дождя отражают характерные черты погодных условий (в данном пункте, районе) за длительный период, они рассматриваются как *показатели климата* и называются *климатическими вероятностями*. Климатические вероятности могут быть установлены и для других явлений и условий погоды. Важным условием является сбор статистически надежного объема информации.

Если рассматривать полученные вероятности $p(\Phi)$ и $p(\bar{\Phi})$ с позиции теории вероятностей, то можно утверждать, что выбранные фазы дождя дополнительно ничем не обусловлены, кроме как „действиями” самой природы. Такие вероятности называются еще и *безусловными*.

При относительно малых числах N отношению n/N приписывают термин *повторяемость*. Использование термина *вероятность* в этих

случаях может оказаться недостаточно обоснованным, хотя и приемлемым для приближенной оценки. Например, может быть установлена повторяемость гроз в Санкт-Петербурге (рис. 8.1) за каждый год. В свою очередь повторяемость за период наблюдений (1981—1993 гг.) может уже рассматриваться как величина, близкая к вероятности p_{10} гроз в Санкт-Петербурге.

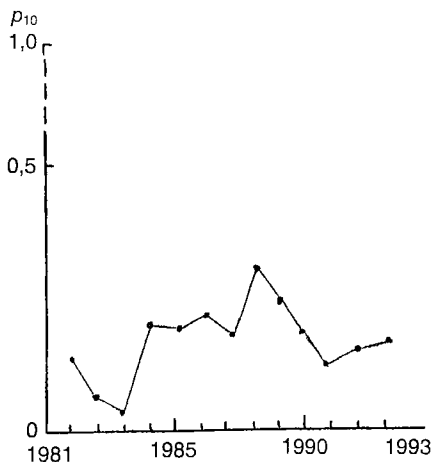


Рис. 8.1. Повторяемость p_{10} гроз в Санкт-Петербурге.

Вероятности $p(A)$, отражающие природные или иные события, определяются независимо от лица, выполняющего эти операции, т.е. являются результатом объективной оценки, а потому называются *априорными вероятностями* (известными до „опыта”, независимыми от „опыта”). Вероятности $p(\Phi)$ и $p(\bar{\Phi})$ являются априорными. В табл. 8.2 приведен пример априорных вероятностей скорости ветра для различных дискретных значений, используемых на практике.

Таблица 8.2

Априорная мера (вероятность) градаций скорости ветра

Φ_i м/с	$n(\Phi_i)$	$p(\Phi_i)$	$n(\Phi_i)$	$p(\Phi_i)$	$n(\Phi_i)$	$p(\Phi_i)$
$\Phi_1(0-5)$	158	0,158	}604	0,604	}820	0,820
$\Phi_2(6-11)$	446	0,446				
$\Phi_3(12-14)$	216	0,216	}314	0,314	}180	0,180
$\Phi_4(15-19)$	98	0,098				
$\Phi_5(20-24)$	68	0,068	}82	0,82		
$\Phi_6(\geq 25)$	14	0,014				
$\sum_i$	1000	1,000	1000	1,000	1000	1,00

Рассмотрим теперь, что некоторое условие погоды не только осуществляется (Φ) как реальность природы, но и прогнозируется (Π). Пусть в прогнозе допускается только одна из двух фаз условия погоды: „ождается”, „не ожидается”; „возможно”, „не возможно”. Обобщение таких прогнозов приведено в матрице сопряженности $\Pi_j \sim \Phi_i$ (табл. 8.3).

Таблица 8.3

Матрица сопряженности альтернативных прогнозов

Фактически наблюдалась погода, Φ_i	Прогноз Π_j		$\sum_{j=1}^m n_j$
	Π — неблаго- приятная пого- да ожидается	$\bar{\Pi}$ — неблагоприятная погода не ожида- ется (ождается благоприятная погода)	
Φ	n_{11}	n_{12}	n_{10}
$\bar{\Phi}$	n_{21}	n_{22}	n_{20}
$\sum_{i=1}^n n_i$	n_{01}	n_{02}	N

Выбранное явление или некоторое состояние как случайное событие подвергается статистическому анализу безотносительно к физической природе явления или условия погоды.

Будем полагать, что N — общее число случаев — отражает большую статистическую выборку. Тогда частоты n_{i0} , n_{0j} и n_{ij} (см. табл. 8.3) можно представить в вероятностной форме.

Безусловные (априорные) вероятности определяются следующим образом:

— вероятность неблагоприятного условия погоды (Φ)

$$p(\Phi) = \frac{n_{10}}{N}, \quad (8.10)$$

— вероятность благоприятных условий погоды ($\bar{\Phi}$)

$$p(\bar{\Phi}) = \frac{n_{20}}{N} = 1 - \frac{n_{10}}{N}. \quad (8.11)$$

Следуя правилу сложения вероятностей, запишем

$$p(\Phi) + p(\bar{\Phi}) = 1.$$

Вероятности текстов прогнозов находятся по тем же правилам:

— вероятность текста прогноза — явление ожидается (Π)

$$p(\Pi) = \frac{n_{01}}{N}, \quad (8.12)$$

— вероятность текста прогноза — явление не ожидается ($\bar{\Pi}$)

$$p(\bar{\Pi}) = \frac{n_{02}}{N}. \quad (8.13)$$

Сумма вероятностей $p(\Pi)$ и $p(\bar{\Pi})$ равна

$$p(\Pi) + p(\bar{\Pi}) = 1.$$

Частоты n_{ij} , характеризующие частоту сопряжения $\Pi_j \sim \Phi_i$, позволяют установить вероятность осуществления двух *совместных событий* Π и Φ . Такие вероятности называются *совместными* и выражаются отношением вида

$$p(\Pi, \Phi) = \frac{n_{ij}}{N}. \quad (8.14)$$

Информация, представленная формулой (8.14), есть набор предсказателей относительно явления Φ . Выбор предикторов Π_j осуществлен в рамках метода прогнозирования, и можно полагать, что они содержат информацию относительно явления Φ_i . Известно, что совместная вероятность осуществления событий Π и Φ равна произведению вероятности осуществления Π и условной вероятности осуществления Φ при известном Π , т. е.

$$p(\Pi, \Phi) = p(\Pi) \cdot p(\Phi / \Pi), \quad (8.15)$$

где $p(\Phi / \Pi)$ — вероятность осуществления явления Φ , если для предвидения его уже использована дополнительная информация в виде прогноза Π .

В силу того что вероятности $p(\Pi, \Phi)$ устанавливаются на основании проведенного „опыта” — разработки прогноза или приобретения иной дополнительной информации, они получили название *апостериорных*.

Априорные и апостериорные вероятности приведены в табл. 8.4 (пример).

Таблица 8.4

Априорные (безусловные) и апостериорные (совместные) вероятности

Фактически было, Φ_i	Сопряженность выражают частоты n_{ij}			Сопряженность выражают вероятности $p(\Pi, \Phi) \dots n_{ij}/N$		
	Прогноз Π_j		$\sum_{i=1}^m n_{ij}$	Прогноз Π_j		$\sum_{j=1}^n n_{ij}$
	Π	$\bar{\Pi}$		Π	$\bar{\Pi}$	
Φ	16	2	18	$p(\Pi, \Phi) = 0,16$	$p(\bar{\Pi}, \Phi) = 0,02$	$p(\Phi) = 0,18$
$\bar{\Phi}$	3	79	81	$p(\Pi, \bar{\Phi}) = 0,03$	$p(\bar{\Pi}, \bar{\Phi}) = 0,79$	$p(\bar{\Phi}) = 0,82$
$\sum_{i=1}^m n_{ij}$	19	81	100	$p(\Pi) = 0,19$	$p(\bar{\Pi}) = 0,81$	1,00

8.3. Условные вероятности

По завершении „опыта”, т. е. набора данных в виде статистически значимого ансамбля N изучаемых величин Π и Φ , можно установить вероятность иного рода. Сформулируем следующий вопрос: с какой вероятностью можно ожидать явление (условие погоды и т. п.) Φ , если об этом явлении уже имеется предварительная ин-

формация в виде прогноза Π . Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо рассмотреть ряд вероятностных условий.

Допустим, известны априорные вероятности осуществления каждой из двух фаз прогноза скорости ветра: $p(\Phi)$ при $V \geq 12$ м/с и $p(\bar{\Phi})$ при $V = 0—11$ м/с (табл. 8.5).

Таблица 8.5

Матрица сопряженности методических прогнозов скорости ветра при $V_{\text{шт}} \geq 12$ м/с. Санкт-Петербург, 1987—1990 гг.

Φ_i	Π_j		$\sum_j$
	$\Pi(V \geq 12)$	$\bar{\Pi}(V < 12)$	
$\Phi(V \geq 12)$	245	51	296
$\bar{\Phi}(V < 12)$	103	815	918
$\sum_i$	348	866	1214

Примечание. В научной литературе встречаются различные названия такого рода матриц: „матрица сопряженности для прогноза...”, „матрица сопряженности прогнозов и фактических состояний...” и др. Мы будем использовать термин „матрица сопряженности прогнозов...”.

По данным табл. 8.5 находим $p(\Phi) = n_{10}/N = 296/1214 = 0,244$ и $p(\bar{\Phi}) = n_{20}/N = 918/1214 = 0,756$. Эти вероятности могут быть интерпретированы как природные (климатические), полученные в результате обработки данных наблюдений за скоростью ветра в Санкт-Петербурге за четырехлетний период в холодную часть года.

Допустим альтернативу $(\Phi, \bar{\Phi})$ и рассмотрим два предиктора $(\Pi, \bar{\Pi})$ — предсказатели той или иной фазы скорости ветра.

В реальной синоптической практике прогноз скорости ветра является многофазовым. Число прогнозируемых градаций достаточно велико. Однако здесь рассматривается простая альтернатива в силу того, что на сегодня условия использования прогнозов в основном сложились именно в виде такой же альтернативы. Например, при $V = 0—11$ м/с регламентируются рабочие, производственные условия, а в случае $V_{\text{шт}} \geq 12$ м/с производство функционирует в режиме „защиты”. На основании матрицы сопряженности (см. табл. 8.5) можно установить вероятность осуществления текстов прогнозов Π и $\bar{\Pi}$.

Так,

$$p(\Pi) = \sum_{i=1}^n p(\Phi_i) p\left(\frac{\Pi}{\Phi_i}\right), \quad (8.16)$$

где $p(\Phi_i) = \frac{n_{i0}}{N}$, $p\left(\frac{\Pi}{\Phi_i}\right) = \frac{n_{ij}}{n_{i0}} = q'_{ij}(\Pi)$.

Пусть всего составлено 1214 прогнозов. Из 296 случаев Φ на признак Π пришлось 245, т.е. $p\left(\frac{\Pi}{\Phi}\right) = 0,828$.

В свою очередь этому признаку Π соответствовало 103 из 918 случаев $\bar{\Phi}$, что составляет $p\left(\frac{\Pi}{\bar{\Phi}}\right) = 0,112$.

Отсюда полная вероятность признака Π определяется так:

$$p(\Pi) = p(\Phi) p\left(\frac{\Pi}{\Phi}\right) + p(\bar{\Phi}) p\left(\frac{\Pi}{\bar{\Phi}}\right), \quad (8.16')$$

или $p(\Pi) = 0,244 \cdot 0,828 + 0,756 \cdot 0,112 = 0,287$.

Действительно, $p(\Pi) = \frac{n_{01}}{N} = 348 : 1214 = 0,287$.

Вероятности $p(\Phi)$ и $p(\bar{\Phi})$ выполняют роль весовых коэффициентов при относительных долях (0,828 и 0,112) осуществления текста Π в реализациях Φ и $\bar{\Phi}$.

В свою очередь полная вероятность противоположного признака $\bar{\Pi}$ есть величина $p(\bar{\Pi}) = p(\Phi) p\left(\frac{\bar{\Pi}}{\Phi}\right) + p(\bar{\Phi}) p\left(\frac{\bar{\Pi}}{\bar{\Phi}}\right)$, равная 0,713.

Суммарная вероятность признаков $(\Pi, \bar{\Pi})$: $\sum_{j=1}^m p(\Pi_j) = 1$.

Теперь поставим задачу несколько иначе. Требуется найти условную вероятность того, что заданному тексту Π принадлежит фаза Φ или что этому же тексту Π — иная фаза $\bar{\Phi}$. Тогда можно воспользоваться формулой

$$p\left(\frac{\Phi_i}{\Pi}\right) = \frac{p(\Pi, \Phi_i)}{p(\Pi)}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (8.17)$$

Возможна противоположная постановка задачи и поиск условной вероятности иного характера, а именно

$$p\left(\frac{\Pi}{\Phi_i}\right) = \frac{p(\Pi, \Phi_i)}{p(\Phi_i)}. \quad (8.18)$$

Из уравнений (8.17) и (8.18) следуют оценки совместных вероятностей $p(\Pi, \Phi)$ и $p(\Phi, \Pi)$, что позволяет перейти к равенству

$$p(\Pi)p\left(\frac{\Phi_i}{\Pi}\right) = p(\Phi_i)p\left(\frac{\Pi}{\Phi_i}\right).$$

Отсюда с учетом (8.16) и принадлежности Φ_i к условию j найдем *условную вероятность* осуществления фазы Φ_i при известном тексте прогноза Π

$$p\left(\frac{\Phi_i}{\Pi}\right) = \frac{p(\Phi_i)p\left(\frac{\Pi}{\Phi_i}\right)}{\sum_{j=1}^n p(\Phi_j)p\left(\frac{\Pi}{\Phi_j}\right)}. \quad (8.19)$$

Уравнение (8.19) называют *формулой Байеса*, или *формулой вероятностей гипотез* Φ_i .

Вместо уравнения (8.19) представляется возможным использовать более простое выражение

$$p\left(\frac{\Phi_i}{\Pi}\right) = \frac{p(\Phi_i)p\left(\frac{\Pi}{\Phi_i}\right)}{p(\Pi)}. \quad (8.20)$$

Формула (8.19), как и (8.20), отражает *условную вероятность* появления, осуществления некоторого признака (явления, неблагоприятного или благоприятного условия погоды и т. п.) Φ_i при известном условии (тексте прогноза) Π . В этом и содержится ответ на вопрос, поставленный в начале п. 8.3.

В соответствии с формулой (8.20) апостериорная оценка, в частности совместная вероятность $p(\Phi, \Pi)$, пропорциональна произведению априорной оценки $p(\Phi)$ на *правдоподобие* полученной информации $p\left(\frac{\Pi}{\Phi}\right)$. Величина $p\left(\frac{\Pi}{\Phi}\right)$ рассматривается как мера того,

насколько вероятно получить информацию Π , если полагать, что явление Φ осуществилось. В свою очередь частное от деления двух

вероятностей $\frac{p\left(\frac{\Pi}{\Phi}\right)}{p(\Pi)}$ есть отношение правдоподобия для правильного прогноза Φ . Согласно данным табл. 8.5,

$$\frac{p\left(\frac{\Pi}{\Phi}\right)}{p(\Pi)} = \frac{245}{296} : \frac{348}{1214} = \frac{0,827}{0,287} = 2,88.$$

Выражая формулу (8.19) или (8.20) через частоты n_{ij} альтернативного прогноза (см. табл. 8.3), запишем

$$p\left(\frac{\Phi}{\Pi}\right) = \frac{\left(\frac{n_{10}}{N} \cdot \frac{n_{11}}{n_{10}}\right)}{\frac{n_{01}}{N}} = \frac{n_{11}}{n_{01}} = q_{11} \quad (8.21)$$

— условная вероятность успешного прогноза наличия явления;

$$p\left(\frac{\bar{\Phi}}{\Pi}\right) = \frac{n_{21}}{n_{01}} = q_{21} \quad (8.22)$$

— условная вероятность ошибочного прогноза наличия явления;

$$p\left(\frac{\Phi}{\bar{\Pi}}\right) = \frac{n_{12}}{n_{02}} = q_{12} \quad (8.23)$$

— условная вероятность ошибочного прогноза отсутствия явления;

$$p\left(\frac{\bar{\Phi}}{\bar{\Pi}}\right) = \frac{n_{22}}{n_{02}} = q_{22} \quad (8.24)$$

— условная вероятность успешного прогноза отсутствия явления.

В итоге матрица условных вероятностей $p(\Phi_i/\Pi_j) = q_{ij}$ выглядит так:

$$(q_{ij}) = \begin{pmatrix} & \Pi & \bar{\Pi} \\ \Phi & q_{11} & q_{12} \\ \bar{\Phi} & q_{21} & q_{22} \\ \sum_i & 1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (8.25)$$

Если использовать те же данные табл. 8.5, то априорная (природная) вероятность фазы $V \geq 12$ м/с $p(\Phi)$ будет равна 0,244. Использование метода прогнозирования скорости ветра позволяет увеличить вероятность осуществления этой градации до значения $p\left(\frac{\Phi}{\Pi}\right) = 0,704$. Условные вероятности, как видим, больше безусловных.

Следует подчеркнуть, что условные вероятности $q_{ij} = p\left(\frac{\Phi_i}{\Pi_j}\right)$,

определяемые по формуле Байеса, дают полное описание в вероятностной форме достоинств той или иной прогностической информации, которая используется потребителем в оперативной хозяйственной практике.

Поскольку условные вероятности (8.21)—(8.24) установлены после проведения „опыта” — использование предиктора Π , то такие вероятности называются еще *апостериорными условными вероятностями*.

На основании данных табл. 8.5 находим значения q_{ij} (табл. 8.6).

Таблица 8.6

Условные вероятности q_{ij} осуществления Φ_i при известном тексте прогноза Π_j

Фактически было, Φ_i	Прогноз Π_j	
	Π	$\bar{\Pi}$
Φ	$q_{11} = n_{11}/n_{01} = 0,704$	$q_{12} = n_{12}/n_{02} = 0,059$
$\bar{\Phi}$	$q_{21} = n_{21}/n_{01} = 0,296$	$q_{22} = n_{22}/n_{02} = 0,941$
$\sum_{i=1}^n q_{i1}$	1,000	1,000

Отсюда следует, что в целях получения более достоверных сведений о явлении Φ (любом природном состоянии) используется дополнительное *условие* или в виде прогноза Π , или в виде иной информации, в той или иной мере связанной с условиями осуществления Φ .

Матрицы сопряженности прогнозов (см. табл. 8.4) и условных (см. табл. 8.6) вероятностей разрабатываются по сезонам года или рабочим периодам (навигация, отопительный сезон, период посадочных работ в сельскохозяйственных предприятиях и т. п.).

Наряду с условными вероятностями $q_{ij} = \frac{p(\Pi_j, \Phi_i)}{p(\Pi_j)}$ рассчитываются условные вероятности иного рода — использования текста Π при осуществившемся уже явлении Φ .

Другими словами, устанавливается соотношение вида

$$q'_{ij} = \frac{p(\Pi_j, \Phi_i)}{p(\Phi_i)}. \quad (8.26)$$

По формуле (8.26) определяется вероятность *правильных прогнозов* наличия явления $p(\Pi / \Phi)$

$$p(\Pi / \Phi) = \frac{n_{11}}{n_{10}} = q'_{11}. \quad (8.27)$$

Величина q'_{11} является *мерой предупрежденности* явления Φ .

В синоптической практике оценке предупрежденности опасного явления придается особое значение, что непосредственно связано с убытками, которые несет потребитель.

Глава 9

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ИГР

9.1. Выбор оптимальных решений в условиях полной информационной неопределенности

Вся хозяйственная практика в любой стране — это прежде всего огромное число постоянно принимаемых *решений*, направленных на реализацию главной цели — достижение производственного и коммерческого успеха.

Хозяйственные решения во всем своем многообразии выделяются по иерархическому уровню (отрасль, объединение, производство и т. п.), по продолжительности осуществления (на сутки, т. е. ежедневно, на месяц и т. п.), по степени значимости (в зависимости от уровня финансирования и других условий), по характеру действий, отвечающих содержанию решения, и по другим признакам.

Любые решения, направленные на выполнение хозяйственной задачи, предполагают привлечение к делу финансовых средств, материальных ценностей, информации и иных ресурсов. Руководитель, менеджер прослеживает результаты принимаемых решений. Они могут быть более или менее удачными или вовсе ошибочными. Последствия решений связаны с тем, какое влияние или воздействие, или противодействие на них может оказывать другая „сторона“, с которой так или иначе связана реализация ресурсов и других производственных операций. Отсюда очевидно, что *производственный и коммерческий механизм рынка* обусловлен взаимодействием двух субъектов — *двух игроков*. Опыт позволяет каждому из них делать надлежащие выводы и выбирать *лучшее решение*. Такого рода игра требует *оптимального решения*, обеспечивающего оптимальный успех.

Взаимодействие двух игроков, ориентированное на взаимный и долговременный успех каждого, называется *стратегической игрой*. Каждый из игроков полагается на лучший исход своих решений в хозяйственной или иной практике, осуществляемой на „игровом поле“.

В дальнейшем будем рассматривать лишь общую модель стратегии каждого игрока, не обращая к специфике его деятельности.

В простейшем виде стратегическая игра есть *игра с нулевой суммой*: один из игроков выигрывает столько же, сколько проигрывает другой. Действия игроков *A* и *B* не носят случайного харак-

тера, результат их зависит от выбранной стратегии. Условия игры задаются *матрицей выигрышей* (a_{ij}) , которая имеет вид:

$$(a_{ij}) = \left\{ \begin{array}{c|ccccc} \text{Действия} & & \text{Действия } d_j \text{ игрока } B & & & \\ d_i \text{ игрока } A & & d_1(B) & d_2(B) & d_3(B) & \dots & d_{m1}(B) \\ \hline d_1(A) & a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1m} \\ d_2(A) & a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2m} \\ d_3(A) & a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_n(A) & a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nm} \end{array} \right\} \quad (9.1)$$

Элементы a_{ij} матрицы (a_{ij}) выражают суммы, которые обязан уплатить один игрок другому в соответствии с установленными „правилами игры”. Они „предписывают” каждому игроку свою стратегию: для игрока A — выбор одной из строк i , а для игрока B — одного из столбцов j . Исход игры определяется величиной a_{ij} как пересечение i -й строки и j -го столбца. Игровое поле, согласно матрице выигрышей, может содержать „свою” область выигрыша для данного игрока, не известную партнеру. Пусть игрок A выбрал стратегию $d_i(A)$, а игрок B — стратегию $d_j(B)$. Эта ситуация характеризует выигрыш игрока B , который составил a_{23} . Однако возможна и другая характеристика игрового поля. Выбор той или иной стратегии связан с распознаванием поведения другого игрока. Стратегическая игра осуществляется в условиях *полной информационной неопределенности*. Это один из вариантов выбора *решения*, которое к тому же называется *статистическим* в условиях их возможного множества.

В реальных условиях руководитель („игрок”) располагает статистическими сведениями о результатах своих действий (решений) и о том, на какие действия партнера они были рассчитаны. Это осуществляется на игровом поле с *двумя действующими субъектами*. Тем самым может быть выстроена матрица *выигрышей* конкретного игрока. Например, необходимо установить, выбрать экономически приемлемого поставщика продукции или товара для данного производства. Выбор поставщика и есть хозяйственное стратегическое решение, которое предполагает действия — его реализацию. Любое решение, направленное на выполнение хозяйственной или коммерческой задачи, требует привлечения к делу определенного рода ресурсов. Это могут быть финансовые ресурсы (деньги), материальные ресурсы (техника, технология, продукция, продукты), дополнительно привлекаются ресурсы времени и труда.

Однако возможна иная ситуация прохождения игры. С одной стороны, *руководитель* (субъект), с другой — условие, влияющее на осуществление действия (решения). Таким внешним фактором чаще всего выступает состояние природы, в частности *погодные* или *климатические условия*. В этом случае особая роль может отводиться *погодно-климатическим* ресурсам, а сами решения будут уже *погодно-хозяйственными*.

Выбор оптимального решения предполагает, что игроку известны *пороговые условия стратегической игры* или так называемые *правила выбора решения*.

9.1.1. Метод минимакса—максимина

Игровая матрица выигрышей, ее называют еще платежной матрицей, отражает как возможные выигрыши, так и проигрыши. Если игрок *A* выигрывает, то, естественно, игрок *B* проигрывает. Одновременно не может быть ни того ни другого состояния для игроков *A* и *B*. Зная свои максимальные проигрыши, игрок *B* будет руководствоваться принципом, который указывает на необходимость ограничить риск больших потерь. В условиях полной неопределенности относительно возможных проявлений природы (погоды, климата и др.) для этой цели используется принцип „минимакса”, предложенный А. Вальдом. Оптимальное стратегическое поведение ($d_i = d_{\text{опт}}$) сводится к выбору такой стратегии, которая обеспечивает минимальный проигрыш из максимально возможных. *Метод минимакса* — это достаточно разумный подход, когда один из игроков полностью не осведомлен об особенностях поведения второго. Принципиальное положение метода иллюстрируется в табл. 9.1.

Игрок *A* в свою очередь может выбрать иной подход — ориентироваться на „максимальный выигрыш из минимально возможных”. Это есть метод *максимина*. Такой подход также обеспечивает выбор оптимальной стратегии $\hat{d}_i = d_{\text{опт}}$.

Таблица 9.1

Матрица выигрышей

Стратегия игрока <i>A</i> , $\hat{d}_i$	Стратегия игрока <i>B</i> , d_j			Возможный минимальный выигрыш игрока <i>A</i>
	B_1	B_2	B_3	
A_1	8	12	20	8
A_2	12	10	21	10
A_3	30	25	17	17
Возможный максимальный проигрыш игрока <i>B</i>	30	25	20	$A \rightarrow \text{макс } 17$ (максимин) $B \rightarrow \text{мин } 20$ (минимакс)

В зависимости от оценки результатов принимаемых решений (стратегий) как игрок A , так и игрок B могут выбрать любой из приведенных методов выбора стратегии.

Рассмотрим далее особую ситуацию, довольно распространенную, когда в качестве „противника” (партнера) игрока A выступает природа. Она не обладает свойством преднамеренных действий и ее ожидаемое поведение характеризуется полной неопределенностью (без привлечения дополнительной информации).

Множество хозяйственных и коммерческих задач требует учета состояний природной среды. Это могут быть как погодные, так и климатические условия. Например, задачи по транспортировке грузов: выбор сезона, маршрута, вида транспорта или иного вида деятельности. Возможно строительство коммерческого объекта, что также требует знаний, скажем, микроклиматических условий и выбора такой стратегии поведения, которая обеспечивает минимум издержек строительства или максимум выгоды (доходов) в процессе реализации этого объекта.

Выбранная дискретность природных условий, в том числе и *погодных*, показывает возможное число стратегий для игрока-субъекта. Число стратегий (решений) может задать сам игрок (руководитель, менеджер и т. п.) на основании выбора мероприятий, которые могут принести различный экономический результат.

Игра — ориентация на возможное состояние погоды — постоянно контролируется. Ее результаты представляются в виде матрицы полезности (a_{ij}) , элементы которой a_{ij} могут выражать *затраты* (издержки, убытки) или *выгоды* в зависимости от производственной (или иной) специфики игрока и „способности” погоды *вредить* или *благотворить*¹. Участие в „игре” такого игрока A , как природа (погода, климат), характеризуется тем, что его „стратегия”, „действия” $\hat{a}_i$ выступают уже как проявление отдельных фаз, состояний, условий и т. п. — Φ_i , которые не известны игроку B . Остается неизвестной частота осуществления состояний погоды или климата. Фазы, градации состояний природных условий могут задаваться игроком B (руководителем, менеджером), а значения элементов a_{ij} — возможных затрат или выгод — результат обстоятельных, взвешенных расчетов, отражающих последствия выбранных действий d_j и последующих фаз, градаций Φ_i . Вид такой матрицы полезности (a_{ij}) дан в табл. 9.2.

¹ В июле 2001 г. в Читинской области в районе пос. Гусиное Озеро от удара молнии загорелся военный склад с боеприпасами. Взрывы снарядов и ракет вызвали пожар огромной силы. Однако через двое суток сильные ливневые дожди полностью погасили страшный пожар.

Матрица полезности (условные значения a_{ij} — затраты или выгоды)¹

Поведение игрока А — природу (погоды, климата) Φ_i	Стратегия, решение, действие d_j игрока В				
	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5
Φ_1	3	5	3	4	4
Φ_2	7	3	5	4	4
Φ_3	6	4	8	5	4
Φ_4	2	3	4	5	6
Φ_5	5	4	3	6	4
$a_j^{\max}$	7	5	8	6	6
$a_j^{\min}$	2	3	3	4	3

¹ Примерная матрица полезности приведена из работы Л. А. Хандожко „Оптимальные погодо-хозяйственные решения” (1999 г.). Там же даны дополнительные пояснения метода „минимакса—максимина”.

Рассмотрим ситуацию, когда элементы матрицы полезности отражают затраты, которые могут быть в случае стратегий $d_1 - d_5$. В соответствии с теорией стратегической игры для выбора оптимального решения, действия используется *метод (принцип) минимакса*. Для каждого решения d_j устанавливается максимальное значение издержек a_i (от $i = 1$ до $i = n = 5$) (см. табл. 9.2). Таким образом по всем возможным стратегиям (решениям) d_j будут выбраны значения

$$a_{i(j)}^{\max} = \max_i a(d_j, \Phi_i) \quad (i = \overline{1, n}; j = \text{const}).$$

В наборе максимальных значений $a_{i(j)}^{\max}$, приходящихся на d_j , выбирается минимальный элемент, который соответствует оптимальному действию $d_j = d_{\text{опт}}$ и определяет выбор оптимальной стратегии согласно минимаксу:

$$a_{\min} = \min_j \max_i a(d_j, \Phi_i). \quad (9.2)$$

Согласно данным табл. 9.2, оптимальной будет стратегия $d_2 = d_{\text{опт}}$.

Таким образом будет определяться поведение руководителя (игрока В) как наиболее допустимое с позиции минимизации затрат, издержек. Риск максимально возможных потерь будет ограничен. Принцип минимакса отражает осторожный выбор стратегии игроком В с природой А. Тем самым достигаются лучшие результаты в

наихудших ситуациях, что проявляется в условиях полной неопределенности относительно осуществления Φ_i .

Рассмотрим далее ситуацию, когда элементы матрицы полезности a_{ij} отражают *доходы*, которые могут быть получены при реализации стратегий $d_1 - d_5$. Для каждой возможной стратегии d_j определяется минимальное значение дохода a_i в соответствии с *методом (принципом) максимина*

$$a_{i(j)}^{\min} = \min_i a(d_j, \Phi_i) \quad (i = \overline{1, n}; j = \text{const}).$$

Из всех минимальных значений $a_{i(j)}^{\min}$, отвечающих стратегиям (решениям) d_j , определяется *максимальное*. Тем самым устанавливается оптимальная стратегия (оптимальное решение) $d_j = d_{\text{опт}}$ руководителя (игрока B) в условиях полной неопределенности относительно осуществления Φ_i

$$a_{\max} = \max_j \min_i a(d_j, \Phi_i). \quad (9.3)$$

Согласно данным табл. 9.2, оптимальной будет стратегия $d_4 = d_{\text{опт}}$.

Минимаксный подход в выборе оптимальной стратегии может быть использован в проблеме решения метеоролого-экономических задач, требующих знания климатологической информации. Действительно, в этих случаях построение матрицы расходов невозможно осуществить методом экспериментирования. Требуется задание определенных типов погоды или климатических условий Φ_i и соответствующих им необходимых издержек.

К таким задачам можно отнести:

- выбор объемов сезонного запаса топлива;
- выбор оросительной системы и нормы орошения в зависимости от влагообеспеченности;
- выбор места строительства объекта (коммунального, торгового или иного назначения) в зависимости от комплекса мезо- и микроклиматических условий;
- выбор урожайного сорта сельскохозяйственной культуры в зависимости от водопотребления в заданных районах и многие другие задачи.

9.1.2. Метод Гурвича

В ситуациях, для которых характерны и выгоды, и издержки, что типично в повседневной хозяйственной практике, возможно *компромиссное решение*. Определяется среднее значение по мини-

муму ($a_{\min}$) и максимуму ($a_{\max}$) при известных решениях-стратегиях d_j . Такой метод (принцип) допускает компромиссный взвешенный подход к наибольшей и наименьшей возможностям, которые отвечают экономическим последствиям принимаемых решений. Полагая одинаковыми „веса” последствий, результатов стратегий, решений, принцип Гурвича допускает осреднение: $\bar{a} = 0,5(a_{\min} + a_{\max})$. Оптимальной принимается промежуточная стратегия. В табл. 9.2 она будет соответствовать d_3 .

9.1.3. Метод Сэвиджа

При разработке и решении некоторых метеоролого-экономических задач более содержательно использовать не сами значения потерь, издержек или доходов (a_{ij}), а разности $\tilde{a}_{ij}$ или a_{ij}^* , отражающие меру снижения полезности, если принимаемая стратегия или решение d_j не оптимальны относительно выбранного фактора Φ_i .

Матрицу полезности, представленную элементами a_{ij} в табл. 9.2, можно преобразовать. Устанавливаются последствия ошибочных решений путем сопоставления результатов a_{ij} возможных стратегий, которые были по заданному состоянию погоды (климата) Φ_i .

Выделяют два вида *последствий* принимаемых стратегий, решений.

1. Пусть элементы a_{ij} матрицы полезности (см. табл. 9.2) представляют собой расходы, потери. Тогда можно установить, насколько они превышают минимальные при данной фазе Φ_i , т. е. определить величину

$$\tilde{a}_{ij} = a_{ij} - \min_j a_{ij}. \quad (9.4)$$

Элементы новой матрицы выражают *превышение потерь*. Матрицу такого рода называют *матрицей опасений* (табл. 9.3).

Выбираются максимальные опасения $\tilde{a}_{ij}$ при данной стратегии d_j . Оптимальная стратегия $d_{\text{онт}}$ устанавливается по *принципу минимакса*¹

$$d_{\text{онт}} = \tilde{a}_{\min} (d_j) = \min_j \max_i \tilde{a}_{ij}. \quad (9.5)$$

¹ Основные положения теории изложены в книге Сэвиджа „Основы статистики” (Нью-Йорк, 1954).

Таблица 9.3

Матрица опасений. Значения $\tilde{a}_{ij} = a_{ij} - \min_j a_{ij}$

Фазы погоды, климата, Φ_i	Стратегия (решение), d_j				
	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5
Φ_1	0	2	0	1	1
Φ_2	4	0	2	1	1
Φ_3	2	0	4	1	0
Φ_4	0	1	2	3	4
Φ_5	2	1	0	3	1
макс $\tilde{a}_{ij}$	4	2	4	3	4

Расчеты показывают (см. табл. 9.3), что в этом случае $d_{\text{опт}} = d_2$.

2. Будем теперь полагать, что a_{ij} (см. табл. 9.2) суть выгода. Тогда можно определить значения a_{ij} , характеризующие *потерю выгоды* или ее *снижение* относительно максимальной выгоды при данной фазе погоды (климата) Φ_i :

$$a_{ij}^* = \max_j a_{ij} - a_{ij}. \quad (9.6)$$

Согласно данным табл. 9.2, при фазе Φ_1 и $(a_{ij})_{\text{макс}} = 5$ находим ряд a_{ij}^* : 2; 0; 2; 1; 1. В итоге матрица последствий ошибочных решений, или *матрица сожалений*, будет иметь вид, представленный в табл. 9.4.

Таблица 9.4

Матрица сожалений. Значения $a_{ij}^* = \max_j a_{ij} - a_{ij}$

Состояния погоды, климата, Φ_i	Стратегия (решение), d_j				
	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5
Φ_1	2	0	2	1	1
Φ_2	0	4	2	3	3
Φ_3	2	4	0	3	4
Φ_4	4	3	2	1	0
Φ_5	1	2	3	0	2
макс a_{ij}^*	4	4	3	3	4

Выбор оптимальной стратегии, решения $d_j = d_{\text{онт}}^*$ отвечает условию — принципу минимакса

$$d_{\text{онт}}^* = a_{\min}^*(d_j) = \min_j \max_i a_{ij}^*. \quad (9.7)$$

Выбираем решение d_j , при котором значение макс a_{ij}^* минимально. В этом суть правильного выбора. В приведенном фрагменте хозяйственной практики $\min_j \max_i a_{ij}^* = 3$. Это указывает на два возможных оптимальных решения: $d_{\text{онт}}^* = d_3 = d_4$. Такой исход оценки потребует от руководителя окончательного стратегического решения.

Значения $\tilde{a}_{ij}$ и a_{ij}^* Е. Е. Жуковский называет *метеорологическими потерями*, а Н. А. Багров — *приведенными*.

9.1.4. Метод Хоменюка

Для выбора оптимальной стратегии, решения используется принцип потенциального распределения вероятностей. Он состоит в том, что допускается влияние природной среды в виде суммы вкладов отдельных ее состояний в формирование минимальных расходов или максимальных доходов.

Потенциальное распределение вероятностей возможных потерь $\hat{p}_i$ устанавливается как долевое выражение суммы потерь при осуществлении Φ_i . В методе Хоменюка допускается рассматривать потенциальный вектор $\hat{p}_i = \langle p_i \rangle$ как вероятность состояния среды $\hat{p}_i = p(\Phi_i)$. Если элементы матрицы полезности a_{ij} представляют собой потери, издержки, тогда искомые вероятности находятся по формуле

$$\hat{p}_i = \frac{\sum_{j=1}^m a_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}}. \quad (9.8)$$

По сведениям, приведенным в табл. 9.2, определяются значения $\hat{p}_i$ (табл. 9.5).

Таблица 9.5

Потенциальное распределение вероятностей потерь $\hat{p}_i$

Φ_i	a_{ij}					$\sum_i (a_{ij})$	$\hat{p}_i$
	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5		
Φ_1	3	5	3	4	4	19	0,173
Φ_2	7	3	5	4	4	23	0,200
Φ_3	6	4	8	5	4	27	0,245
Φ_4	2	3	4	5	6	20	0,182
Φ_5	5	4	3	6	4	22	0,200
$\sum_i \sum_j a_{ij}$						111	1,000

Выбор оптимальной стратегии $d_j = d_{\text{опт}}$ осуществляется на основании критерия Байеса

$$a(\hat{p}, d_{\text{опт}}) = \min_j \sum_i \hat{p}_i a_i(d_j). \quad (9.9)$$

Суммы $\sum_i \hat{p}_i a_i(d_j)$ определяются в соответствии с распределением a_{ij} :

$$\sum_i \hat{p}_i a_i(d_1) = 0,173 \cdot 3 + 0,2 \cdot 7 + 0,245 \cdot 6 + 0,182 \cdot 2 + 0,2 \cdot 5 = 4,75$$

$$\sum_i \hat{p}_i a_i(d_2) = \boxed{3,79}$$

$$\sum_i \hat{p}_i a_i(d_3) = 4,81$$

$$\sum_i \hat{p}_i a_i(d_4) = 4,83$$

$$\sum_i \hat{p}_i a_i(d_5) = 4,16.$$

Оптимальной, согласно (9.9), можно считать стратегию $d_2 = d_{\text{опт}}$. Если считать, что в матрице полезности элементы a_{ij} суть доходы, то *потери полезности* можно установить в виде снижения доходов макс $a_{ij} - a_{ij}$ и их вероятности $\hat{p}_i$ при осуществлении фазы Φ_i :

$$\hat{p}_i = \frac{\sum_{j=1}^m (\text{макс } a_{ij} - a_{ij})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\text{макс } a_{ij} - a_{ij})}. \quad (9.10)$$

Воспользуемся данными, приведенными в табл. 9.4. Итоговые результаты представлены в табл. 9.6.

Таблица 9.6

**Потенциальное распределение
вероятностей потерь полезности**

Φ_i	$\sum_j (\max a_{ij} - a_{ij})$	$\hat{p}_i$
Φ_1	6	0,12
Φ_2	13	0,26
Φ_3	13	0,26
Φ_4	10	0,20
Φ_5	8	0,16
$\sum_i$	50	1,00

Для выбора оптимальной стратегии (решения) используется по аналогии с (9.9) критерий Байеса в виде

$$a(\hat{p}, d_{\text{опт}}) = \min_j \sum_i \hat{p}_i (\max a_{ij} - a_{ij})(d_j). \quad (9.11)$$

Следуя формуле (9.11), рассмотрим значения под знаком суммы для заданных d_j :

d_j	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5
$\sum_i \hat{p}_i (\max a_{ij} - a_{ij})$	1,72	3,00	1,64	1,10	1,48

Метод Хоменюка позволяет считать, что оптимальной стратегией при анализе снижения доходов ($\max a_{ij} - a_{ij}$) является стратегия d_4 .

9.2. Выбор оптимальных решений в условиях частичной информационной неопределенности

Все хозяйственные решения, а стратегические в особенности, обусловлены внешними (рыночными или иными) постоянно сопутствующими факторами. Они достаточно сложны и выступают как второй игрок, действия которого непредсказуемы. Отсюда, как уже отмечалось, первый игрок — лицо, принимающее решение (ЛПР), ищет решение в условиях полной неопределенности. Однако возможны такие внешние условия, которые могут быть *частично* известны. ЛПР может располагать некоторой информацией, частично раскрывающей действия противоположного партнера в „стратегической игре”. В качестве второго игрока, об этом уже говорилось,

рассматривается природа — погодные или климатические условия. Этот „игрок” не имеет намерений выиграть, но обладает своим собственным *свойством поведения*, которое доступно изучению и в определенной степени распознаваемо.

Будем идентифицировать погодо-климатические условия в качестве второго „партнера-игрока”.

Рассмотренную ранее минимаксную стратегию называют еще стратегией перестраховщиков. Это оправданное поведение, позволяющее избегать серьезных экономических последствий ошибочных решений и действий. Если в качестве второго „партнера-игрока” выступает природа, то ситуацию полной информационной неопределенности можно избежать, если известны вероятности осуществления тех или иных климатических условий, типов погоды или ее отдельных фаз.

9.2.1. Метод Байеса—Лапласа

Первоначально Байесом в 1763 г. было предложено в такого рода задачах использовать равновероятностные состояния природы. Однако тогда уже такой подход представлялся упрощенным, хотя и позволял при известной матрице полезности дать приближенную оценку ожиданий результативности принимаемых решений.

По заданной дискретности фаз погоды (см., например, табл. 9.2) и известным вероятностям их осуществления ($\bar{p}_i = 1/n$) определяется среднее значение полезности (потерь, выгод) при решении d_j

$$M(a) = \sum_{i=1}^n a_i \bar{p}(n)_i. \quad (9.12)$$

В частности, в случае d_1 (см. табл. 9.2) реализуется следующее значение математического ожидания (среднего в статистическом смысле):

$$M(a)d_1 = 0,2(23) = 4,6.$$

Остальные стратегии получают следующие результаты:

$$M(a)d_2 = 3,8; M(a)d_3 = 4,6; M(a)d_4 = 4,8; M(a)d_5 = 4,2.$$

Если значениям a придать смысл потерь, то, очевидно, наиболее выгодным, оптимальным будет стратегическое решение $d_{\text{опт}} = d_2$. В случае если a отражают выгоду, то экономически оправданной будет стратегия $d_{\text{опт}} = d_4$.

В действительности выбранные фазы Φ_i климатических условий имеют разную природную (климатическую) вероятность p_i (аналогия проявлений „игрока” A). Тогда формулу (9.12) можно переписать так:

$$M(a) = \sum_{i=1}^n a_i p_i. \quad (9.13)$$

Известные мероприятия в мелиорации могут быть показательным примером. Необходимо выдать такую стратегию развития мелиорации в регионе, которая выгодно отвечала бы одной из следующих климатических характеристик: в засушливые годы $p(\Phi_1) = 0,01$; в годы со слабым увлажнением $p(\Phi_2) = 0,15$; в годы с умеренным увлажнением $p(\Phi_3) = 0,55$; в годы со значительным увлажнением $p(\Phi_4) = 0,20$; в годы с избыточным увлажнением $p(\Phi_5) = 0,09$.

По формуле (9.8) определяются средние издержки, основанные на вероятностной оценке климатических условий. Согласно табл. 9.2, находим:

$$M(a)d_1 = 5,23; M(a)d_2 = 3,66; M(a)d_3 = 6,25; M(a)d_4 = 4,93; \\ M(a)d_5 = 4,25.$$

Оптимальной следует рассматривать стратегию, которая обеспечивается действием $d_{\text{онт}} = d_2$.

9.2.2. Метод Байеса

Кроме приведенного выше используется иной, более эффективный подход. Смысл его состоит в следующем. Руководитель предприятия, диспетчерской службы, проекта, службы материально-технического обеспечения, поставки ресурсов и т. п., одним словом, лицо, принимающее хозяйственное решение d_j , вырабатывает стратегию поведения с учетом ожидаемых погодных или климатических условий. Будем в дальнейшем называть ЛПР потребителем метеорологической информации, или просто *потребителем* (см. п. 2.1). Утверждается, что выбор им наилучшей оптимальной стратегии $S_{\text{онт}}$ из возможных стратегий S основан на том условии, что *известны результаты совместных осуществлений решений d_j и фактической погоды Φ_i или определенных условий климата.*

Каждый потребитель располагает достаточно объективной информацией о своей *зависимости* от погоды. Она прежде всего выражается в том, что решения (действия) потребителя d_j , ориентированные на погоду Φ_i , будут сопровождаться экономическим результатом, условно называемым полезностью (a_{ij}), которая может быть

выражена в виде выгоды или потерь. Различные сочетания $d_j \sim \Phi_j$ образуют *матрицу полезности* как дискретное выражение некоторой *функции полезности* $a = a(\Phi, d)$. Матрица полезности имеет стоимостное выражение.

Типичной является ситуация, когда потребитель принимает решение в соответствии с ожидаемой погодой Π_j . При этом потребитель будет выбирать такой метод разработки прогнозов, который наилучшим образом отвечает выполнению его хозяйственной задачи. Большинство потребителей в различных отраслях производства используют в основном методические прогнозы, разрабатываемые в прогностических подразделениях Росгидромета. Эти прогнозы рассматриваются как официальные.

Однако такого рода метеорологические прогнозы могут разрабатываться несколькими, включая коммерческие, прогностическими учреждениями (в пункте, в районе), имеющими лицензии Росгидромета. Потребитель может выбрать более предпочтительную, более выгодную прогностическую информацию.

Кроме того, наряду с метеорологическими прогнозами имеется возможность выбора иных прогнозов, разработка которых не требует физического обоснования. Это могут быть инерционные прогнозы, в основе которых лежит исходная погода, или прогнозы по местным признакам и другие подходы, вплоть до случайных прогнозов.

Методические и неметодические прогнозы обобщаются в виде матриц сопряженности, что позволяет установить повторяемость (допускаем интерпретацию вероятности) осуществления отдельных фаз погоды $p_{ij} = p(\Phi_i, \Pi_j)$.

Итак, потребитель располагает экономической информацией о возможных последствиях своего поведения и метеорологической, которая представляется рядом матриц сопряженности $\|n_{ij}\|$ прогнозов, разрабатываемых на основании некоторых методов. Обобщение этих прогнозов можно представить следующим образом:

$$\left. \begin{array}{l} \|n_{ij}\|_{\text{м}} \Rightarrow \\ \|n_{ij}\|_{\text{ин}} \Rightarrow \\ \dots \\ \|n_{ij}\|_{\text{сл}} \Rightarrow \end{array} \right\} \|p_{ij}\| \text{ и } \|q_{ij}\|.$$

Совместные (p_{ij}) и условные (q_{ij}) вероятности позволяют перейти к оценке средних потерь $\bar{R}$, которые может нести потребитель при стратегическом выборе ориентации на те или иные прогнозы:

$$\overline{R} = R[a(\Phi, d), p(\Phi, \Pi)]. \quad (9.14)$$

Если потребитель постоянно доверяет тем или иным прогнозам, то число его действий d_j , отвечающих содержанию прогноза, будет соответствовать числу текстов прогнозов Π_j . Следовательно, обе матрицы $\|a_{ij}\|$ и $\|p_{ij}\|$ будут иметь одинаковый размер n (строк) $\times$ m (столбцов).

Механизм выбора оптимальной стратегии в рамках байесовского подхода состоит в апробации известных потребителю методов прогнозирования по степени обоснования и выбора таких прогнозов, которые обеспечивают ему или минимум потерь (мин $\overline{R}$), или максимум выгоды (макс G). Тем самым устанавливается определенный экстремум

$$\mathcal{S}(a) = \underset{\mathcal{S}}{\text{extr}} a. \quad (9.15)$$

Этим достигается условие выбора оптимальной стратегии

$$\overline{R}_{\text{опт}} = \underset{\langle \mathcal{S} \rangle}{\text{мин}} \overline{R}$$

или

$$\overline{G}_{\text{опт}} = \underset{\langle \mathcal{S} \rangle}{\text{макс}} G. \quad (9.16)$$

Глава 10

ОСНОВЫ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ПОГОДО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ РЕШЕНИЙ

10.1. Экономическая информация в системе погода—прогноз—потребитель

В метеоролого-экономических задачах используется та *экономическая информация*, с которой потребителю приходится иметь дело в конкретных условиях производства. Это могут быть *расходы*, предусмотренные планом, или *доходы* от реализации той или иной продукции. В хозяйственной практике возможны и *прямые потери* как следствие воздействия внешних условий.

Во всех странах все виды производства в той или иной мере испытывают зависимость от изменений, колебаний и текущих состояний природы. Функционирование объектов производства, коммерческих структур и иных государственных и частных предприятий осуществляется по этой причине в системе *природа—население—экономика*.

Отличительной чертой современной экономики является ее избирательная зависимость от гидрометеорологических условий, в особенности от погодных. Отсюда выстраивается иная система взаимоотношения природы и общества, а именно система *погода (климат)—прогноз—потребитель*. В рамках этой системы рассматривается сложный комплекс взаимосвязей погоды и климата с обществом. Система, как видим, содержит три подсистемы.

Подсистема *погода* — постоянное слежение за условиями погоды: визуальное и инструментальное наблюдение за состоянием атмосферы на суше и над водной поверхностью. Подсистема „погода (климат)” содержит не только погодный, но и климатический фактор.

Подсистема *прогноз* — предусматривается анализ и прогноз благоприятных или неблагоприятных состояний атмосферы, в основном поиск и обнаружение ОЯ и НГЯ. Эта подсистема в отдельности уже рассматривалась. В нее включается вся прогностическая продукция.

Подсистема *потребитель* — все отрасли экономики и их многочисленные составляющие используют прогностическую информацию, как постоянно возобновляемый природный ресурс в хозяйственной практике.

Система *погода (климат)—прогноз—потребитель (ППП)* — это сложный преимущественно *затратный* общественно-природный

механизм с постоянным однонаправленным влиянием погодоклиматических условий. Вековые экологические изменения климата в данном случае в расчет не принимаются. Это особая проблема.

Система ППП — один из важных экономических механизмов развития общества, что подтверждается возрастающим в последние десятилетия разрушительным воздействием на общество чрезвычайно опасных стихийных явлений¹, которые во многих странах вызвали экономические, психологические и социальные потрясения. Общие экономические потери по всему земному шару в 1999 г. составили 58 млрд. долларов США (С. Г. Корнфорд, ВМО). Суперциклон, образовавшийся над Бенгальским заливом в конце октября 1999 г., унес 10 000 жизней в штате Орисса, Индия.

Прогнозы и предупреждения об ОЯ и НГЯ рассматриваются не просто как вид услуг, а как *неординарная научно-производственная информация, обязательная (!)* для использования во всех видах деятельности в масштабе государства.

Особая роль в системе ППП отводится обеспечению безопасности хозяйственной деятельности и населения страны. *Жизнеобеспечение* — вот центральное звено в системе ППП, где весь хозяйственный механизм общества существует под постоянным „надзором” второго вечного „игрока” — погоды и климата.

Характерной чертой экономической информации в этих условиях является ее природно-хозяйственная специфика. Вид издержек или выгод определяется зависимостью от погоды и климата.

Если это сельскохозяйственное производство, то вся деятельность потребителя (руководителей) направлена на максимальное извлечение *пользы* от обеспечивающих *доходы* погодных условий и климатических особенностей региона. Однако в этой отрасли экономики предусмотрены и *меры защиты от потерь*, преимущественно в периоды уборки урожая. Более полные сведения об экономической информации будут приведены в разделе 6 — „Оценка экономической полезности метеорологической информации в отдельных отраслях народного хозяйства”.

Есть такие области производства, когда потребителю приходится *снизить потери продукции*, как произведенной человеком, так и полученной от природы. Это относится к производству электроэнергии, добыче лесных ресурсов, органических ресурсов, пищевых ресурсов морей и других видов ресурсов. Гидрометеорологические условия чаще всего выступают как *природные помехи*, а значит,

¹ Например, катастрофические паводковые (весенние) наводнения в Ленске (Якутия) и дождевые в Приморье (Хабаровск, Владивосток и другие города края) в период выхода субтропического циклона со стороны Японии.

вызывают *потери* и требуют разработки *мер защиты*, отвечающих специфике производства.

Потери, или *убытки*, по метеорологическим причинам — это материальные или иного вида потери в отдельной отрасли или на отдельном производственном объекте, вызванные неблагоприятными условиями погоды при известных отношениях потребителя к защитным мерам.

При оценке влияния метеорологических условий используется следующая *классификация потерь (убытков)*.

Возможные потери L — если потребитель не располагает необходимой метеорологической информацией или ее не использует. Это максимальные потери (убытки), вызванные опасным явлением или неблагоприятным условием погоды. При использовании прогнозов это будут потери, связанные с пропуском явления.

Предотвращенные потери $L_{\text{п}}$ — часть возможных потерь, которые удастся предотвратить благодаря успешным прогнозам и заблаговременно принятым мерам защиты.

Непредотвращенные (реальные) потери $L_{\text{н}}$ — та часть максимально возможных потерь, которую не удастся предотвратить, несмотря на принимаемые меры защиты. Потери (убытки), которые несет потребитель, чаще всего полностью предотвратить невозможно. Это характерно для любой области производства, в той или иной мере зависимой от погоды и климата. Идеальные меры защиты носят крайне ограниченное применение для небольшой части хозяйственных или иных работ. Для таких потребителей, как морской флот (морские порты, транспортные операции и др.), строительство, сельское хозяйство, энергетика, меры защиты носят частичный характер, т. е. не являются кардинальными. Тем не менее непредотвращенные потери *потенциально предотвратимы*.

Непредотвратимые потери $L_{\text{нп}}$ — убытки, которые невозможно предотвратить. Такого рода потери неизбежны даже при заблаговременном и успешном прогнозе. Они отмечаются в сельском и лесном хозяйстве, в авиации, в строительстве и в других отраслях. Так, в сельском хозяйстве сильные ветры с ливневыми дождями и градом могут принести значительные потери злаковым и другим сельскохозяйственным культурам. В южных районах страны огромный ущерб сельскому хозяйству наносят черные бури. Длительные дожди, сильные морозы могут приостановить строительные работы. Сильные и продолжительные туманы в аэропортах вызывают непредотвратимые потери в работе авиации.

В каждой области производства потребитель *должен знать*, какие он несет потери (средние и максимальные) в различные сезоны в зависимости от разных явлений и условий погоды.

Реальные потери могут быть *прямыми* (разрушение, затопление, обрыв линий электропередачи и т. п.) и *косвенными* (простой производственных объектов вследствие повреждения ЛЭП по метеословиям).

Величина реальных, непредотвращенных убытков определяется следующими факторами:

- 1) степенью воздействия (интенсивностью и продолжительностью) опасного явления на объект;
- 2) масштабностью объекта воздействия;
- 3) эффективностью мер защиты;
- 4) заблаговременностью и успешностью прогнозов погоды и предупреждений об ОЯ и НГЯ.

Экономическая информация потребителя — это не только потери (убытки, расходы, издержки и т. п.), но и доходы, если этому благоприятствуют условия погоды. *Доходы, получаемые потребителем по метеорологическим условиям*, — это та польза, которую он извлекает из прогностических сведений, если изучен погодохозяйственный механизм, при котором доходы возможны. Доходы, обусловленные погодой и климатом, наиболее типичны в сельскохозяйственном производстве. Благоприятные погодные условия могут приносить доходы в работе рыбопромыслового флота, в строительстве и во многих других областях производства.

Экономическая информация, относящаяся к конкретному потребителю, позволяет выполнить ряд экономико-метеорологических операций как в области принятия решений, так и для оценки экономической полезности прогнозов.

10.2. Матричная форма обобщения и анализа прогностической информации

Наиболее распространенной и универсальной формой обобщения метеорологических прогнозов является матричное представление результатов прогнозирования. Матрицы сопряженности альтернативных и многофазовых прогнозов рассматривались в п. 6.4 и 6.5.

При оценке полезности прогнозов решаются две в определенной степени самостоятельные задачи. *Первая* — оценка успешности прогнозов, *вторая* — определение их хозяйственной полезности. Первая и вторая задачи требуют привлечения матрицы сопряженности. Потребитель может использовать рекомендуемые Гидрометслужбой прогнозы или предпочесть иные. Это право потребителя. Однако стратегия доверия прогнозам позволяет выбрать более вер-

ное хозяйственное решение, учитывающее влияние погодных условий, и определить их экономическую полезность.

Матрицы сопряженности метеорологических величин и явлений погоды ($\Pi_j \sim \Phi_i$) представляют собой эффективный способ статистического описания как результатов прогнозирования, так и перспектив использования прогнозов.

Выделяют два основных признака матрицы сопряженности.

1. *Уровень дискретности* — рассчитанное или заданное число градаций метеорологической величины или условия погоды. Матрица сопряженности альтернативных прогнозов содержит два признака типа „да—нет” или „было—не было”. В соответствии с уровнем дискретности различают: *альтернативные* и *многоразовые* матрицы сопряженности.

2. *Вид дискретности* — размер матрицы сопряженности, которая определяет матрицу как „квадратную” (например, 3×3) или „прямоугольную” (например, 4×6) соответствующего порядка n .

Для специального статистического анализа используются более сложные, многоуровневые матрицы сопряженности, приводимые в работах Г. Аптона и Де Гроота и др.

Элементы матрицы сопряженности прогностических (Π_j) и фактических (Φ_i) состояний погоды есть совместные частоты $n_{ij} = n(\Phi_i, \Pi_j)$, которые можно перевести в совместные вероятности осуществления прогноза Π_j и факта Φ_i . Определяются условные вероятности частот n_{ij} в данной матрице сопряженности, что необходимо для последующих экономических оценок. Формализация этих преобразований представляется следующим образом:

$$(n_{ij}) = \begin{vmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1m} \\ n_{21} & n_{22} & \dots & n_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ n_{n1} & n_{n2} & \dots & n_{nm} \end{vmatrix} \Rightarrow (p_{ij}) = \begin{vmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nm} \end{vmatrix} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (q_{ij}) = \begin{vmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1m} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & q_{nm} \end{vmatrix}. \quad (10.1)$$

В (10.1) записано: $p_{ij} = n_{ij} / N$; $q_{ij} = n_{ij} / n_{0j}$ (см. дополнительно п. 8.2 и 8.3).

Методические прогнозы, разрабатываемые в прогностических подразделениях, как правило, являются *смещенными*. Это значит, что преобладают ошибки-страховки ($\delta\eta = \eta_{\Pi} - \eta_{\Phi} > 0$) над ошибками-пропусками ($\delta\eta < 0$), иначе $n_{21} > n_{12}$. Инерционные прогнозы обладают свойством *несмещенности* — частота ошибок первого и второго рода одинакова: $n_{12}^{ин} = n_{21}^{ин}$.

10.3. Категорические и вероятностные прогнозы в модели принятия погодо-хозяйственных решений

В нашей стране до сих пор во всех местных прогностических подразделениях Росгидромета разрабатываются категорические прогнозы. Это прогнозы погоды, которые признаны официальными и получили широкое применение во всех отраслях экономики.

Прогнозы явлений погоды содержат единственное утверждение: „явление будет” или „оно не ожидается”. Последнее в тексте прогноза специально не выделяется. Категоричность утверждения состоит в том, что синоптик ожидает *100-процентное* осуществление явления или его осуществление, *равное нулю*. Никаких, как правило, промежуточных утверждений не дается.

Аналогичным образом прогнозируются метеорологические величины, когда в текст прогноза заносятся градации, ширина (интервальность) которых устанавливается теоретически или определяется „Наставлением” по службе прогнозов.

До сих пор в России и во многих других странах *категорическая форма* прогностической информации остается основной при использовании ее в хозяйственной практике. Хозяйственное решение потребителя и его производственное поведение осуществляются *только* в рамках прогностической информации. Если прогнозируется явление погоды (ОЯ, НГЯ), то потребитель может принять одно из двух решений: „защищаться”, если явление ожидается, и „не защищаться”, если оно не ожидается. В случае прогноза метеорологической величины *потребитель будет действовать так же категорично, в соответствии с ожидаемой градацией*, полагая, как и синоптик, что она *реализуется с вероятностью, равной единице*. Никаких отклонений в действиях потребителя в данном случае не предусматривается. Так рекомендует синоптик, и так поступает потребитель.

В реальной природе все ее состояния, которые можно записать градациями, постоянно изменяются. В этом раскрывается *вероят-*

ностный характер p природных условий, в том числе и метеорологических. Поэтому в действительности категорические прогнозы ($p = 1$) являются лишь частным вариантом вероятностных ($0 \leq p \leq 1$). Отсюда следует, что вероятностные прогнозы обладают важным свойством: они могут подчиняться законам *случайных распределений и статистических выводов*. Такая информация может быть успешно включена в программы автоматизированных систем управления (АСУ).

Вероятностные прогнозы позволяют потребителю *использовать статистические методы выбора оптимальных решений*. Это особо важные операции в хозяйственной практике. Если исходить из этого условия, то очевидно, что все используемые категорические прогнозы по мере накопления информации могут быть переведены в вероятностную форму. Такая процедура выполняется с помощью матрицы сопряженности, содержащей условные вероятности q_{ij} осуществления явления Φ_i при разработке и выдаче потребителю текста Π_j (см. матрицы (10.1)). Таким образом, матрица сопряженности категорических прогнозов в этом смысле *эквивалентна* матрице успешности вероятностных прогнозов. Именно эта информация, представляемая в вероятностной форме, приемлема для решения *задачи оптимального использования категорических прогнозов*.

Матрица сопряженности, предварительно разработанная в синоптической практике, позволяет составить прогнозы, при которых их тексту приписывается *вероятность* явления, состояния или условия погоды. Это уже *оперативная вероятность*, которую может использовать синоптик.

Некоторые методы прогнозирования содержат указания о вероятности, с которой ожидается осуществление данного явления или условия погоды.

В настоящее время допускается формулировка прогнозов в вероятностной форме таких условий погоды, как высота нижней границы облаков, метеорологическая дальность видимости, гроза и др.

Такие прогнозы позволяют составить матрицу сопряженности вероятностных прогнозов, *идентичную* указанной выше. В основе такой матрицы сопряженности будут уже не частоты n_{ij} , а вероятности q_{ij} осуществления текстов прогнозов.

Несмотря на известную степень ненадежности прогнозов, потребитель посредством матричной формы их обобщения получает возможность более уверенно принимать решения по планированию хозяйственных работ, операций, мероприятий и т. п. Выбор оперативных решений и стратегии использования прогностической информации полностью зависит от хозяйственной (производственной) специфики потребителя.

10.4. Функция полезности и формы ее представления

Любая деятельность человека сопряжена с понятием *полезность*. Все, что производится и создается в обществе, в том числе и действия любого масштаба и назначения, обретает разный уровень полезности.

Полезность есть универсальное свойство вещей и действий, чтобы удовлетворять потребность общества в них. *Вещи* — это создаваемое человеком многообразие предметов, продукции и продуктов. *Действия* проявляются как целенаправленная, допустимая обществом деятельность в производственной и социальной сферах, необходимая для достижения коллективных и государственных целей. Любая вещь и любое осознанное решение и действие оцениваются посредством полезности. Чем масштабнее, грандиознее действие, тем больше ответственность за его конечную полезность, тем выше цена последствий этих решений и действий.

Как создаваемая продукция, так и действия человека проявляются не сами по себе, а есть результат многих факторов, требующих их постоянного исследования и учета.

Влияние погоды и климата на экономическую и социальную сферы носит всеобъемлющий характер. Воздействию подвергаются все без исключения области человеческой деятельности. Погода и климат — только часть такого рода внешнего влияния на деятельность человека в области производства и в социальной сфере. В дальнейшем будем рассматривать *экономическую полезность*, когда влияние погоды и климата в *хозяйственной практике* можно выразить экономическими категориями: *потери, расходы, выгоды*.

В зависимости от ожидаемой погоды или климатических условий потребитель может принять одно из возможных производственных решений d_j в расчете на максимальную полезность следующих за ними хозяйственных действий. На основании сведений о множестве фактически осуществившихся метеорологических условий Φ и множестве решений — действий потребителя d устанавливается *функция полезности* принимаемых решений. В общем виде она записывается так:

$$\Theta_{ij} = \Theta(\Phi_i, d_j), \quad (10.2)$$

где Φ_i ($i = \overline{1, n}$) — фактическая погода с определенным значением метеорологических условий, осуществившаяся по истечении упреждающего действия потребителя; d_j ($j = \overline{1, m}$) — погодо-хозяйственные решения и действия потребителя в расчете на ожидаемую погоду Π_j .

Первоначально выбирается решение, согласно ожиданию Π , выполняется действие d_j , а затем уже осуществляется некоторая фаза погоды Φ_i , которая соответствует или не отвечает ожиданиям потребителя. Именно эта степень соответствия и раскрывает полезность учета прогностической информации.

Для любого сочетания в наборе (d, Φ) устанавливается некоторая полезность как результат учета получаемой информации о погодных и климатических условиях для данного потребителя. Функция полезности характеризует экономические последствия принимаемых потребителем хозяйственных (производственных) решений.

Иначе говоря, функция полезности отражает те издержки или выгоды, которые несет или получает потребитель, ориентируясь на те или иные условия погоды, состояния моря или иной области природной среды. Функция полезности замыкается на два вида информации: на метеорологическую и экономическую. С одной стороны, это информация об ожидаемом состоянии среды, с другой — те экономические последствия, которые отвечают действиям потребителя в зависимости от степени адекватности прогноза Π и факта Φ .

В дальнейшем такие решения потребителя, которые связаны с учетом погоды и климата, будем называть *погодо-хозяйственными*. Они принимаются в расчете получить пользу от применения прогностической информации в решении хозяйственных задач. Те решения, которые не связаны непосредственно с влиянием погодных и климатических условий и которые осуществляются в условиях, изолированных от погоды и климата, называют просто *хозяйственными*.

Функция полезности может быть представлена непрерывной моделью, в случае если поведение аргументов (Φ, d) непрерывно. Допускается непрерывное воздействие метеорологической величины на хозяйственный объект и плавное регулирование потребителем производственного процесса. Тогда формула (10.2) записывается следующим образом:

$$\Theta = \int_{\langle x \rangle} \int_{\langle a \rangle} \Theta(x, a) f_s(x, a) dx da, \quad (10.3)$$

где $x = \Phi$ — значение метеорологического элемента; $(d \equiv \Pi) = a$ — действия потребителя в расчете на осуществление метеорологического элемента $a = \Pi$; $\Theta(x, a)$ — функция распределения экономической характеристики полезности; $f_s(x, a)$ — функция двумерной плотности вероятности x и a ; $\langle x \rangle$ и $\langle a \rangle$ — области возможных значений x и a .

Если Φ и d являются элементами дискретных множеств, то функция полезности записывается в табличной, *матричной* форме. Размер и порядок матрицы полезности зависят от числа градаций Φ и Π , которые устанавливаются по требованию потребителя, принимающего такое же число погодо-хозяйственных решений d . Это положение отражается в договорных соглашениях, заключаемых при специализированном метеорологическом обеспечении.

Альтернативная и многофазовая матрицы полезности как дискретное выражение функции Θ приведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Матричное представление функции полезности Θ_{ij}

Матрица полезности при простой альтернативе $d_j(\Pi)$			Матрица полезности при многофазовых действиях $d_j(\Pi)$				
Фактическое осуществление погоды, Φ_i	Решения и действия потребителя $d_j(\Pi)$		Фактическое осуществление погоды, Φ_i	Решения и действия потребителя $d_j(\Pi)$			
	$d(\Pi)$	$d(\overline{\Pi})$		$d_1(\Pi_1)$	$d_2(\Pi_2)$	...	$d_m(\Pi_m)$
Φ	Θ_{11}	Θ_{12}	Φ_1	Θ_{11}	Θ_{12}	...	Θ_{1m}
$\overline{\Phi}$	Θ_{21}	Θ_{22}	Φ_2	Θ_{21}	Θ_{22}	...	Θ_{2m}
			$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
			Φ_n	Θ_{n1}	Θ_{n2}	...	Θ_{nm}

Полезность — понятие общее и не означает, что потребитель постоянно извлекает только доход, прибыль и т. п. Полезность в виде функции (10.2) отражает лишь *меру достижения хозяйственной или социальной цели*. При этом цель может достигаться или через изменение прибыльности (прямых доходов), или через изменение убыточности (потерь), или иным путем.

Общность формулы (10.2) не раскрывает пути достижения полезности, что связано с конкретными условиями реализации прогнозов и измерением последствий решений d . Отсюда функция полезности рассматривается как функция, характеризующая или *приобретение полезности* g , или *потерю полезности* s , или то и другое вместе $r = s - g$. Тем самым функция полезности разделяется на три класса.

Функция полезности (10.2), отражающая целесообразность реализации определенного вида действий d , имеет более сложное смысловое содержание и, как видим, может быть представлена в виде

функции дохода (выигрыша) g , в виде функции потерь s или функции расходов r .

Функция дохода

$$G_{ij} = g(\Phi_i, d_j) \quad (10.4)$$

означает, что потребитель использует (учитывает в своей практике) погодные условия, которые приносят прямой доход. К таким потребителям относятся сельскохозяйственное производство, ветроэнергетика и др.

Неблагоприятное влияние погоды сказывается практически на всех потребителях. Погодные условия проявляют себя как метеорологическая помеха, и производство несет те или иные потери. В этом случае функция полезности записывается в виде *функции потерь*

$$s_{ij} = s(\Phi_i, d_j). \quad (10.5)$$

Если потребитель измеряет последствия решений через потери s и доходы g , то тем самым рассматривается *функция расходов*

$$r_{ij} = r(\Phi_i, d_j). \quad (10.6)$$

Функция полезности, как видим, имеет избирательную производственную направленность. Полезность прогнозов в заданной области отражает лишь общую тенденцию потребителя извлечь пользу, возможную вследствие удачного учета погоды.

В решении ряда метеоролого-экономических задач, таких как разработка погодо-хозяйственного регламента принятия решений, выбор оптимальных решений и стратегий, разработка ресурсосберегающих технологий, в основном используется *функция потерь*.

В экономике России, как и в экономике других стран, потери по метеорологическим причинам постоянно растут, что связано с увеличением повторяемости опасных гидрометеорологических явлений (табл. 10.2).

Не вдаваясь в анализ приведенных в табл. 10.2 данных, заметим, что здесь условия погоды оказывают неблагоприятные воздействия на все отрасли экономики, особенно производственной сферы. Отсюда возникает необходимость широкого использования функции потерь. Кроме того, принимается в расчет известный постулат: „Служба прогнозов прежде всего необходима для предотвращения потерь по метеорологическим условиям”.

**Распределение числа случаев опасных гидрометеорологических явлений
по месяцам за 1991—2000 гг. По исследованиям А. И. Бедрицкого,
А. А. Коршунова, М. З. Шаймарданова**

Месяц	Годы										Сумма
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
Январь	17	7	15	5	17	12	19	6	8	13	119
Февраль	9	10	10	12	15	14	12	12	12	5	111
Март	8	6	11	17	16	5	14	16	6	7	106
Апрель	17	12	19	13	23	14	22	15	20	12	167
Май	27	19	21	30	32	31	12	23	22	34	251
Июнь	22	22	7	25	38	24	20	19	22	28	227
Июль	18	17	18	17	20	22	17	24	20	37	210
Август	9	10	9	19	17	21	10	19	19	19	152
Сентябрь	6	7	13	14	18	17	5	15	9	19	123
Октябрь	8	7	13	21	13	9	3	11	7	6	98
Ноябрь	6	9	10	11	23	11	6	8	11	5	100
Декабрь	6	16	17	11	22	26	10	7	4	8	127
Сумма	153	142	163	195	254	206	150	175	160	193	1791

10.4.1. Функция потерь. Матрица потерь

Если в качестве аргумента использовать прогностические (Π) и фактические (Φ) значения некоторой метеорологической величины X , то функция потерь устанавливается как последствие ошибок прогноза ($\Pi - \Phi$). Функции потерь, удовлетворяющие этому условию, были названы *разностными*.

Так, *линейная* функция потерь имеет вид:

$$s(\Pi, \Phi) = \begin{cases} A_1(\Pi - \Phi) & \text{при } \Phi \leq \Pi, \\ A_2(\Phi - \Pi) & \text{при } \Phi > \Pi. \end{cases} \quad (10.7)$$

Квадратическая функция потерь:

$$s(\Pi, \Phi) = \begin{cases} B_1(\Pi - \Phi)^2 & \text{при } \Phi \leq \Pi, \\ B_2(\Phi - \Pi)^2 & \text{при } \Phi > \Pi. \end{cases} \quad (10.8)$$

Линейно-квадратическая функция потерь:

$$s(\Pi, \Phi) = \begin{cases} A(\Pi - \Phi) & \text{при } \Phi \leq \Pi, \\ B(\Phi - \Pi)^2 & \text{при } \Phi > \Pi. \end{cases} \quad (10.9)$$

В формулах (10.7)—(10.9) коэффициенты A и B определяют „цену” отрицательных и положительных ошибок прогнозирования.

При такой интерпретации функция потерь может быть получена самим потребителем, если он ориентируется на некоторые значения Π по собственному усмотрению.

Для более полного аналитического описания функции потерь необходимо использовать ряд дополнительных факторов, отражающих специфику работы потребителя. Это может быть более сложный характер его защитных мероприятий, прямых потерь, вызывающих сложную цепь последующих издержек, вплоть до приостановки работ на отдельных участках и т. д.

Функция потерь (10.5) может быть представлена аналитически, графически или дискретно в матричной (табличной) форме.

В практических целях наиболее приемлемо представлять функцию потерь в матричной форме.

Исследование производственной специфики потребителя и степени влияния погодных условий на его хозяйственную деятельность позволяет составить описание соответствующего воздействия на потребителя погодных или климатических условий. На этом основании и устанавливается функция полезности или, в частности, функция потерь, практическим выражением которой является *матрица потерь*.

Наиболее простым дискретным выражением функции потерь является *матрица потерь второго порядка* ($n = 2$).

Матрицу потерь в случае альтернативного прогноза можно представить в табличной форме (табл. 10.3).

Таблица 10.3

Альтернативная матрица потерь

Фактически наблюдалась погода, Φ_i	Потребитель принимает решение, действие, $d(\Pi_i) = d_i$	
	$d(\Pi)$ — принимаются меры защиты согласно тексту прогноза Π	$d(\bar{\Pi})$ — меры защиты не принимаются, работа выполняется согласно тексту прогноза $\bar{\Pi}$
Φ	s_{11}	s_{12}
$\bar{\Phi}$	s_{21}	s_{22}

Такого вида матрица потерь позволяет представить полное описание экономических последствий погодо-хозяйственных решений d_i , относящихся к использованию прогнозов опасных для потребителя метеорологических явлений. Это могут быть прогнозы гроз,

ливней, шквалов, града, а также прогнозы тумана, гололеда и других погодных условий. В соответствии с текстом прогноза и при фактическом осуществлении отмечается простая альтернатива: по прогнозу: „ождается Π ”, „не ожидается $\overline{\Pi}$ ”; по факту: „наличие Φ ”, „отсутствие $\overline{\Phi}$ ”.

Матрицу потерь, представленную в виде табл. 10.3, в дальнейшем будем записывать следующим образом:

$$(s_{ij}) = \begin{vmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C & L \\ C & 0 \end{vmatrix}. \quad (10.10)$$

Входные параметры матрицы $d(\Pi_i)$ и Φ_i не исключаются, а просто не записываются.

Рассмотрим теперь содержание элементов s_{ij} матрицы потерь (10.10). По главной диагонали матрицы приведены значения s_{11} и s_{22} , которые отвечают условию, что действия d_j потребителя соответствовали успешным прогнозам: $\Pi \sim \Phi$ и $\overline{\Pi} \sim \overline{\Phi}$. По противоположной диагонали s_{12} и s_{21} есть те издержки, которые являются следствием ошибочных действий потребителя в связи с ошибочными прогнозами: $\overline{\Pi} \sim \Phi$ и $\Pi \sim \overline{\Phi}$.

Для удобства последующего анализа матрицы потерь дополнительно в (10.10) вводятся обозначения C и L , выражающие затраты на предупредительные меры и прямые потери.

Рассмотрим теперь содержание матрицы потерь (10.10), т. е. дадим характеристику ее элементов s_{ij} или (C, L) . Величина $s_{11} = C$ есть затраты потребителя, его издержки на защитные мероприятия в связи с текстом прогноза Π — явление (неблагоприятное условие погоды) ожидается и действительно наблюдалось. Меры защиты в таких ситуациях ($d(\Pi) \sim \Phi$) являются *оправданными*.

Если потребитель ориентировался на благоприятные условия погоды $\overline{\Pi}$ и они действительно наблюдались $\overline{\Phi}$, плановые хозяйственные мероприятия выполняются нормально без метеорологических помех или иных издержек метеорологического характера. На этом основании принимается, что $s_{22} = 0$. По противоположной диагонали в (10.10) приведены прямые потери s_{12} и затраты s_{21} , как следствие того, что потребителю были выданы неудачные, ошибочные прогнозы, на которые он ориентировался, доверяя поставщику информации. Ожидая по прогнозу благоприятную погоду $\overline{\Pi}$, потребитель планирует благоприятный ход работы. Опасные явления

или неблагоприятные условия погоды, непредусмотренные прогнозом, а тем более внезапные, вызывают нередко значительные *прямые потери* (убытки) $s_{12} = L$. В тех случаях, когда „явление” по прогнозу ожидалось Π , а фактически не осуществлялось, т. е. наблюдалось Φ , потребитель несет издержки от такого рода перестраховочных прогнозов в виде *напрасно принятых затрат* на меры защиты $s_{21} = C$.

Допускается, что принимаемые потребителем меры в целях защиты стоимостью $s_{11} = s_{21} = C$ достаточно эффективны и полностью исключают прямые потери $L = s_{12}$ по метеорологическим причинам в ситуации $d(\Pi) \sim \Phi$. Такие меры защиты называются *кардинальными*. Элементы s_{11} и s_{21} матрицы потерь отражают только затраты на защитные мероприятия.

Поскольку меры защиты кардинальны, то потребителю в ситуации $d(\Pi) \sim \Phi$ удастся полностью предотвратить потери на величину $s_{12} = L$. Это будут предотвращенные потери $L_n = L$.

В реальных условиях, как правило, меры защиты не являются кардинальными. Защитные свойства принимаемых мер носят *частичный характер*, т. е. прямые потери предотвращаются *частично*. Это свидетельство того, что какая-то доля, часть этих мер не достигает цели или сами по себе меры не столь значительны и эффективны, чтобы полностью избежать последствий стихии. Иначе, в хозяйственной практике применяются *некардинальные*, или *частичные*, *меры защиты*. Полностью предотвращать прямые потери по метеорологическим причинам удастся далеко не всем потребителям.

Матрица потерь при некардинальных мерах защиты записывается следующим образом:

$$(s_{ij}) = \begin{vmatrix} s_{11} + \varepsilon s_{12} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C + \varepsilon L & L \\ C & 0 \end{vmatrix}, \quad (10.11)$$

где ε — коэффициент непредотвращенных потерь, $L_n = \varepsilon L$ — непредотвращенные (остаточные) потери.

В ситуации $d(\Pi) \sim \Phi$ предотвращенные потери составляют величину $s_{12} - \varepsilon s_{12}$ или $L - \varepsilon L$.

Возможны следующие модификации матрицы потерь (10.11).

При $\varepsilon = 0$

$$(s_{ij}) = \begin{vmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C & L \\ C & 0 \end{vmatrix}. \quad (10.11')$$

При $\epsilon > 0$ сохраняется условие (10.11).

При $\epsilon = 1$

$$(s_{ij}) = \begin{vmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C, L & L \\ 0 & 0 \end{vmatrix}. \quad (10.11'')$$

Коэффициент непредотвращенных потерь ϵ может меняться в пределах от 0 до 1. Потребитель полностью предотвращает максимально возможные потери $s_{12} = L$, значит $\epsilon = 0$ (10.11'). Если он во все не принимает мер защиты, т. е. $s_{11} = C = 0$, прямые (непредотвращенные) потери достигают максимальной величины $L = s_{12}$ (10.11'').

Важной особенностью альтернативной матрицы потерь является то, что она содержит экономико-метеорологическую характеристику потребителя в виде отношения

$$A = \frac{C}{L}, \quad (10.12)$$

где C — затраты на предупредительные меры, кардинально достаточные, чтобы полностью предотвратить максимально возможные потери (убытки) L .

Альтернативная матрица потерь применима не только к анализу полезности метеорологических явлений, прогнозов, но и к прогнозам метеорологических величин, если потребителем установлено пороговое (штормовое) для него условие. Например, скорость ветра $V \geq 17$ м/с — опасная градация, а $V = 0$ —16 м/с — скорость ветра не опасная, приемлемая для выполнения данного вида работ.

Разработка альтернативных матриц потерь — задача сложная. Это прежде всего связано с отсутствием достаточно полных и надежных сведений о конечных результатах — последствиях реализации погодо-хозяйственных решений на основании прогнозов погоды. Такого рода статистические сведения руководитель, хозяйственник, менеджер получают из бухгалтерской финансовой отчетности.

Экономические оценки метеорологических прогнозов отвечают современному требованию гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства и должны выполняться поставщиком информации совместно с потребителем, с его планово-финансовыми или производственно-техническими, или иными отделами, ведущими учет реализации погодо-климатических ресурсов. Отсутствие подобного взаимодействия не позволяет эффективно использовать потенциальные возможности прогнозов.

Вторая сложность разработки матриц потерь состоит в том, что *не все потребители могут эффективно противодействовать* опасным неблагоприятным условиям погоды. Более того, сама *организация* проведения защитных мероприятий и их *стоимостная оценка* требуют современного понимания степени воздействия погоды и климата на производство.

Выделяется большое разнообразие альтернативных матриц потерь, которые выступают как простое выражение функции потерь (формула (10.5)). Это обусловлено спецификой работы отдельных потребителей, в первую очередь их технологическими, внутрипроизводственными особенностями. Прослеживается не только *отраслевое*, но и *внутриотраслевое различие* матриц потерь. Такие потребители метеорологических прогнозов, как морские порты, территориальные электросети, теплостанции (ТЭЦ), сельскохозяйственные производственные объединения (СПО), отличаются по мощности, энергоемкости, географической масштабности и т. п. и поэтому имеют различные матрицы потерь. Кроме того, матрицы потерь различаются по сезонам, поскольку при этом часто меняется характер производственных работ и их стоимостная оценка.

Кроме того, матрицы потерь сильно варьируют вследствие различия стоимости производственных работ. Так, при прочих равных условиях коммунальное, производственное и специальное строительство в северной зоне страны, т. е. в более суровых климатических условиях, обходится существенно дороже, чем в южной.

В оперативной синоптической практике прогноз явлений погоды, как правило, дается в альтернативной категорической форме. Интенсивность явления при этом обычно не указывается. Следовательно, в тех регионах, где, например, конвективные явления (гроза, ливень, град и др.) или явления термической устойчивости (туманы, гололеды) развиваются более интенсивно, потери потребителя по метеорологическим причинам могут оказаться заметно большими. Известно также, что метели в полярных районах страны особенно жестоки (Мурманск, Кировск, Архангельск, Амдерма, Норильск). Они по своей продолжительности и интенсивности не идут в сравнение с таковыми в умеренных, а тем более в южных широтах. То же можно сказать и о скорости ветра. Следовательно, не только внутренние, но и внешние параметры в системе погода—прогноз—потребитель определяют значения элементов матрицы потерь (s_{ij}).

В приложении 4 приведены сведения о прямых потерях $s_{12} = L$ и стоимости защитных мер $s_{11} = C$ в различных регионах и отраслях экономики России.

В соответствии с формулой (10.5), представляющей функцию потерь, запишем более полное ее дискретное выражение в виде *многофазовой матрицы потерь* (табл. 10.4).

Таблица 10.4

Многофазовая матрица потерь при кардинальных мерах защиты $\mathbf{z} = 0$

Фактически наблюдалась погода, Φ_i	Потребитель ориентируется (d_j) на прогноз (Π) или на возможную погоду (Φ) (по усмотрению)				
	d_1	d_2	d_3	...	d_m
Φ_1	s_{11}	s_{12}	s_{13}	...	s_{1m}
Φ_2	s_{21}	s_{22}	s_{23}	...	s_{2m}
Φ_3	s_{31}	s_{32}	s_{33}	...	s_{3m}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
Φ_n	s_{n1}	s_{n2}	s_{n3}	...	s_{nm}

Для предметности анализа матрицы потерь, приведенной в виде табл. 10.4, будем полагать, что потребитель использует прогнозы скорости ветра. Определим такую последовательность для d_j и Φ_i :

$d_j(\Pi)$	$\Pi_1(V = 0 \div 5)$	$\Pi_1(V = 6 \div 11)$	$\Pi_1(V = 12 \div 15)$	$\Pi_1(V = 16 \div 19)$	$\Pi_1(V \geq 20)$
$\Phi_i(V \text{ м/с})$	0—5	6—11	12—15	16—19	≥ 20

Дадим краткий анализ приведенной матрицы потерь. Степень дискретности (число градаций, фаз) зависит от конкретного условия (состояния) погоды. Если используется прогноз явления погоды, то очевидно $n = m = 2$. В случае прогноза метеорологических величин может быть $n = m \geq 2$.

Пусть Φ_i , как это показано выше, дано по мере роста опасного воздействия: от Φ_1 к Φ_n . В таком случае и d_j выстраивается в регламенте поведения потребителя от слабых мер защиты к более кардинальным ($d_1 \dots d_m$).

В такой ранжировке d_j и Φ_i элементы матрицы потерь отражают следующее: 1) по главной диагонали при $j = i$ (в начале принимается решение, затем следует погода) элементы $s_{ij} = s_{i=j}$ есть потери, отвечающие удачным решениям потребителя; 2) при $j > i$ в правом верхнем углу потери s_{ij} есть результат перестраховочных решений, т. е. напрасных затрат на предотвращение более опасных условий, которые не осуществились; 3) при $j < i$ в левом нижнем углу потери s_{ij} есть результат пропусков неблагоприятных условий, что сопровождается прямыми потерями. Элементы s_{ij} в матрице потерь отражают средние значения реальных потерь, полученные в резуль-

тате статистической обработки, проведенной потребителем. Потери s_{ij} принимаются по знаку положительными. Это означает, что потребитель несет потери по всей области решений d_j и реализаций погоды Φ_i .

В табл. 10.4 дана многофазовая матрица потерь, где Φ_i может быть скорость ветра, температура воздуха, высота низких облаков и др.

Очевидно, что в случае некардинальности мер защиты для всех элементов s_{ij} (C, L) необходимо установить коэффициент непредотвращенных потерь ε . В этом случае матрица потерь записывается так, как показано в табл. 10.5.

Таблица 10.5

Многофазовая матрица потерь при некардинальных (частичных) мерах защиты ($\varepsilon > 0$). Первое приближение

Фактически наблюдалось, Φ_i	$d_j(\Pi_j)$					$L_{i0}(\Phi_i)$
	$d_1(\Pi_1)$	$d_2(\Pi_2)$	$d_3(\Pi_3)$	...	$d_m(\Pi_m)$	
Φ_1	$C_{01} + \varepsilon_{11}L_{10}$	$C_{02} + \varepsilon_{12}L_{10}$	$C_{03} + \varepsilon_{13}L_{10}$	...	$C_{0m} + \varepsilon_{1m}L_{10}$	L_{10}
Φ_2	$C_{01} + \varepsilon_{21}L_{20}$	$C_{02} + \varepsilon_{22}L_{20}$	$C_{03} + \varepsilon_{23}L_{20}$	...	$C_{0m} + \varepsilon_{2m}L_{20}$	L_{20}
Φ_3	$C_{01} + \varepsilon_{31}L_{30}$	$C_{02} + \varepsilon_{32}L_{30}$	$C_{03} + \varepsilon_{33}L_{30}$	...	$C_{0m} + \varepsilon_{3m}L_{30}$	L_{30}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
Φ_n	$C_{01} + \varepsilon_{n1}L_{n0}$	$C_{02} + \varepsilon_{n2}L_{n0}$	$C_{03} + \varepsilon_{n3}L_{n0}$	...	$C_{0m} + \varepsilon_{nm}L_{n0}$	L_{n0}
$C_{0j}(\Pi_j)$	C_{01}	C_{02}	C_{03}	...	C_{0m}	

Ряд потребителей располагают многофазовым регламентом решений $[d(\Pi_j)]$, что экономически более предпочтительно, чем использование простой альтернативы: применять $d(\Pi)$ или не применять $\overline{d(\Pi)}$ меры защиты.

В подтверждение сказанного приведем следующий пример.

При альтернативном использовании прогнозов потребитель проводит кардинальные меры защиты стоимостью $s_{11} = s_{21} = 50$ тыс. руб./случай, если по прогнозу ожидается усиление ветра до 12 м/с и более. Общие издержки при этом составят 2,5 млн. руб. (табл. 10.6 преобразуется в альтернативную).

В случае использования многофазового прогноза скорости ветра потребитель принимает меры защиты, отвечающие ожидаемой скорости ветра. Это означает, что в зависимости от частот n_{0j} его издержки носят дифференцированный характер.

Зная затраты C при различных ожидаемых значениях скорости ветра $\Pi_j(V)$, потребитель несет издержки: при n_{02} в размере 380 тыс. руб., при n_{04} — 100 тыс. руб.

**Снижение затрат C на защитные меры при использовании
многофазового прогноза скорости ветра**

Фактически было, Φ_i	Решение потребителя $d_j(\Pi_j)$			
	d_1 $\Pi_1(V = 0-11)$	d_2 $\Pi_2(V = 12-14)$	d_3 $\Pi_3(V = 15-19)$	d_4 $\Pi_4(V \geq 20)$
$\Phi_1(V = 0-11)$	s_{11}	s_{12}	s_{13}	s_{14}
$\Phi_2(V = 12-14)$	s_{21}	s_{22}	s_{23}	s_{24}
$\Phi_3(V = 15-19)$	s_{31}	s_{32}	s_{33}	s_{34}
$\Phi_4(V \geq 20)$	s_{41}	s_{42}	s_{43}	s_{44}

Используются альтернативные условия

$$\underbrace{V = 0-11}$$

$$\underbrace{V \geq 12}$$

При $C = 50$ тыс. руб./прогн. и $\sum_j n_{0j} = 50$

находим $C \sum_j n_{0j} = 2500$ тыс. руб.

Используются многофазовые условия			
$C_{01} = 0$ $n_{01} = 100$ $C_{01}n_{01} = 0$	$C_{02} = 10$ тыс. руб. $n_{02} = 38$ $C_{02} \times n_{02} =$ $= 380$ тыс. руб.	$C_{03} = 20$ тыс. руб. $n_{03} = 10$ $C_{03} \times n_{03} =$ $= 200$ тыс. руб.	$C_{04} = 50$ тыс. руб. $n_{04} = 2$ $C_{04} \times n_{04} =$ $= 100$ тыс. руб.
В итоге $\sum_j C_{0j}n_{0j} = 680$ тыс. руб.			

Общая сумма издержек составляет 680 тыс. руб., что почти в 3,7 раза меньше, чем при альтернативном использовании прогнозов.

Однако полезность использования многофазовых прогнозов не ограничивается только этим преимуществом. Общие издержки как сумма $C + \varepsilon L$ также снижаются. Кроме того, при использовании многофазового прогноза потребитель имеет возможность разработать стратегию выбора оптимальных решений $[d_{\text{онт}}(\Pi_j)]$.

При некардинальных частичных мерах защиты ($\varepsilon > 0$) многофазовая матрица потерь приобретает более сложный характер (табл. 10.7) — второе приближение.

Разработка многофазовой матрицы потерь, приведенной в табл. 10.7, основана прежде всего на знании потребителем стоимости средств защиты C_{0j} , отвечающих определенному тексту прогноза Π_j и направленных на снижение потерь. При этом затраты C_{0j} растут по мере роста интенсивности (опасности) метеорологического условия (от Π_1 к Π_m).

Многофазовая матрица потерь при некардинальных (частичных) мерах защиты ($\varrho > 0$).
Второе приближение

Фактически наблюдались, Φ_i	$d_j(\Pi_j)$				$L_{j0}(\Phi_i)$
	$d_1(\Pi_1)$	$d_2(\Pi_2)$	$d_3(\Pi_3)$	$d_m(\Pi_m)$	
Φ_1	$C_{01} + \varepsilon_{11}L_{10}$	$C_{02} + \varepsilon_{12}L_{10}$	$C_{03} + \varepsilon_{13}L_{10}$	$C_{0m} + \varepsilon_{1m}L_{10}$	L_{10}
Φ_2	$C_{01} + \Delta C_{21} + \varepsilon_{21}L_{20}$	$C_{02} + \varepsilon_{22}L_{20}$	$C_{03} + \varepsilon_{23}L_{20}$	$C_{0m} + \varepsilon_{2m}L_{20}$	L_{20}
Φ_3	$C_{01} + \Delta C_{31} + \varepsilon_{31}L_{30}$	$C_{02} + \Delta C_{32} + \varepsilon_{32}L_{30}$	$C_{03} + \varepsilon_{33}L_{30}$	$C_{0m} + \varepsilon_{3m}L_{30}$	L_{30}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
Φ_n	$C_{01} + \Delta C_{n1} + \varepsilon_{n1}L_{n0}$	$C_{02} + \Delta C_{n2} + \varepsilon_{n2}L_{n0}$	$C_{03} + \Delta C_{n3} + \varepsilon_{n3}L_{n0}$	$C_{0m} + \varepsilon_{nm}L_{n0}$	L_{n0}
$C_{0j}(\Pi_j)$	C_{01}	C_{02}	C_{03}	C_{0m}	

Любой потребитель, по-хозяйски относящийся к учету в своей практике погодных условий, располагает достоверными сведениями о *максимально возможных потерях* $L = L_{\text{макс}}$, если меры защиты не были приняты до наступления опасного условия погоды. Причем величина L_{i0} отвечает определенному уровню воздействия погоды Φ_i .

В правом верхнем углу матрицы (см. табл. 10.7) потребитель использовал прогнозы, содержащие *ошибки-страховки* ($\Pi_{j+1} > \Phi_i$). В каждом случае потребитель будет нести затраты на меры защиты в размере C_{0j} . Другой статьей издержек в этих случаях будут *непредотвращенные потери* $\varepsilon_{ij}L_{i0}$.

Аналогичная особенность отмечается по главной диагонали ($\Pi_j = \Phi_i$).

В левом нижнем углу матрицы (см. табл. 10.7) потребитель испытывает влияние *ошибок-пропусков* ($\Pi_j < \Phi_{i+1}$). При данном тексте прогноза Π_j расходуются средства на защиту, которых оказывается недостаточно. Включаются непредвиденные, резервные затраты ΔC_{ij} . Кроме затрат на предупредительные меры потребитель несет прямые непредотвращенные потери $\varepsilon_{ij}L_{i0}$.

Разработка такого рода матрицы потерь во втором приближении сопряжена с определенной сложностью расчетов коэффициентов непредотвращенных потерь ε_{ij} .

Поскольку величина ε есть доля непредотвращенных (остаточных) потерь ($\varepsilon L/L$), то правомерно установить следующие крайние условия:

1) при Φ_i (благоприятные условия погоды) величина $L_{i0} = L_{i0} = 0$. Непредотвращенные потери εL отсутствуют;

2) при $\Pi_j = \Phi_i$ (по главной диагонали матрицы потерь) величина ε_{ij} пропорциональна L_{i0} ;

3) при максимальной ошибке-пропуске явления $\varepsilon = 1$ (или 0,95 при частичном предотвращении потерь);

4) при правильном прогнозе максимально опасной градации метеорологических условий $\varepsilon = 0,5$. В случае резкого, внезапного наступления разрушительной интенсивности погодных условий величина ε может быть заметно больше 0,5.

В табл. 10.8 дана матричная характеристика коэффициента непредотвращенных потерь ε_{ij} .

Допускается линейная функция величины ε от ошибочности решения (или, что то же самое, от ошибки прогноза):

$$\varepsilon = \begin{cases} A_1(\Delta\eta) & \text{при } \Delta\eta = \Pi - \Phi > 0, \\ A_2(\Delta\eta) & \text{при } \Delta\eta = \Pi - \Phi < 0. \end{cases}$$

Известная функция потерь (10.7) и ее дискретное представление в виде табл. 10.5 и табл. 10.7 отражают только *издержки* потребителя. Задача заключается в том, чтобы их уменьшить как за счет C , так и за счет εL .

Таблица 10.8

Коэффициент непредотвращенных потерь ε

Фактически наблюдалось, Φ_i	$d_j(\Pi_j)$				
	$d_1(\Pi_1)$	$d_2(\Pi_2)$	$d_3(\Pi_3)$	...	$d_m(\Pi_m)$
Φ_1	$\varepsilon_{11} = 0$	$\varepsilon_{12} = 0$	$\varepsilon_{13} = 0$	...	$\varepsilon_{1m} = 0$
Φ_2	ε_{21}	ε_{22}	ε_{23}	...	ε_{2m}
Φ_3	ε_{31}	ε_{32}	ε_{33}	...	ε_{3m}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
Φ_n	$\varepsilon_{n1} = 1$	ε_{n2}	ε_{n3}	...	$\varepsilon_{nm} = 0,5$

Однако в хозяйственной практике учета прогностической информации (и гидрометеорологической информации в целом) потребитель не только несет потери, но и частично их предотвращает на величину $L - \varepsilon L = L(1 - \varepsilon)$.

Если допустить эту целевую задачу, т. е. постоянно с помощью прогнозов предотвращать часть потерь, то матрица потерь (см. табл. 10.7) должна быть уточнена. Возникающие издержки ($C + \varepsilon L$) должны быть частично *компенсированы*, снижены на величину предотвращенных потерь $L_{ij} = (L - \varepsilon L)$.

На основании учета предотвращенных потерь определяется разностная величина S при каждом сочетании $d_j(\Pi_j) \sim \Phi_i$:

$$S = (C + \varepsilon L) - (L - \varepsilon L) = C - L(1 - 2\varepsilon). \quad (10.13)$$

Величина S представляет собой *конечные потери* как издержки $C + \varepsilon L$, частично компенсированные за счет предотвращенных потерь $L - \varepsilon L$. Элементы S_{ij} приведены в табл. 10.9.

Запишем теперь величину $\tilde{S}$ как сумму всех элементов матрицы конечных потерь

$$\tilde{S} = \sum_{i,j} S_{ij} [d_j(\Pi_j)] = \sum_{i,j} [C_{0j} + \Delta C_{ij} - L_{i0}(1 - 2\varepsilon_{ij})]. \quad (10.14)$$

Фрагмент матрицы конечных потерь

Фактически наблюда- лось, Φ_i	$d_j(\Pi_j)$				$L_{i0}(\Phi_i)$
	$d_1(\Pi_1)$	$d_2(\Pi_2)$	...	$d_m(\Pi_m)$	
Φ_1	$C_{01} - L_{10}(1 - 2\varepsilon_{11})$	$C_{02} - L_{10}(1 - 2\varepsilon_{12})$	...	$C_{0m} - L_{10}(1 - 2\varepsilon_{1m})$	L_{10}
Φ_2	$C_{01} + \Delta C_{21} -$ $- L_{20}(1 - 2\varepsilon_{21})$	$C_{02} - L_{20}(1 - 2\varepsilon_{22})$	...	$C_{0m} - L_{20}(1 - 2\varepsilon_{2m})$	L_{20}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
Φ_n	$C_{01} + \Delta C_{n1} -$ $- L_{n0}(1 - 2\varepsilon_{n1})$	$C_{02} + \Delta C_{n2} -$ $- L_{n0}(1 - 2\varepsilon_{n2})$	...	$C_{0m} - L_{n0}(1 - 2\varepsilon_{nm})$	L_{n0}
$C_{0j}(\Pi_j)$	C_{01}	C_{02}	...	C_{0m}	

Наряду с этим определяется среднее значение конечных потерь по всем элементам той же матрицы (см. табл. 10.9):

$$R(S) = \frac{1}{K} \sum_{i,j} [C_{0j} + \Delta C_{ij} - L_{i0}(1 - 2\varepsilon_{ij})], \quad (10.15)$$

где $K = n \times m$ — число элементов матрицы конечных потерь.

Если $[\tilde{S}, R(S)] > 0$, то преобладают издержки, потери. Если $[\tilde{S}, R(S)] < 0$, т. е. отмечаются отрицательные конечные потери, то это говорит в пользу выгоды использования прогнозов.

Запишем далее иное толкование матрицы потерь (см. табл. 10.9). Потребитель, используя многофазовые прогнозы, постоянно предотвращает потери (L_{Π}), которые могут оказаться больше или меньше издержек $C + \varepsilon L$. На этом основании устанавливается *конечная выгода* использования прогнозов:

$$W = (L - \varepsilon L) - (C + \varepsilon L) = L(1 - 2\varepsilon) - C. \quad (10.16)$$

Матрица *конечных выгод* приведена в табл. 10.10.

По аналогии с формулами (10.14) и (10.15) запишем суммарные $\tilde{W}$ и средние $R(W)$ конечные выгоды

$$\tilde{W} = \sum_{i,j} W_i [d_j(\Pi_j)] = \sum_{i,j} [L_{i0}(1 - 2\varepsilon_{ij}) - C_{0j} + \Delta C_{ij}]; \quad (10.17)$$

$$R(W) = \frac{1}{K} \sum_{i,j} [L_{i0}(1 - 2\varepsilon_{ij}) - C_{0j} + \Delta C_{ij}]. \quad (10.18)$$

Фрагмент матрицы конечных выгод

Фактически наблюдалось, Φ_i	$d_j(\Pi_j)$				$L_{i0}(\Phi_i)$
	$d_1(\Pi_1)$	$d_2(\Pi_2)$	...	$d_m(\Pi_m)$	
Φ_1	$L_{10}(1 - 2\varepsilon_{11}) - C_{01}$	$L_{10}(1 - 2\varepsilon_{12}) - C_{02}$	...	$L_{10}(1 - 2\varepsilon_{1m}) - C_{0m}$	L_{10}
Φ_2	$L_{20}(1 - 2\varepsilon_{21}) - C_{01} - \Delta C_{21}$	$L_{20}(1 - 2\varepsilon_{22}) - C_{02}$	...	$C_{0m} - L_{20}(1 - 2\varepsilon_{2m})$	L_{20}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
Φ_n	$L_{n0}(1 - 2\varepsilon_{n1}) - C_{01} - \Delta C_{n1}$	$L_{n0}(1 - 2\varepsilon_{n2}) - C_{02} - \Delta C_{n2}$	...	$L_{n0}(1 - 2\varepsilon_{nm}) - C_{0m}$	L_{n0}
$C_{0j}(\Pi_j)$	C_{01}	C_{02}	...	C_{0m}	

Величины $\bar{W} > 0$ и $R(W) > 0$ характеризуют преобладание выгоды над издержками. В случае их отрицательных значений ($\bar{W} < 0$ и $R(W) < 0$) преобладают издержки — затратное использование прогнозов.

Как видим, здесь приведен анализ матриц конечных затрат и выгод без учета вероятности осуществления текстов прогнозов.

10.4.2. Матрица расходов

В производственной практике потребитель, постоянно испытывая влияние погодных условий, рассматривает их не только как неблагоприятный фактор, вызывающий потери (ущерб), но и как положительно сказывающийся на выполнении оперативных заданий. С одной стороны, возможны потери s в ситуациях появления ОЯ или НГЯ, с другой — производственные доходы g при благоприятных условиях погоды.

Таким образом, формируется функция расходов (10.6), которую можно представить в виде *матрицы расходов* $\|r\|$ (табл. 10.11).

Таблица 10.11

Матрица расходов при использовании альтернативных прогнозов

Фактически было, Φ_i	Решение потребителя, $d_j(\Pi_j)$	
	$d(\Pi)$	$d(\bar{\Pi})$
Φ	r_{11}	r_{12}
$\bar{\Phi}$	r_{21}	r_{22}

Все элементы матрицы расходов $r_{ij} > 0$.

При использовании многофазовых прогнозов матрица расходов записывается так, как приведено в табл. 10.12.

Таблица 10.12

Матрица расходов $(s - g)$ при использовании многофазовых прогнозов

Фактически наблюдалось, Φ_i	$d_j(\Pi_j)$					$(L - D)_{i0}(\Phi_i)$
	$d_1(\Pi_1)$	$d_2(\Pi_2)$	$d_3(\Pi_3)$	...	$d_m(\Pi_m)$	
Φ_1	$(s - g)_{11}$	$(s - g)_{12}$	$(s - g)_{13}$	...	$(s - g)_{1m}$	$(L - D)_{10}$
Φ_2	$(s - g)_{21}$	$(s - g)_{22}$	$(s - g)_{23}$	...	$(s - g)_{2m}$	$(L - D)_{20}$
Φ_3	$(s - g)_{31}$	$(s - g)_{32}$	$(s - g)_{33}$	...	$(s - g)_{3m}$	$(L - D)_{30}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
Φ_n	$(s - g)_{n1}$	$(s - g)_{n2}$	$(s - g)_{n3}$	...	$(s - g)_{nm}$	$(L - D)_{n0}$
$C_{0j}(\Pi_j)$	C_{01}	C_{02}	...	...	C_{0m}	

В табл. 10.12 величины $(L - D)_{i0}$ выражают разность между максимально возможными потерями $L_{i0}(\Phi_i)$ и доходом производства $D_{i0}(\Phi_i)$ при различных условиях погоды.

Наряду с матрицей $(s - g)_{ij}$ разрабатывается матрица расходов вида $(W + g)_{ij}$, отражающая выгоду в системе расходов.

Глава 11

ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

11.1. Природные и экономические предпосылки

Метеорологическая среда — погода и климат со всеми их частными и комплексными проявлениями — оказывает всестороннее влияние на общество, но что особенно важно: для этого влияния характерна уникальная по своей природе двойственность. С одной стороны, благоприятные погодные и климатические условия обеспечивают созидательную функцию общества. В процессе сельскохозяйственного производства, полностью зависимого от погоды и климата, создаются продукты питания — главный источник жизнедеятельности человека. В условиях благоприятной погоды реализуется значительная доля производственного потенциала (энергетика, транспорт, строительство и др.). С другой — с воздействием все той же метеорологической среды могут быть связаны огромный ущерб и даже человеческие жертвы. Примеров тому не счесть: это и локальные проявления погоды — грозы, шквалы, ливни, град и др., а также охватывающие значительные территории катастрофические бедствия, обусловленные ураганными ветрами, метелями, обледенением, засухами, дождевыми и ветровыми наводнениями.

Все более значительные изменения крупномасштабных атмосферных процессов обнаруживаются по всему миру, включая Западную Европу и Россию. Постоянно возрастает повторяемость атмосферных процессов синоптического масштаба, приводящих к появлению опасных метеорологических и гидрологических явлений.

Прямые потери, обусловленные неблагоприятными гидрометеорологическими явлениями и стихийными бедствиями, постоянно растут. За последние 35 лет (1965—1999 гг.) потери в мировой экономике за счет природного фактора увеличились более чем в 74 раза. За период с 1965 по 1969 г. такие потери составили 1,02 млрд. долларов в среднем за год, с 1985 по 1989 г. — уже 17,2 млрд. долларов в год, а с 1995 по 1999 г. достигли 75,9 млрд. долларов в год.

С 1963 по 1991 г., т. е. за 28 лет, ущерб, причиненный экономике СССР за счет неблагоприятных гидрометеорологических условий, возрос почти в четыре раза. За период с 1986 по 1991 г. потери составили 133 млрд. рублей (в ценах 1990 г.), или 22,2 млрд. рублей за год. В последнее десятилетие, например, разрушительные последствия наблюдались при выходе южных (тропических) циклонов (тайфунов) на Дальний Восток. Наиболее глубокий из них

отмечался в ноябре 1995 г. Циклон, охвативший Приморский край, Амурскую область, Сахалин, Камчатку, причинил ущерб экономике страны, который составил более 350 млрд. рублей (в ценах 1995 г.).

Имеющиеся сведения об экономических потерях в России, хотя и не раскрывают полной картины издержек производства по метеорологическим причинам, тем не менее являются убедительным свидетельством степени зависимости экономики от гидрометеорологических явлений и нарастающей с годами их „агрессивности”.

В табл. 11.1 приведены потери, которые несет экономика России по метеорологическим причинам. Эти данные являются убедительным подтверждением того, что метеорологическая информация, а прогнозы погоды в особенности, является важным природным ресурсом, который постоянно реализуется в виде предотвращенных потерь.

По материалам, собранным во ВНИИГМИ—МЦД, выделено девять опасных гидрометеорологических явлений, причинивших значительный ущерб экономике различных районов страны в 1991—2000 гг. (табл. 11.2).

За период с 1991 по 2002 г. на территории России отмечено более 3000 опасных гидрометеорологических явлений. Наибольшее число опасных явлений отмечалось в 1995 г., в 1997 г. наблюдался

Таблица 11.1

Экономические последствия опасных явлений погоды на территории России за 1993—1997 гг.

Экономический район РФ	Подсчитанный ущерб, млн. руб. за год						
	1993	1994	1995	1996	1997	Сумма	Среднее
Северный	200,0	150,0	20,0	—	—	370,0	74,0
Северо-Западный	366,0	—	—	106,2	—	472,2	94,4
Калининградская обл.	—	—	—	—	—	—	—
Центральный	424,2	—	—	—	—	424,2	84,8
Волго-Вятский	—	65,0	—	2,7	—	67,7	13,5
Центрально-Черноземный	—	—	—	17,8	—	17,8	3,6
Поволжский	75,0	1170,4	—	57,8	—	1303,2	260,6
Северо-Кавказский	60,0	30,0	—	331,0	343,4	764,4	152,9
Уральский	600,0	—	—	9,0	5,5	614,5	122,9
Западно-Сибирский	820,0	250,0	367,0	175,6	11,5	1624,1	324,8
Восточно-Сибирский	—	1850	—	5,2	30,0	1885,2	377,0
Дальневосточный	401,8	10,0	20,5	145,0	42,0	619,3	123,9
РФ (общее число)	2947	3525,4	407,5	850,3	432,4	8162,6	—

Примечание. Суммы ущерба приведены к стоимости на 1 июля 1998 г.

Таблица 11.2

Распределение числа случаев опасных явлений погоды по территории Российской Федерации за 1991—2000 гг. По А. И. Бедрицкому, А. А. Коршунову, М. З. Шаймарданову

Экономический район РФ	Явление погоды*									Сумма явлений
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Северный	68	48	4	7	9	—	—	6	9	151
Северо-Западный	54	9	31	11	10	—	1	8	9	133
Калининградская обл.	8	2	2	4	2	—	—	2	3	23
Центральный	113	27	82	40	14	—	6	3	6	291
Волго-Вятский	101	17	42	30	7	—	7	4	6	214
Центрально-Черноземный	51	12	12	21	5	—	5	11	6	123
Поволжский	164	68	30	45	23	—	13	27	16	386
Северо-Кавказский	115	36	89	30	40	57	16	12	16	411
Уральский	139	59	56	47	32	—	10	22	14	379
Западно-Сибирский	274	79	42	49	30	1	6	14	18	513
Восточно-Сибирский	143	49	46	28	32	4	9	19	19	349
Дальневосточный	109	66	51	6	54	37	2	28	12	365
Сумма	1339	472	487	318	258	99	75	156	134	3338
В %	40,1	14,1	14,6	9,5	7,7	3,1	2,2	4,7	4,0	100

* 1 — ураган, сильный ветер, шквал, смерч; 2 — сильная метель, сильный снег, гололед; 3 — сильный дождь, продолжительный дождь, ливень, крупный град, гроза; 4 — мороз, заморозок, сильная жара; 5 — весеннее половодье, дождевой паводок, наводнение; 6 — лавина, сель; 7 — засуха; 8 — чрезвычайная пожарная опасность; 9 — сильный туман, пыльная буря, резкие изменения погоды, тягуны, сильные волнения и др.

спад, а с 1998 г. — новый подъем активности синоптических процессов (рис. 11.1).

С целью оценки влияния метеорологических факторов на экономику ведется постоянное слежение за обусловленными ими потерями в различных отраслях. Это касается главным образом непродотраченных (остаточных) потерь. Нередко такая информация

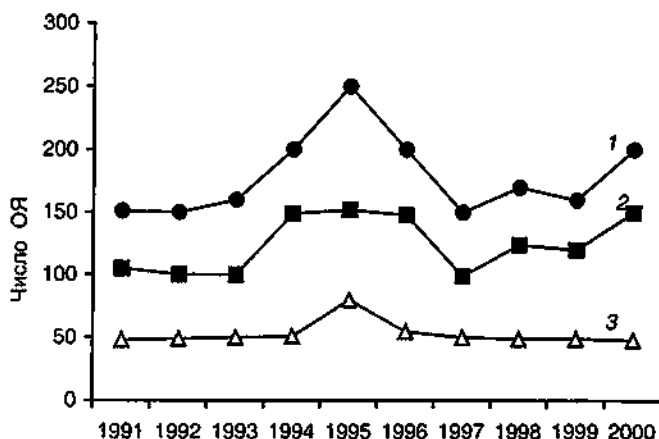


Рис. 11.1. Годовой ход числа ОЯ на территории России.
По А. И. Бедрицкому.

1 — общее число ОЯ, 2 — число ОЯ в теплый период, 3 — число ОЯ в холодный период.

носит фрагментарный характер, однако раскрывает представление о степени зависимости от погоды.

Максимальное число опасных проявлений погоды связано непосредственно с усилением ветра. Только за май—июль 1998 г. ущерб, обусловленный сильным ветром, на европейской части России составил 1 млрд. 89,4 млн. руб. (табл. 11.3).

Таблица 11.3

Ущерб, обусловленный сильным ветром и шквалами в мае—июле 1998 г. на европейской части России

Дата	Район	Максимальная скорость ветра, м/с	Ущерб, млн. руб.
12 мая	Новороссийск	36	Повреждены ЛЭП, крыши домов, выбиты стекла
1—2 июня	Карачаево-Черкессия	24—29	По республике — 5,5 (по г. Черкесску — 2,1)
	Псковская обл.	15—16	Пострадали сельхозпредприятия, хозпостройки, ЛЭП; ущерб — 0,2
12—16 июня	Волго-Вятский	25—30	Сорваны крыши домов, повреждены ЛЭП; Кировская обл. — 0,3; Ивановская обл. — 1,0; Чувашия — 3,0

Дата	Район	Максимальная скорость ветра, м/с	Ущерб, млн. руб.
15 июня	Северо-Западный	23—30	Псковская обл. — 3,4, погиб 1 человек; Новгородская обл. — 0,6; Смоленская обл. — 1,4; Ленинградская обл. — 0,5
20 июня	Москва и область	25—30	Москва — 1000,0; область — 61,7; погибло 9 человек
25 июня	Таганрог	27—31	Повреждения на асфальтовом заводе и аэродроме
3 июля	Саратовская обл.	25—28	Погибли 2 человека; ущерб — 4,0
	Карачаево-Черкессия	20	Погиб 1 человек; ущерб — 3,3
12 июля	Кировская обл.	24	Ущерб — 2,2
10—12 июля	Северо-Западный и Центральный	17—25	Повалены деревья, нарушалось энергоснабжение, телефонная связь, сорваны крыши домов

11.2. Погодо-хозяйственные решения и стратегии

11.2.1. Оптимальное управление: некоторые определения и понятия

Управление — центральная функция организационной системы, обеспечивающая сохранение режима деятельности и реализацию достижения цели. Возможны стихийное и сознательное управление.

Стихийное управление исключает упорядочение суждений, логических и научных построений и оценок. Такого рода управление базируется на случайном, интуитивном выборе действий.

Сознательное управление есть процесс осуществления ряда последовательных операций, которые являются специфическими для данного производственного или иного объекта и позволяют минимизировать их время и ресурсы (производственные, энергетические, трудовые).

Управление предполагает учет воздействия на потребителя сложного рыночного механизма и постоянного влияния внешней, главным образом гидрометеорологической, среды.

Основными звеньями, составными частями управления выступают хозяйственные решения, принимаемые в целях повседневной реализации хозяйственных планов.

Управление предполагает постоянный выбор *оперативных решений* (на часы, сутки), т. е. ежедневных решений в текущей хозяйственной практике. Однако хозяйственная деятельность включает в себя не только оперативные решения, но и *стратегические*, ориентацию частного или совокупного вида деятельности на длительный период (на месяцы, годы). Правильный выбор оперативных и стратегических решений позволяет снизить соответственно „маломасштабные“, текущие и „крупномасштабные“ долгопериодные колебания финансовых потоков и выгод.

Выбираемые решения и стратегии устанавливаются на основании ряда факторов, о которых потребителю что-то известно. Управляющий или менеджер стремится перевести многофакторную задачу в однофакторную, т. е. упростить ее. Выбирается более важная составляющая принятия решения. Одной из таких составляющих, как правило, является погодо-климатический фактор. Это обусловлено необходимостью *оптимального учета* влияния погоды или климата на *успех выполнения* краткосрочных или долгосрочных задач.

Решения, рассчитанные на любую продолжительность, разделяют на два класса: рациональные и оптимальные.

Под термином *рациональные решения* понимается разумное действие, основанное на опыте и умозаключении субъекта. *Рациональное решение*, действие предполагает *снижение издержек, улучшение качества, целесообразную организацию труда, дела и т. п.*

Оптимальное решение позволяет достичь наилучшего результата. В переводе с латыни *оптимальный* значит *наилучший*. С математических позиций „оптимальное“, или „оптимум“, означает лучшее из возможных. Другими словами, *оптимальное управление* позволяет достичь цели, желаемого результата посредством выбора *оптимального решения*.

Погодо-хозяйственные решения в рамках экономической метеорологии относятся к области тех решений, которые требуют обязательного оптимального учета погоды или климата.

11.2.2. Оптимальные решения и стратегии — центральное звено системы управления

Существующая практика использования гидрометеорологической, и в частности метеорологической, информации еще не совершенна. Нередко потребители прибегают к тривиальным, неориги-

нальным оценкам степени зависимости производственного объекта от опасных явлений погоды. На этом основании допускаются упрощенные подходы в выборе погодо-хозяйственных решений, которые не отвечают мерам защиты, адекватным неблагоприятной погоде. Конечно, потребитель вправе принимать любое погодо-хозяйственное решение, которое сочтет нужным. Диапазон таких решений достаточно велик. Каждое из них содержит определенную неточность обоснования, недостаточность знаний и в итоге ошибочность выбора. Никто не планирует неудачные решения, но их трудно избежать, даже принимая, казалось бы, обоснованные решения. Неудачное или удачное погодо-хозяйственное решение — это следствие полноты и точности учета природного фактора.

Качественный, интуитивный поиск погодо-хозяйственного решения не дает ответа на вопрос, какое из возможных решений экономически наиболее верное, а значит, выгодное. Исторически сложившийся у потребителя стереотип второстепенности метеорологического фактора повсеместно изживает себя. Используется научно обоснованный подход к учету ожидаемых погодных условий и выбору оптимальных погодо-хозяйственных решений.

Все потребители выбирают оперативное погодо-хозяйственное решение в зависимости от предстоящей погоды и специфики планируемой производственной операции. В подсистеме прогноз—потребитель выступают, с одной стороны, лица, принимающие решения, и их действия d , с другой — ожидаемая погода ($\Pi \rightarrow \Phi$), которая не имеет злого умысла и „руководствуется” по отношению к потребителю известными физическими законами.

Располагая уже известными фактическими сведениями о погоде, потребитель использует вероятность $p(\Phi_i)$ ее отдельных фаз (Φ_i). Вероятностное описание фаз погоды есть необходимое условие научного обоснования выбора оптимального решения.

Погодо-хозяйственное решение должно быть не просто верным, а верным в основном, т. е. *лучшим в вероятностном смысле*.

Решения, принимаемые потребителем, носят сугубо индивидуальный характер, что обусловлено спецификой хозяйственной деятельности, которая отражена в матрицах потерь. Это означает, что при одной и той же прогностической информации каждый потребитель будет принимать свое погодо-хозяйственное решение. Для этого необходимо иметь два вида информации: прогнозы, представленные матрицей сопряженности $\|n_{ij}\|$, и матрицу потерь $\|s_{ij}\|$.

Под *оптимальными* будем понимать такие решения, которые обеспечивают потребителю достижение конкретной производственной цели, минимизируя издержки производства.

В хозяйственной практике в качестве показателя выбора решений используется понятие *средних потерь*. Задача выбора погодохозяйственного решения сводится к тому, чтобы выбрать такое решение, которое обеспечивает минимум средних потерь.

Будем полагать, что при альтернативном прогнозе пространство (набор) предикторов разбивается на две области: A и $\bar{A}$. Если предиктор попадает в область A , то формулируется текст прогноза Π : ожидается явление Φ ; если предиктор попадает в область $\bar{A}$, то прогнозируется $\bar{\Phi}$. Следуя Г. В. Грузе, запишем средние потери (функцию риска) в виде

$$\bar{R} = \int_A [-Lp_{10}p(\Pi/\Phi) + Cp_{20}p(\Pi/\bar{\Phi})]d\Pi + Lp_{10}, \quad (11.1)$$

где p_{10} и p_{20} — климатические повторяемости (вероятности) наличия или отсутствия опасного явления Φ и $\bar{\Phi}$ соответственно; $p(\Pi/\Phi)$ — вероятность текста Π при осуществлении явления Φ ; $p(\Pi/\bar{\Phi})$ — вероятность текста Π при осуществлении благоприятных условий погоды $\bar{\Phi}$; L — прямые потери при полном отсутствии мер защиты; C — затраты на предупредительные меры.

Величина $\bar{R}$ должна быть минимальной, если удовлетворяется условие в области A :

$$Lp_{10}p(\Pi/\Phi) > Cp_{20}p(\Pi/\bar{\Phi}). \quad (11.2)$$

Выбор области A , отвечающей минимуму средних потерь, приводит к первому байесовскому правилу:

$$\frac{p(\Phi/\Pi)}{p(\bar{\Phi}/\Pi)} \geq \frac{C}{L}, \quad (11.3)$$

что означает: потребителю следует ориентироваться на неблагоприятную погоду Φ .

В противном случае, когда выполняется второе байесовское правило

$$\frac{p(\Phi/\Pi)}{p(\bar{\Phi}/\Pi)} < \frac{C}{L}, \quad (11.4)$$

потребителю необходимо ориентироваться на фазу $\bar{\Phi}$.

В правилах, представленных неравенствами (11.3) и (11.4), приведены условные вероятности как апостериорные вероятности q_{ij} ожидаемых фаз погоды при данном тексте прогноза Π .

Как видим, потребитель допускает разработку оперативных решений на основании статистических материалов, полученных *postfactum*.

Все оперативные решения осуществляются в рамках единой стратегии, предусматривающей минимальные потери или максимальный выигрыш использования выбранной информации.

Совокупность решений потребителя выстраивается в определенную систему действий потребителя в соответствии с той метеорологической информацией, на которую он ориентируется. Тем самым устанавливается, выбирается погодо-хозяйственная стратегия.

Стратегия, которая обеспечивает самый выгодный информационный ресурс, а в итоге и результат действий, операций, называется *оптимальной*.

Если решение есть одноразовое поведение, то стратегия — некоторое принципиальное отношение, в частности, к прогнозам, рассчитанное на длительный период. Оптимальная погодо-хозяйственная стратегия есть научно обоснованная система выбора экономически выгодных действий, которые проявляются в ежедневных оптимальных решениях на основе выбранной прогностической информации.

Стратегия называется *чистой*, если конкретным ожидаемым метеорологическим условиям всегда соответствует одно и то же действие потребителя. В случае набора действий стратегия называется *смешанной*, или *рандомизированной*. Действие в таких стратегиях сводится к случайному выбору из некоторой совокупности действий согласно заданному распределению вероятностей.

11.3. Критерии оптимальности. Целевая функция

В хозяйственной практике лицо, принимающее оперативное решение или определяющее долговременную стратегию, стремится перевести многофакторную задачу в более простую, а нередко свести ее к однофакторной. В зависимости от содержания задачи могут быть выбраны два или даже один фактор, от которого зависит успех дела.

В случае погодо-хозяйственного решения (или стратегии) в качестве *внешнего определяющего фактора* выступают *погода и климат*. Потребитель (диспетчер, руководитель, менеджер) выбирает с учетом погоды или известных климатических характеристик такое

действие d из возможного выбора действий $\{d\}$, которое обеспечивает решение целевой задачи, достижение лучшего результата.

Решение хозяйственной или коммерческой задачи связано с неоднозначностью выбранного фактора, т. е. недетерминированностью функций и аргумента. Это означает, что на практике складываются условия *частичной неопределенности*. Учитываемый потребителем фактор представляется в дискретной форме, а осуществление выбранных его фаз или градаций — определенными вероятностями p .

В рамках рассматриваемой хозяйственной модели решается важный вопрос. Чтобы отыскать *оптимальную стратегию*, потребитель должен выбрать критерий сравнения, позволяющий установить, какому погодо-хозяйственному решению или какой из возможных погодо-хозяйственных стратегий следует отдать предпочтение, иначе: какое из решений или какая из стратегий обеспечит достижение цели. Для описания производственного или коммерческого успеха используется любой показатель доходности.

В качестве *критериев оптимальности* (целевой функции) могут выступать различные технические и экономические показатели функционирования объекта.

Любые действия, выполняемые на производстве (государственном, коммерческом) или в сфере услуг, характеризуются определенными показателями. Это могут быть затраты, себестоимость продукции, ее качество, объем выпускаемой продукции, время, необходимое на выполнение операции, максимальные потери (по тем или иным причинам), степень риска и т. п. Каждый из них в отдельности или некоторые их совокупности выступают в качестве критериев оценки *выбора лучшего варианта, решения, действия* в данной области управления.

Потребитель ставит задачу, чтобы среди известного числа возможных вариантов-действий найти лучшее решение, иначе говоря, на базе рациональных вариантов установить оптимальный.

В сложных условиях, когда трудно отдать предпочтение определенному критерию оптимальности, выбор рационального решения (стратегии, действий) осуществляет руководитель (генеральный или менеджер).

В ситуациях принятия погодо-хозяйственных решений потребители используют в основном такие критерии оптимальности, которые могут быть следствием влияния на производство погоды и климата. К таким экономическим показателям относятся следующие: снижение издержек на производстве при выполнении хозяйственных операций, в коммерческих структурах; увеличение прямого дохода или прибыли, получаемых в тех же областях деятельности; предот-

вращение крупных потерь, превышающих некоторый порог, и ряд других. В соответствии с этим рассмотрим следующие *критерии оптимальности*.

Средние потери. В рамках экономической метеорологии при выборе в хозяйственной практике оптимального поведения (действия), а также в других задачах прикладного назначения широкое распространение получил такой показатель, как средние потери $\bar{R}$. Полагая известными матрицу потерь (см. табл. 10.3) $s_{ij} = s(\Phi_i, d_j)$ и матрицу совместных вероятностей осуществления прогнозов (см. табл. 6.1) $p_{ij} = p(\Phi_i, \Pi_j)$, запишем:

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s(\Phi_i, d_j) p(\Phi_i, \Pi_j). \quad (11.5)$$

Средняя выгода (выигрыш). При известной матрице выигрышей в соответствии с (10.4) $g_{ij} = g(\Phi_i, d_j)$ и матрице совместных вероятностей $\|p_{ij}\|$ средняя выгода определяется следующим образом:

$$\bar{G} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g(\Phi_i, d_j) p(\Phi_i, \Pi_j). \quad (11.6)$$

Средние потери $\bar{R}$ и средняя выгода $\bar{G}$ приведены здесь в рамках байесовского подхода, более подробная характеристика которого будет дана в п. 11.4.

Между критериями $\bar{R}$ и $\bar{G}$ существует определенная взаимосвязь. Преобразуем $\bar{R}$ к виду так называемых приведенных потерь, т. е. потерь, возможных относительно некоторых пороговых условий (например, мин $s_{ij}(\Phi_i)$):

$$\bar{R}^* = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [s_{ij} - \min s_{ij}(\Phi_i)](\Phi_i, d_j) p_{ij}(\Phi_i, \Pi_j). \quad (11.7)$$

Здесь $s_{ij} - \min s_{ij}(\Phi_i)$ — потери опасений (по Сэвиджу), приведенные потери (по Н. А. Багрову) или метеорологические потери (по Е. Е. Жуковскому).

Под знаком суммы в (11.7) может быть записана величина приведенных потерь, выраженная снижением выгод (макс $g_{ij} - g_{ij}$) при заданной фазе погоды Φ_i , т. е.

$$\bar{G}^* = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [\max g_{ij}(\Phi_i) - g_{ij}](\Phi_i, d_j) p_{ij}(\Phi_i, \Pi_j). \quad (11.7')$$

Поскольку $\sum_{i=1}^m \max g_{ij}(\Phi_i, d_j) p(\Phi_i, \Pi_j)$ не зависит от выбранной стратегии, тем самым устанавливается соотношение

$$\bar{R}^* = Z - \bar{G}^*, \quad (11.8)$$

где Z — некоторая константа.

Согласно (11.8), особенность байесовского подхода состоит в том, что оптимальная стратегия, минимизирующая средние потери, одновременно максимизирует средние выгоды (доходы). Это свойство *инвариантности* подтверждает эквивалентность использования как матриц потерь, так и матриц выгоды (дохода).

Дисперсия потерь. Критерий $\bar{R}$ отражает средние хозяйственные условия и не учитывает изменчивость потерь, т. е. насколько существенно различаются потери s от случая к случаю. В ряде отраслей народного хозяйства важной характеристикой успеха является стабильность функционирования производства. В случае значительных отклонений выработки продукции и связанных с этим потерь от *средних условий* решается задача минимизации этих отклонений. Для решения этой задачи используется дисперсия потерь (или дисперсия иной характеристики производства):

$$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (s_{ij} - \bar{R})^2 p_{ij}(\Phi_i, \Pi_j). \quad (11.9)$$

Некоторые потребители используют два показателя $\bar{R}$ и D , которые и следует минимизировать.

Вероятность крупных потерь. Хозяйственная специфика определенного класса потребителей проявляется в том, что производство не должно допустить больших потерь. Такие потери могут возникать как по причинам чисто хозяйственного характера, так и за счет метеорологических условий.

В качестве критерия оптимальности используется условие

$$Y = p(s > s_{\max})$$

или

$$Y = p(L > L_{\max}), \quad (11.10)$$

где $s = L$ — потери, $s_{\max}$ — максимально допустимые потери.

Минимизируется повторяемость или вероятность потерь, превышающих некоторый заранее заданный уровень $s_{\max} = L_{\max}$.

Коэффициент вариации. Если функция полезности интерпретируется как функция выигрыша G , то для такого потребителя при нестабильных условиях дохода приемлемым будет критерий оптимальности в виде коэффициента вариации:

$$V = \frac{\sigma_g}{\bar{G}}, \quad (11.11)$$

где σ_g — среднее квадратическое отклонение выигрышей g , $\bar{G}$ — средний выигрыш при заданной стратегии.

Коэффициент вариации отражает изменчивость хозяйственных, коммерческих и иных условий. Это может быть изменчивость урожайности, добычи морепродуктов, поставок комплектующих изделий, подачи тепловой или электрической энергии, поставок в сеть магазинов продуктов питания и т. д. Изменчивость конкретного условия есть следствие многих причин (фактов), которые и подлежат исследованию; при этом следует выбирать такие действия, которые обеспечивают минимум вариации.

Справедливый компромисс. В хозяйственной практике использование какого-либо одного критерия зачастую оказывается недостаточным. При планировании хозяйственных мероприятий необходимо учитывать ряд факторов. Однако решение, принятое по одному фактору, может вступать в противоречие с решением, принятым по другому фактору. Этим осложняется выбор лучшего решения или лучшей стратегии. Возникает проблема формализации многокритериальной, *векторной оптимизации*.

Для решения такой задачи предложен *принцип справедливого компромисса*. Он состоит в том, что все критерии, принятые для решения задачи, считаются одинаково важными.

Пусть в качестве критериев оптимальности выбраны $y_1 = A$, $y_2 = B$, $y_3 = C$, $y_4 = D$, определяемые через ожидаемые значения a метеорологической величины X , т. е. $a(X) = \Pi$. Справедливый компромисс состоит в том, что потребитель должен ориентироваться на такое значение $a = \Pi$, при котором экстремизируется сумма

$$F = \sum_{i=1}^n \lg y_i(a), \quad (11.12)$$

что отвечает условию, при котором равна нулю сумма

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i} \frac{dy_i}{da}. \quad (11.13)$$

Статистические критерии оптимальности $\bar{R}$, $\bar{G}$, D , $p(s > s_{\max})$ и другие выбираются в зависимости от специфики производства, а значит, от конкретной задачи. Каждый из них отвечает хозяйственной цели потребителя. Отсюда следует, что критерии оптимальности являются в то же время функциями цели.

11.4. Байесовская оценка средних потерь

Потребитель располагает достаточно объективной метеорологической и экономической информацией, чтобы принимаемые им оперативные и стратегические решения достигали цели. Использование экономической информации выражается в том, что действия потребителя d_j , ориентированные на погоду Φ_i , приведут к результату в виде полезности (G_{ij}) . Известная функция полезности (10.2) может быть представлена в дискретном матричном виде. Это может быть матрица выгоды $\|g_{ij}\|$ или матрица потерь $\|s_{ij}\|$, что рассматривалось в п. 10.4.

В подавляющем большинстве хозяйственных ситуаций потребитель все больше озабочен потерями по метеорологическим причинам. Это характерно для всех отраслей производства. Однако в текущей хозяйственной практике потребитель может извлечь выгоду, если погода способствует выполнению плановых работ. Последнее обстоятельство рассматривается в качестве обычного условия, и, как правило, этому не уделяется особого внимания. В свою очередь увеличение с годами потерь за счет опасных условий погоды (см. п. 11.1) свидетельствует о необходимости рассматривать функцию полезности через функцию потерь. Запишем последнюю в виде матрицы потерь в самом простом виде, когда потребитель принимает кардинальные меры защиты ($\epsilon = 0$) (см. формулу (10.10))

$$(s_{ij})_{\epsilon=0} = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{pmatrix}_{\epsilon=0} = \begin{pmatrix} C & L \\ C & 0 \end{pmatrix}_{\epsilon=0}.$$

Типичной является ситуация, когда потребитель принимает решение в соответствии с ожидаемой погодой P_j . Потребитель при этом будет выбирать такой прогностический подход, который наилучшим образом отвечает выполнению его хозяйственной задачи. Известно, что большинство потребителей в различных отраслях производства используют в основном прогнозы, разрабатываемые

в прогностических подразделениях Росгидромета. Эти прогнозы рассматриваются как методические и в то же время как официальные.

Вместе с тем такого рода метеорологические прогнозы могут разрабатываться несколькими учреждениями, включая коммерческие (в пункте, в районе), имеющими лицензии Росгидромета. Потребитель может выбрать более предпочтительную для него прогностическую информацию. Это одно из возможных направлений выбора лучшей стратегии.

Кроме того, наряду с методическими прогнозами можно выбрать и иные прогнозы, разработка которых не требует глубокого физического обоснования. Это могут быть инерционные прогнозы, в основе которых лежит информация об исходной погоде, или прогнозы по местным признакам и другие подходы вплоть до случайных прогнозов.

Вместе с тем потребитель вправе выбрать для осуществления своих целей такой метод прогнозирования явления погоды, который позволяет минимизировать потери по метеорологическим причинам.

Методические и неметодические прогнозы обобщаются в виде матриц сопряженности, что позволяет установить повторяемость (которую мы можем допускать как вероятность) осуществления отдельных фаз погоды: $p_{ij} = p(\Phi_i, \Pi_j)$.

Итак, потребитель располагает экономической информацией о возможных последствиях своего поведения и метеорологической информацией, которая представляется рядом матриц сопряженности прогнозов, разрабатываемых на основании некоторых методов. Обобщение этих прогнозов представим в табл. 11.4.

Таблица 11.4

Обобщенное представление прогностической информации

Методические и неметодические прогнозы	Методические прогнозы, разрабатываемые различными методами
$\left. \begin{array}{c} \ n_{ij}\ _m \\ \ n_{ij}\ _{ин} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \ n_{ij}\ _{сл} \end{array} \right\} \Rightarrow \ p_{ij}\ \Rightarrow \ q_{ij}\ $	$\left. \begin{array}{c} \text{метод } A \ n_{ij}\ _m \\ \text{метод } B \ n_{ij}\ _m \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \text{метод } K \ n_{ij}\ _m \end{array} \right\} \Rightarrow \ p_{ij}\ \Rightarrow \ q_{ij}\ $

Совместные (p_{ij}) и условные (q_{ij}) вероятности позволяют перейти к оценке средних потерь $\bar{R}$, которые может нести потребитель при оперативном и стратегическом выборе ориентации на те или иные прогнозы:

$$\bar{R} = R[s(\Phi, d), p(\Phi, \Pi)]. \quad (11.14)$$

Если потребитель постоянно доверяет тем или иным прогнозам, то число его действий d_j , отвечающих содержанию прогноза, будет соответствовать числу текстов прогнозов Π_j . Следовательно, обе матрицы $\|s_{ij}\|$ и $\|p_{ij}\|$ будут иметь одинаковый размер n (строк) $\times$ t (столбцов).

Байесовский подход к оценке средних потерь состоит в том, что получаемые средние имеют статистическое (вероятностное) содержание. Они рассматриваются на основании условных вероятностей q_{ij} , определяемых формулой Байеса.

Рассмотрим действия потребителя, использующего альтернативные прогнозы, матрица сопряженности которых содержит условные вероятности

$$(q_{ij}) = \left(\begin{array}{c|cc} & \Pi & \bar{\Pi} \\ \hline \Phi & q_{11} & q_{12} \\ \Phi & q_{21} & q_{22} \\ \hline & 1 & 1 \end{array} \right). \quad (11.15)$$

Получив прогноз Π — явление ожидается — потребитель принимает решение доверять ему. В этом случае средние потери, отвечающие таким ситуациям, будут равны

$$\bar{R}_{11} = s_{11}q_{11} + s_{21}q_{21}. \quad (11.16)$$

В случае недоверия данному тексту прогноза средние потери составят

$$\bar{R}_{21} = s_{12}q_{11} + s_{22}q_{21}. \quad (11.17)$$

В случае прогноза $\bar{\Pi}$ — явление не ожидается — потребитель опять-таки вправе выбрать любое решение. Недоверие тексту приводит к средним потерям

$$\bar{R}_{12} = s_{11}q_{12} + s_{21}q_{22}. \quad (11.18)$$

Наоборот, доверие ему выражается средними потерями

$$\bar{R}_{22} = s_{12}q_{12} + s_{22}q_{22}. \quad (11.19)$$

Приведенный алгоритм действий потребителя можно представить в виде произведения двух матриц:

$$\bar{R}_{kj} = (s_{ik})^{-1}(q_{ij}), \quad (11.20)$$

где индекс k относится к перебору потребителем действий d_k при заданном тексте прогноза Π_j .

Одна из матриц в (11.20) является транспонированной. С учетом дискретности прогностической информации и порядка матрицы *средние систематические потери* определяются формулой

$$\bar{R}_{kj} = \sum_{k=1}^{n=m} s_{ik} q_{ij}. \quad (11.21)$$

Установленные формулами (11.16)—(11.19) элементы матрицы систематических потерь обобщаются в виде

$$\bar{R}_{kj} = \left(\begin{array}{c|cc} & \Pi & \bar{\Pi} \\ \hline d & \bar{R}_{11} & \bar{R}_{12} \\ \hline \bar{d} & \bar{R}_{21} & \bar{R}_{22} \\ \hline \end{array} \right). \quad (11.22)$$

Стратегия полного доверия прогнозам отвечает условиям

$$\bar{R}_{11} < \bar{R}_{12}$$

и

$$\bar{R}_{22} < \bar{R}_{21}.$$

Отсюда получаем, что средние потери при стратегии доверия будут равны

$$\bar{R}_\Sigma = \sum_{j=1}^m p_{0j} \bar{R}_{i=j}(\Pi_j). \quad (11.23)$$

Безотносительно к стратегии доверия средние потери при оптимальных решениях определяются по формуле

$$\bar{R}_{\text{мо}} = \sum_{j=1}^m p_{0j} \min \bar{R}_{kj}(\Pi_j). \quad (11.23')$$

При альтернативных прогнозах условие $\bar{R}_{i=j}(P_j)$ определяется двумя величинами средних потерь при текстах Π и $\bar{\Pi}$:

$$\bar{R}_{11} = s_{11}q_{11} + s_{21}q_{21}$$

и

$$\bar{R}_{22} = s_{12}q_{12} + s_{22}q_{22}.$$

Выражая p_{0j} и q_{ij} через n_{ij} , запишем

$$\begin{aligned}\bar{R}_m &= \frac{n_{01}}{N} \left(s_{11} \frac{n_{11}}{n_{01}} + s_{21} \frac{n_{21}}{n_{01}} \right) + \frac{n_{02}}{N} \left(s_{12} \frac{n_{12}}{n_{02}} + s_{22} \frac{n_{22}}{n_{02}} \right) = \\ &= s_{11} \frac{n_{11}}{N} + s_{21} \frac{n_{21}}{N} + s_{12} \frac{n_{12}}{N} + s_{22} \frac{n_{22}}{N}.\end{aligned}\quad (11.24)$$

Учитывая приведенный алгоритм (11.21)—(11.24), запишем формулу для определения средних (в статистическом смысле) потерь:

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s(\Phi_i, d_j) p(\Phi_i, \Pi_j). \quad (11.25)$$

Отсюда для альтернативных условий прогнозирования, при полном доверии прогнозам и кардинальных мерах защиты, согласно (11.24) получим

$$\bar{R}_m = s_{11}p_{11} + s_{21}p_{21} + s_{12}p_{12} + s_{22}p_{22}. \quad (11.26)$$

Формулу (11.24) или (11.26) можно записать иначе, используя частоты n_{ij} матрицы сопряженности

$$\bar{R}_m = \frac{1}{N} (s_{11}n_{11} + s_{21}n_{21} + s_{12}n_{12} + s_{22}n_{22}). \quad (11.27)$$

Средние потери, выраженные формулами (11.25) и (11.27), называются *байесовскими средними потерями* (средними в статистическом смысле или просто вероятностными), поскольку в основе их лежит использование условных вероятностей g_{ij} .

Аналогично определяются средние потери и в том случае, если потребитель рассчитывает на текущую погоду (инерционный прогноз) или на случайный ход метеорологических условий по принципу: как сложится, так и будет.

Тогда при использовании инерционных прогнозов можно записать

$$\bar{R}_{ин} = \frac{1}{N} (s_{11}n_{11}^{ин} + s_{21}n_{21}^{ин} + s_{12}n_{12}^{ин} + s_{22}n_{22}^{ин}). \quad (11.28)$$

Величина средних потерь при использовании случайных прогнозов составит

$$\overline{R}_{\text{сл}} = \frac{1}{N} (s_{11}n_{11}^{\text{сл}} + s_{21}n_{21}^{\text{сл}} + s_{12}n_{12}^{\text{сл}} + s_{22}n_{22}^{\text{сл}}). \quad (11.29)$$

Заметим, что в уравнениях (11.27)—(11.29), отвечающих кардинальным мерам защиты ($\epsilon = 0$), не вносятся уточнения относительно условия $d(\Pi) \sim \Phi$, при котором возможные потери $s_{12} = L$ полностью предотвращаются. Иначе, в первой ячейке матрицы потерь (10.10) наряду с величиной s_{11} должна быть еще величина $-s_{12} = -L$. Это уточнение будет рассмотрено ниже.

Расчет средней выгоды использования прогнозов выполняется по формуле

$$\overline{G} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g(\Phi_i, d_j) p(\Phi_i, \Pi_j). \quad (11.30)$$

Средние потери и средние выгоды при байесовском подходе находятся для любой дискретности прогнозов и регламента действий потребителя. Для этой цели используется многофазовая матрица потерь вида, приведенного в табл. 10.5.

11.5. Учет некардинальности мер защиты

При кардинальных мерах защиты ($\epsilon = 0$) потребитель полностью предотвращает потери ($s_{12} = L$), когда явление погоды или неблагоприятное гидрометеорологическое условие и т. п. (Φ) в соответствии с прогнозом (Π) действительно наблюдалось. Однако в хозяйственной практике у большинства потребителей меры защиты некардинальны.

Защитные меры (средства) от неблагоприятной погоды не являются идеальными и всеобъемлющими, поэтому прямые потери предотвращаются лишь частично. В этом и состоит суть понятия „частичные меры защиты”: потребитель располагает лишь некардинальными мерами защиты, а значит, не может полностью предотвратить прямые потери, если неблагоприятные погодные условия Φ наблюдались. Это означает, что потребитель не частично защищается, а что его защитные меры позволяют только частично предотвратить потери.

Затраты, которые несет потребитель ($s_{11} = C$), не обеспечивают технологию защиты, достаточную для полного предотвращения потерь. Принимаемые меры защиты позволяют лишь частично пре-

дотворить потери. Максимально возможные потери будут представляться уже суммой предотвращенных потерь (L_{Π}) и остаточных — непредотвращенных (L_{Π}). Матрица потерь, отражающая эти условия, содержит полную характеристику действий потребителя и их экономических последствий (табл. 11.5).

Таким образом, при частичных мерах защиты и альтернативном регламенте действий можно установить матрицу потерь вида

$$s(d, \Phi) = \left(\begin{array}{c|c|c} & d(\Pi) & d(\bar{\Pi}) \\ \hline \Phi & s_{11} + \varepsilon s_{12} & s_{12} \\ \hline \bar{\Phi} & s_{21} & s_{22} \end{array} \right)_{\varepsilon > 0} = \begin{pmatrix} C + \varepsilon L & L \\ C & 0 \end{pmatrix}_{\varepsilon > 0}. \quad (11.31)$$

Меры защиты в высшей степени эффективны, если $\varepsilon = 0$. Отсутствие мер защиты в ситуации, когда явление осуществилось, или

Таблица 11.5

Действия потребителя, отраженные в матрице потерь при известной матрице сопряженности прогнозов

Фактическое осуществление погоды	Прогнозируется неблагоприятная погода, Π	Прогнозируется благоприятная погода, $\bar{\Pi}$	$\sum_{i=1}^m n_i$
	Потребитель принимает (или не принимает) меры защиты стоимостью C_i ($C \geq 0, \varepsilon \geq 0$)	Потребитель не принимает мер защиты, $C = 0$	
Φ — неблагоприятная погода наблюдалась (опасное явление, НГЯ или др.)	(n_{11}) $C = 0 \quad L = L_{\text{макс}}$ $C > 0 \quad L = L_{\text{макс}} = L_{\Pi}$ $\varepsilon = 0$ $C > 0 \quad L_{\Pi} = L - L_{\Pi} \quad L_{\Pi} = \varepsilon L$ $\varepsilon > 0$ $C > 0 \quad L_{\Pi} = 0 \quad L = \varepsilon L = L_{\text{макс}}$ $\varepsilon = 1$	(n_{12}) $C = 0 \quad L = L_{\text{макс}}$	(n_{10})
$\bar{\Phi}$ — неблагоприятная погода не наблюдалась	(n_{21}) $C = 0 \quad L = 0$ $C > 0 \quad L = 0$ $\varepsilon \geq 0$	(n_{22}) $C = 0 \quad L = 0$	(n_{20})
$\sum_{i=1}^n n_i$	(n_{01})	(n_{02})	N

полное пренебрежение прогностической информацией ведет к единственному нежелательному результату — максимально возможным потерям. В этом случае $\varepsilon = 1$. Таким образом, предельные условия для коэффициента непредотвращенных потерь: $0 \leq \varepsilon \leq 1$.

Функционирование производства осуществляется в основном при широком диапазоне значений ε , а именно когда $0 < \varepsilon < 1$. Отсюда и следует, что потери предотвращаются частично, а значит, $\varepsilon L > 0$.

Вид альтернативной матрицы потерь существенно меняется в соответствии с областью изменения $\varepsilon[0; 1]$:

$$s(d, \Phi) = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{pmatrix}_{\varepsilon=0} \dots \begin{pmatrix} s_{11} + \varepsilon s_{12} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{pmatrix}_{\varepsilon>0} \dots \begin{pmatrix} s_{11} + s_{12} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{pmatrix}_{\varepsilon=1}. \quad (11.32)$$

Отсюда байесовские средние потери при использовании альтернативных методических прогнозов определяются в виде

$$\bar{R}_m = \frac{1}{N} [n_{11}(s_{11} + \varepsilon s_{12}) + n_{21}s_{21} + n_{12}s_{12} + n_{22}s_{22}]. \quad (11.33)$$

Для инерционных и случайных прогнозов соответственно

$$\bar{R}_{ин} = \frac{1}{N} (n_{11}^{ин}(s_{11} + \varepsilon s_{12}) + n_{21}^{ин}s_{21} + n_{12}^{ин}s_{12} + n_{22}^{ин}s_{22}) \quad (11.34)$$

и

$$\bar{R}_{сл} = \frac{1}{N} (n_{11}^{сл}(s_{11} + \varepsilon s_{12}) + n_{21}^{сл}s_{21} + n_{12}^{сл}s_{12} + n_{22}^{сл}s_{22}). \quad (11.35)$$

Значение ε зависит не только от хозяйственной специфики потребителя — его технологических и технических возможностей противостоять опасной погоде, но и от региональных особенностей синоптических процессов, с которыми связаны неблагоприятные условия погоды. Приведем значения ε по некоторым морским портам, полученные в результате исследований фактических данных (табл. 11.6).

Таблица 11.6

Значения коэффициента непредотвращенных потерь ε для морских портов

Морской порт	ε
Санкт-Петербург	0,30
Клайпеда	0,09
Рига	0,17
Владивосток	0,29
Среднее	0,21

11.6. Оценка коэффициента непредотвращенных потерь

Научная разработка оптимального регламента погодо-хозяйственных решений, позволяющая постоянно минимизировать потери, находит все большее понимание у руководителей государственных предприятий и коммерческих структур „на местах”. К этому побуждают растущие потери по метеорологическим причинам.

Реализация потребителями прогнозов погоды пока не идеальна. Однако и в этом случае оптимальный регламент необходим и его разработка возможна.

Существующие защитные мероприятия ограничены как по масштабам, так и по эффективности противодействия опасным явлениям погоды и гидрометеорологическим явлениям в целом. Иначе, существующая система защитных мероприятий не позволяет кардинально предотвратить гидрометеорологические потери.

Как известно, последствия принимаемых потребителем погодо-хозяйственных решений представляются наиболее простой матрицей потерь вида

$$(s_{ij}) = \left(\begin{array}{c|cc} & d(\Pi) & d(\overline{\Pi}) \\ \hline \Phi & s_{11} + \varepsilon s_{12} & s_{12} \\ \hline \overline{\Phi} & s_{21} & s_{22} \end{array} \right) = \begin{pmatrix} C + \varepsilon L & L \\ C & 0 \end{pmatrix}, \quad (11.36)$$

где s_{ij} — элементы матрицы $\|s_{ij}\|$, отражают статистический анализ результатов действий потребителя; при этом принимается, что s_{12} — максимально возможные потери при ошибках-пропусках явления; ε — коэффициент непредотвращенных потерь; $\varepsilon s_{12} = \varepsilon L$ — непредотвращенные потери — потери по метеорологическим причинам, которые не удастся предотвратить.

Величина ε меняется от 0 до 1 и в большинстве случаев потребителю неизвестна. Существенно при этом меняются непредотвращенные (остаточные потери) $L_n = \varepsilon L$ и предотвращенные части L_n максимально возможных потерь L . Рассмотрим для этого схему взаимодействия потребителя и природы в ситуациях $d(\Pi \sim \Phi)$ и при различных ε .

1. Ситуация $d(\Pi) \sim \Phi$, $\varepsilon = 1$.

Потребитель не применяет меры защиты:

Φ	Π		$\overline{\Pi}$
	$C = 0$	$\varepsilon L = L = L_n$	L

Матрица потерь при этом будет иметь вид

$$s_{ij} = \begin{pmatrix} s_{12} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L & L \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{\varepsilon=1}. \quad (11.37)$$

Как видим, в случае осуществления явления Φ и полного игнорирования его прогноза Π потребитель несет прямые потери L независимо от текста прогноза $(\Pi, \bar{\Pi})$. Потери ни в какой мере не предотвращаются. Коэффициент непредотвращенных потерь равен 1. Максимально возможные потери и есть в этой ситуации величина непредотвращенных потерь $L = L_n$.

2. Ситуация $d(\Pi) \sim \Phi$, $\varepsilon > 0$.

Потребитель принимает посильные меры защиты:

Φ	Π			$\bar{\Pi}$
	$C > 0$	$\varepsilon L = L_n$	$L - \varepsilon L = L_n$	L

Матрица потерь будет иметь иной вид

$$s_{ij} = \begin{pmatrix} s_{11} + \varepsilon s_{12} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C + \varepsilon L & L \\ C & 0 \end{pmatrix}_{\varepsilon > 0}. \quad (11.38)$$

Посредством применения мер защиты, которые доступны и приемлемы для данного потребителя, часть возможных потерь L удаётся предотвратить на сумму $L - \varepsilon L = L(1 - \varepsilon)$. Однако в силу некардинальности мер защиты опасные условия погоды оставляют „следы” в виде непредотвращенных потерь на сумму εL . В реальных производственных условиях значение коэффициента ε колеблется в основном в пределах $0,2 \div 0,7$.

3. Ситуация $d(\Pi) \sim \Phi$, $\varepsilon = 0$.

Потребитель принимает кардинальные меры защиты. Тем самым потребителю удаётся полностью предотвратить потери L :

Φ	Π		$\bar{\Pi}$
	$C > 0$	$\varepsilon L = 0 \quad L_n = L$	L

Матрица потерь в этом случае записывается следующим образом:

$$(s_{ij}) = \begin{pmatrix} s_{11} - s_{12} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C - L_n & L \\ C & 0 \end{pmatrix}. \quad (11.39)$$

Такого рода меры защиты, принимаемые на основании прогностической информации, позволяют полностью предотвратить потери ($L = L_n$). Кардинальный характер защитных мер является частным случаем, редко реализуемым или вовсе невозможным в хозяйственной практике. Приведенная идентификация (уподобление, отождествление) взаимодействия руководителя предприятия, лица, принимающего решение, с природой показывает, что неперенным условием оценки полезности использования прогнозов является знание непредотвращенных (ϵL) или предотвращенных ($L - \epsilon L$) потерь. Чтобы верно разработать хотя бы альтернативную матрицу потерь и использовать ее в хозяйственных интересах, необходимо знать величину ϵ .

В различных отраслях производства непредотвращенные потери сильно различаются и зависят, как будет показано ниже, не только от экономической и технической специализации потребителя, но и от качества прогностической информации.

Величину ϵ можно установить „напрямую” при известных значениях ϵL и L , что должно находить отражение в бухгалтерских материалах. Доля потерь ϵL из максимально возможных L и есть коэффициент непредотвращенных потерь $\epsilon = \epsilon L / L$. Максимально возможные потери L определяются на практике с достаточной достоверностью, в то же время сложно установить частичные потери ϵL в процессе принятия мер защиты.

Используется, кроме того, косвенная оценка ϵ посредством других показателей. Рассмотрим для этого некоторые пороговые условия.

1. Издержки потребителя ($C + \epsilon L$) равны предотвращенным потерям ($L - \epsilon L$). Запишем

$$C + \epsilon L = L - \epsilon L. \quad (11.40)$$

Отсюда

$$\epsilon_{\text{пор}} = 0,5(1 - \frac{C}{L}). \quad (11.41)$$

Видно, что значение ϵ зависит только от самого потребителя $\frac{C}{L}$. Здесь требуется пояснение предельных условий (рис. 11.2). При $C = 0$ предельное значение $\epsilon = 0,5$ — потребитель снижает потери наполовину, что не подтверждает практика. При $C = L$ или $\frac{C}{L} = 1$ значение $\epsilon = 0$ — кардинальность мер защиты соизмерима с макси-

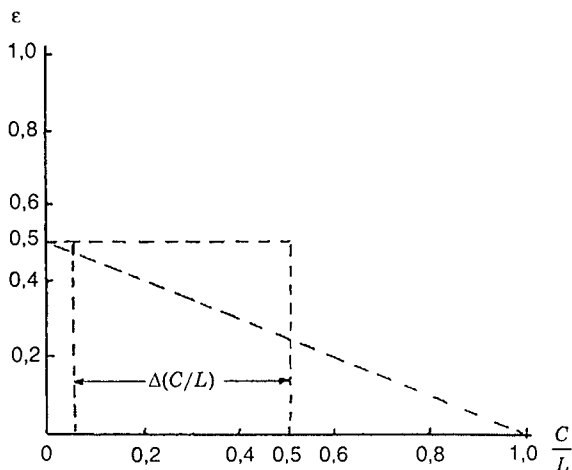


Рис. 11.2. Изменение коэффициентов $\varepsilon_{\text{пор}}$ в зависимости от C/L .

мально возможными затратами, что вряд ли допустимо. В действительности потребитель прибегает к традиционному условию $C < L$. Полученное при этом значение ε есть пороговая величина $\varepsilon_{\text{пор}}$. Потребитель выстраивает свою хозяйственную практику относительно использования прогнозов таким образом, чтобы производственное значение ε было равно или меньше $\varepsilon_{\text{пор}}$.

Если использовать прогностическую информацию различного происхождения, то можно сопоставить полезность методических и инерционных прогнозов для конкретного потребителя. Выравнивание полезности при правильных прогнозах наличия явления позволяет установить пороговое значение $\varepsilon_{\text{пор}}$.

Запишем

$$n_{11}[s_{12}(1 - 2\varepsilon) - s_{11}] = n_{11}^{\text{ин}}[s_{12}(1 - 2\varepsilon) - s_{11}]. \quad (11.42)$$

Отсюда

$$\varepsilon_{\text{пор}} = 0,5(1 - s_{11}/s_{12}) = 0,5(1 - \frac{C}{L}), \quad (11.43)$$

т. е. приходим к формуле (11.41).

Как видим, пороговое условие (11.42) позволяет исключить информационную характеристику при оценке ε и ограничиться стоимостным уровнем мер защиты. Если учесть полные затраты C при текстах Π , то можно записать иное пороговое условие, а именно:

$$n_{11}L(1-2\varepsilon) - n_{01}C = n_{11}^{''' }L(1-2\varepsilon) - n_{01}^{''' }C. \quad (11.44)$$

Тогда

$$\varepsilon_{\text{пор}} = 0,5 \left[1 - \frac{C}{L} \left(\frac{n_{01} - n_{01}^{''' }}{n_{11} - n_{11}^{''' }} \right) \right]. \quad (11.45)$$

Если C_1 при n_{11} не равно C_2 при n_{21} , то, раскрывая уравнение

$$n_{11}L(1-2\varepsilon) - n_{11}C_1 - n_{21}C_2 = n_{11}^{''' }L(1-2\varepsilon) - n_{11}^{''' }C_1 - n_{21}^{''' }C_2, \quad (11.46)$$

получим

$$\varepsilon_{\text{пор}} = 0,5 \left[1 - \frac{1}{L} \left(C_1 + C_2 \frac{n_{21} - n_{21}^{''' }}{n_{11} - n_{11}^{''' }} \right) \right]. \quad (11.47)$$

2. Потребитель получает текст прогноза Π , постоянно применяет меры защиты n_{01} раз.

Пороговое условие можно записать в более простом виде

$$n_{11}(L - \varepsilon L) = (n_{01}C + n_{11}\varepsilon L). \quad (11.48)$$

Отсюда

$$\varepsilon_{\text{пор}} = 0,5 \left(1 - \frac{n_{01}}{n_{11}} \frac{C}{L} \right). \quad (11.49)$$

Предъявляемое к потребителям требование содержится в выполнении неравенства

$$\varepsilon < \varepsilon_{\text{пор}}. \quad (11.50)$$

В случае идеальных прогнозов $n_{11} = n_{01}$ формула (11.49) преобразуется в (11.41).

3. Рассмотрим следующее условие, отмечаемое в хозяйственной практике.

Возможны случаи, когда синоптик в силу сложности синоптической ситуации пропускает опасное явление. Потери при этом могут быть вызваны внезапностью опасного явления или в процессе его развития в сторону усиления, а могут нарастать в течение определенного промежутка времени. Во всех случаях такого рода потребитель принимает запоздалые противодействия стихии. Естественно полагать, что потери в случае пропуска явления рассматриваются как непредотвращенные потери $L = L_{\text{н}}(d(\bar{\Pi}), \Phi)$.

Во всех других ситуациях потребитель принимает необходимые меры защиты по снижению потерь ($L_{\text{н}} = \varepsilon L$). Для оценки коэффициента непредотвращенных потерь устанавливается следующее пороговое условие:

$$n_{11}L(1 - \varepsilon) = n_{01}C + n_{11}\varepsilon L + n_{12}L. \quad (11.51)$$

Отсюда следует

$$\varepsilon_{\text{пор}} = 0,5\left(1 - \frac{n_{12}}{n_{11}} - \frac{n_{01}}{n_{11}} \frac{C}{L}\right). \quad (11.52)$$

Необходимое значение ε должно быть равно или меньше $\varepsilon_{\text{пор}}$.

4. Запишем теперь следующее известное пороговое условие: когда W реализации альтернативных прогнозов равна издержкам $L_{\text{из}}$ по осуществлению всех текстов прогнозов ($P, \overline{P}$)

$$W = L_{\text{из}}$$

или

$$n_{11}(L - \varepsilon L) - (n_{01}C + n_{11}\varepsilon L) = n_{01}C + n_{11}\varepsilon L + n_{12}L. \quad (11.53)$$

Решая уравнение (11.53) относительно ε , находим

$$\varepsilon_{\text{пор}} = \frac{1}{3}\left(1 - \frac{n_{12}}{n_{11}}\right) - \frac{2n_{01}}{3n_{11}} \frac{C}{L}. \quad (11.54)$$

Если прогнозы идеальны ($n_{12} = n_{21} = 0$), то записывается выражение

$$n_{11}L(1 - \varepsilon) - (n_{11}C + n_{11}\varepsilon L) = n_{11}C + n_{11}\varepsilon L. \quad (11.55)$$

Отсюда

$$\varepsilon_{\text{пор}} = \frac{1}{3} - \frac{2}{3} \frac{C}{L}. \quad (11.56)$$

Необходимо и в этой ситуации выполнять условие типа (11.50). Из анализа матриц сопряженности и потерь следует, что максимальные издержки потребителя равны $n_{01}C + (\varepsilon n_{11} + n_{12})L$. В хозяйственной практике они не должны превышать предотвращенные потери при осуществлении всего числа n_{10} опасных явлений. Пороговое условие при этом записывается так:

$$n_{01}C + (n_{11}\varepsilon + n_{12})L = n_{10}L. \quad (11.57)$$

Отсюда

$$\epsilon_{\text{пор}}^* = \left(1 - \frac{n_{01}}{n_{11}} \frac{C}{L}\right). \quad (11.58)$$

Это максимально возможное пороговое значение $\epsilon_{\text{пор}}^*$, выше которого оперативное значение ϵ допускать не следует.¹

Разработка многофазовой матрицы потерь осложняется оценкой коэффициента непредотвращенных потерь ϵ . Содержание такой матрицы потерь представлено в табл. 11.7.

Таблица 11.7

Многофазовая матрица потерь

Φ_i	$d(\Pi_j)$			L_{i0}
	$d(\Pi_1)$	$d(\Pi_2)$	$d(\Pi_3)$	
Φ_1	$C_{11} + \epsilon_{11}L_{10}$	$C_{12} + \epsilon_{12}L_{10}$	$C_{13} + \epsilon_{13}L_{10}$	L_{10}
Φ_2	$C_{21} + \epsilon_{21}L_{20}$	$C_{22} + \epsilon_{22}L_{20}$	$C_{23} + \epsilon_{23}L_{20}$	L_{20}
Φ_3	$C_{31} + \epsilon_{31}L_{30}$	$C_{32} + \epsilon_{32}L_{30}$	$C_{33} + \epsilon_{33}L_{30}$	L_{30}

Примечание. Опасность условий погоды нарастает от Φ_1 к Φ_3 . Значения ϵ_{11} и ϵ_{33} , относящиеся к области правильных действий потребителя по мерам защиты $C_{11} - C_{33}$, являются минимальными для данной фазы Φ_i . При ошибках-пропусках ($d(\Pi_j) < \Phi_i$) значения ϵ растут (нижний левый угол матрицы потерь), а при ошибках-страховках снижаются по мере роста C_{ij} (правый верхний угол матрицы потерь).

11.7. Уточненный байесовский подход

Прямой байесовский подход расчета средних потерь (оценка риска) не дает однозначного решения. Приведем известные альтернативные матрицы потерь при кардинальных и частичных мерах защиты:

$$s_{ij} = \left(\begin{array}{c|cc} & d(\Pi) & d(\bar{\Pi}) \\ \hline \Phi & s_{11} & s_{12} \\ \hline \bar{\Phi} & s_{21} & s_{22} = 0 \end{array} \right)_{\epsilon=0} \Rightarrow \left(\begin{array}{c|cc} & d(\Pi) & d(\bar{\Pi}) \\ \hline s_{11} + \epsilon s_{12} & s_{12} & \\ \hline s_{21} & s_{22} = 0 & \end{array} \right)_{\epsilon>0}.$$

¹ Проблема оценки коэффициента непредотвращенных потерь ϵ обсуждалась в статье Л. А. Хандожко, А. А. Коршунова „Показатели влияния погодных условий на экономику: оценка коэффициента непредотвращенных потерь” (Метеорология и гидрология, 2000, № 12).

Наряду с этим рассмотрим матрицы сопряженности методических и инерционных альтернативных прогнозов:

методические прогнозы

	Π	$\overline{\Pi}$	$\sum_j$
Φ	n_{11}	n_{12}	n_{10}
$\overline{\Phi}$	n_{21}	n_{22}	n_{20}
$\sum_i$	n_{01}	n_{02}	N

инерционные прогнозы

	Π	$\overline{\Pi}$	$\sum_j$
Φ	$n_{11}^{\text{ин}}$	$n_{12}^{\text{ин}}$	$n_{10}^{\text{ин}}$
$\overline{\Phi}$	$n_{21}^{\text{ин}}$	$n_{22}^{\text{ин}}$	$n_{20}^{\text{ин}}$
$\sum_i$	$n_{01}^{\text{ин}}$	$n_{02}^{\text{ин}}$	N

Будем полагать, что методические прогнозы имеют высокую успешность ($n_{12} \ll n_{11}$ и $n_{21} \ll n_{22}$). В этом случае основным элементом потерь, издержек выступают те прогнозы, которые осуществляются с частотой n_{11} . Байесовские средние для ситуации $d(\Pi) \sim \Phi$ устанавливаются по формуле

$$\overline{R}(d/\Pi, \Phi) = \frac{1}{n_{11}}(n_{11}s_{11}) \text{ при } \varepsilon = 0$$

или

$$\overline{R}(d/\Pi, \Phi) = \frac{1}{n_{11}}(n_{11}(s_{11} + \varepsilon s_{12})) \text{ при } \varepsilon > 0.$$

Поскольку n_{11} при методических прогнозах существенно больше, чем $n_{11}^{\text{ин}}$ при инерционных ($n_{11} \gg n_{11}^{\text{ин}}$), то оказывается, что

$$\overline{R}(d/\Pi, \Phi)_m > \overline{R}(d/\Pi, \Phi)_{\text{ин}}. \quad (11.59)$$

Неравенство (11.59) отражает парадокс прямой оценки средних потерь, риска.

Конечно, если привлекать все элементы n_{ij} в методических и инерционных прогнозах и все элементы s_{ij} в матрице потерь, то в большинстве случаев $\overline{R}_m < \overline{R}_{\text{ин}}$ только за счет того, что при методических прогнозах ошибок-пропусков (n_{12}) существенно меньше, чем при инерционных ($n_{12}^{\text{ин}}$).

Поскольку элемент n_{11} является ведущим в предназначении альтернативных прогнозов, то байесовский подход оценки средних потерь требует уточнения.

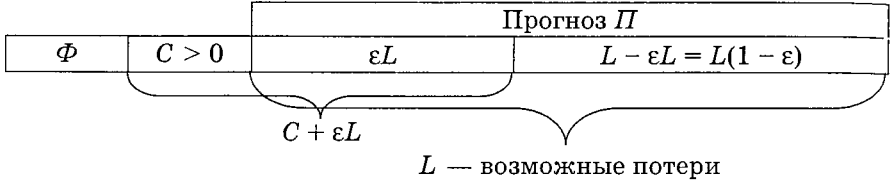
Полезность успешных прогнозов наличия явления (n_{11}) определяется на основании разности максимально возможных потерь при всех случаях опасных явлений и тех потерь, которые несет потребитель, используя прогнозы ($\Pi, \overline{\Pi}$). Можно записать

$$L_{\pi}(\Phi) = L(\Phi) - L(\Pi, \bar{\Pi}). \quad (11.60)$$

Выражая (11.60) через элементы матрицы потерь s_{ij} при Φ , находим общую величину предотвращенных потерь

$$L_{\pi}(\Phi) = n_{10}s_{12} - (n_{12}s_{12} + n_{11}\varepsilon s_{12}) = n_{11}s_{12}(1 - \varepsilon). \quad (11.61)$$

Таким образом, действительно потребителю удастся снизить потери на величину $s_{12}(1 - \varepsilon) = s_{12} - \varepsilon s_{12} = L - \varepsilon L$. Привлекая к тому же известную схему, находим, что при оправдавшихся прогнозах Π максимальные потери при Φ есть сумма непредотвращенных ($\varepsilon s_{12} = \varepsilon L$) и предотвращенных ($L - \varepsilon L$) потерь:



Отсюда следует, что кроме издержек в виде $C + \varepsilon L$ потребитель снижает возможные потери на величину $L(1 - \varepsilon)$. Выгода реализации прогнозов n_{11} составит

$$\begin{aligned} W &= n_{11}[(C + \varepsilon L) - (L - \varepsilon L)] = n_{11}[C - L(1 - 2\varepsilon)] = \\ &= n_{11}[s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon)]. \end{aligned} \quad (11.62)$$

Средние байесовские потери при $\varepsilon > 0$ с учетом (11.62) будут равны

$$\bar{R}_m = \frac{1}{N}[n_{11}(s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon)) + n_{21}s_{21} + n_{12}s_{12}], \quad (11.63)$$

а в случае $\varepsilon = 0$

$$\bar{R}_m = \frac{1}{N}[n_{11}(s_{11} - s_{12}) + n_{21}s_{21} + n_{12}s_{12}]. \quad (11.64)$$

Если допустить возможность бесхозяйственного потребителя, для которого $\varepsilon = 1$, тогда

$$\bar{R}_m = \frac{1}{N}[n_{11}(s_{11} + s_{12}) + n_{21}s_{21} + n_{12}s_{12}]. \quad (11.65)$$

Аналогичные оценки выполняются для инерционных и других прогнозов.

Анализ формул (11.63) и (11.64) показывает, что первые составляющие соответственно $n_{11}(s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon))$ и $n_{11}(s_{11} - s_{12})$ могут быть меньше нуля. Это значит, что реализации n_{11} вместо положительных значений потерь могут нести отрицательные потери — выгоду.

Предотвращенные и непредотвращенные потери имеют разные значения в зависимости от коэффициента ε (табл. 11.8).

Таблица 11.8

Возможные расходы, потери и выгоды потребителя прогнозов, принимающего решение d в ситуации „явление по прогнозу ожидалось Π и фактически наблюдалось Φ ”

В матрице сопряженности это соответствует элементу с частотой n_{11}			
В матрице потерь ситуация $d(\Pi) - \Phi$ реализуется в виде: $s_{11}, \varepsilon s_{12}, s_{12} - \varepsilon s_{12}$			
затраты на защитные меры	коэффициент непредотвращенных потерь	предотвращенные потери (выгода)	непредотвращенные потери
s_{11}	$\varepsilon = 0$	$-s_{12}(1 - \varepsilon) = -s_{12}$	$\varepsilon s_{12} = 0$
s_{11}	$\varepsilon = 0,5$	$-0,5s_{12}$	$0,5s_{12}$
s_{11}	$\varepsilon = 1,0$	$-s_{12}(1 - \varepsilon) = 0$	$\varepsilon s_{12} = s_{12}$

В рассматриваемой ситуации $d(\Pi) - \Phi$ правильный прогноз наличия явления (или просто неблагоприятного состояния погоды) позволяет, таким образом, заблаговременно принять доступные меры защиты и предотвратить прямые потери если не полностью (s_{12}), то хотя бы на величину $s_{12} - \varepsilon s_{12} = s_{12}(1 - \varepsilon)$. Эта полезность частичная или полностью компенсирует издержки $s_{11} + \varepsilon s_{12}$.

11.8. Выбор оптимальных погодо-хозяйственных решений и стратегий на основе байесовского подхода

Каждый потребитель метеорологической информации учитывает ту ее часть и таким образом, чтобы погодозависимые производственные операции выполнялись с наименьшими издержками или наибольшей выгодой. Это достигается только в том случае, если известны экономические последствия верных и неточных действий d , связанных с ориентацией на ту или иную погоду Π . Иначе, если потребитель располагает матрицей потерь или выгоды, то это уже

дает основание для разработки регламента решений, т. е. выполнения определенных действий d в расчете на осуществление той или иной погоды Φ , ожидаемой по прогнозу Π .

Кроме экономической информации, содержащейся в матрице потерь, другим необходимым видом информации является описание в вероятностной форме осуществления ожидаемых условий погоды. Обобщение прогнозируемой Π и фактической погоды Φ в виде матрицы сопряженности содержит субъективные вероятности. Они отражают выборочную реализацию сопряженности $\Pi \sim \Phi$. В итоге матрица сопряженности прогнозов содержит апостериорное распределение частот n_{ij} , характеризующих отдельные совокупности сопряжения явлений или условий погоды как природных событий. Именно эти совокупности могут быть представлены в вероятностной форме (p, q) , что позволяет установить матрицу полных (терминология Н. А. Багрова) или систематических потерь, необходимую для выбора оптимальных погодо-хозяйственных решений и стратегий конкретными потребителями.

Выбор критерия оптимальности (11.5) зависит от специфики потребителя, целей производственной или коммерческой операции, определения конечного результата — повышения доходности, снижения потерь или достижения иных показателей в хозяйственной практике. В качестве такого критерия, как правило, используются средние потери, причем средние особого рода.

Байесовский подход выбора оптимального решения и оптимальной стратегии и заключается в том, что средние потери в том и другом вариантах рассчитываются как средние в статистическом смысле на основе условных вероятностей q_{ij} осуществления текстов прогнозов Π_j и фактической погоды Φ_i (см. п. 11.4).

Выбор оптимального оперативного, повседневного погодо-хозяйственного решения устанавливается на основании заранее разработанной потребителем и метеорологом матрицы полных или систематических потерь.

Как отмечалось в п. 11.4, систематические потери $\bar{R}_{kj}$ есть произведение двух матриц $\|s_{ij}\| \cdot \|q_{ij}\|$. Выражая средние потери, они образуют набор значений $\bar{R}_{kj}$, отвечающих действию d_k , которое ориентировано на прогноз Π_j . Матрица систематических потерь при использовании многофазовых прогнозов „обобщенным” потребителем¹ представлена в табл. 11.9.

¹ Под „обобщенным” потребителем понимается набор достаточно большой группы погодозависимых потребителей не обязательно однородных по производственной специфике, но испытывающих сильную зависимость от одинаковых условий погоды.

Матрица систематических потерь $\bar{R}_{kj}$ использования прогнозов „конвективных условий погоды” в крупных городах ($\bar{R}_{kj}$ в млн. руб/прогноз)

Действия потребителей d_k	Прогноз, Π_j			
	Кучево-дождевая облачность	Ливневые дожди	Ливневые дожди и грозы	Ливни, грозы, град, шквал
d_1	5	15	30	50
d_2	12	10	25	40
d_3	16	17	20	30
d_4	18	19	23	25

Примечание. Здесь приведены приближенные стоимостные значения издержек „обобщенного” потребителя по городу.

Получая текст прогноза Π_j ожидаемой погоды в течение предстоящих суток, потребитель („обобщенный”) выбирает такое решение (действие) d_k , при котором его средние систематические потери $\bar{R}_{kj}$ за исследуемый период сводятся к минимуму. Из табл. 11.9 видно, что прогнозы конвективных условий погоды были настолько успешными, что доверие этим прогнозам принимается как обязательное условие достижения целевой задачи. Так, при тексте Π_1 потребитель выбирает действие d_1 , при тексте Π_2 соответственно d_2 и т. д. Эти оперативные решения (действия) обеспечивают минимум потерь. Такие погодо-хозяйственные решения, принимаемые при многофазовых прогнозах, являются оптимальными и отвечают условию

$$\bar{R}(\Pi_j, d_k)_{\text{опт}} = \min_{\langle d_k \rangle} \bar{R}_{kj}. \quad (11.66)$$

Возможно, что при многофазовых прогнозах ($k = 5 \div 10$) минимальные издержки $\bar{R}_{kj}$ могут смещаться относительно значений, приходящихся на главную диагональ ($\bar{R}_{11} \div \bar{R}_{nn}$). В этом случае доверие текстам Π_j выполняется избирательно с учетом условия оптимальности (11.66).

Матрица систематических потерь (см. табл. 11.9) содержит вероятностные значения потерь $\bar{R}_{kj}$, которые выступают в то же время как метеорологические риски. Их обобщенное описание в виде таблицы сочетаний ($\Pi_j \sim d_k$) рассматривается как метеоролого-экономический паспорт (МЭП) потребителя. Разработка МЭП является обязательным условием всех погодозависимых потребителей, заинтересованных в

использовании метеорологических ресурсов. При этом выбирается несколько наиболее ответственных производственных операций, для каждой из которых разрабатывается МЭП, позволяющий использовать оптимальный регламент погодо-хозяйственных решений.

Защитные мероприятия, а они могут выступать в различных формах, принимаются незамедлительно или принимаемое решение (действие) вводится отдельным алгоритмическим блоком в автоматизированную систему управления (АСУ) в целях более полного учета ряда факторов текущего управления.

При использовании многофазовых прогнозов потребитель самостоятельно выбирает число фаз погоды (число градаций) k или использует известные статистические способы (см. п. 6.5) выбора числа градаций.

Совместно с поставщиком информации потребитель проводит оценку результативности использования специализированных прогнозов. Для этой цели рассматриваются общие средние потери при условии доверия прогнозам как результат соответствующих действий потребителя d_k . Они определяются по формуле (11.23). Значения $\bar{R}_{kj}$ приходится при этом на главную диагональ матрицы систематических потерь.

Оптимальное использование прогнозов предполагает, что элементы матрицы систематических потерь, отражающие минимальные значения $\bar{R}_{kj}$, могут приходиться на главную диагональ. Это означает, что оптимальные решения и действия потребителя отвечают условию доверия прогнозам. Однако возможно, что минимальные значения $\bar{R}_{kj}$ будут смещены относительно главной диагонали, тем самым выстраивается самостоятельная область минимизации потерь. В этом случае средние систематические потери $\bar{R}_x$ (11.23) при условии доверия прогнозам могут отличаться от средних систематических потерь $\bar{R}_{mo}$ (11.23') при оптимальных решениях, а именно достигается неравенство

$$\bar{R}_{mo} < \bar{R}_m.$$

Полученные при этом средние потери $\bar{R}_m$ и $\bar{R}_{mo}$ раскрываются в итоге как потери, которые рассчитываются на основании апостериорных вероятностей $p_{ij} = p(\Pi_j/\Phi_i)$.

Потребитель не только принимает ежедневные погодо-хозяйственные решения, но и выбирает стратегическое решение:

какая метеорологическая информация или какая прогностическая информация обеспечивает ему прямую или косвенную максимальную выгоду.

При известной матрице потерь $\|s_{ij}\| = \|c, L\|$ потребитель может опробовать различные стратегии использования прогнозов, которые обеспечивают максимальную выгоду или минимальные потери.

Выбор оптимальной стратегии может осуществляться при возможном использовании различной прогностической информации:

- 1) при наличии методических и стандартных прогнозов (инерционных, климатологических);
- 2) в случае возможного использования различных методов прогноза опасных явлений и условий погоды;
- 3) в случае использования различных методов (способов) прогноза локальных или региональных условий погоды;
- 4) при выделении прогностической информации по сезонам;
- 5) в случае ориентации на экологические прогнозы при различных синоптических условиях и в ряде других ситуаций.

Решения (действия) d_j являются частными действиями в рамках апробируемой стратегии. Таких стратегий может быть несколько. Потребитель может ориентироваться на самые различные проявления погоды: учитывать в своей хозяйственной практике различные типы погоды, погоду в различные сезоны, погоду в различных климатических зонах, текущую погоду и т. п. В каждой из приведенных ситуаций может быть установлено, предусмотрено несколько стратегий.

Задача состоит в выборе оптимальной стратегии $S_{\text{опт}}$.

Один из возможных наборов стратегий для данного потребителя приведен в табл. 11.10.

Для каждой стратегии S определяется средняя (в статистическом смысле) полезность a (выгода или потери)

$$a = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a(\Phi_i, d_j) p(\Phi_i, \Pi_j), \quad (11.67)$$

где $p(\Phi_i, \Pi_j)$ — совместная вероятность прогноза Π_j и осуществления фактической фазы погоды Φ_i .

Оптимальной стратегией S_0 , согласно байесовскому подходу, называется такая стратегия, которая экстремизирует величину полезности a , т. е. обеспечивает максимум выгоды g или минимум потерь s .

Хозяйственные стратегии потребителя

Сезон, стратегия	Матрицы полезности и сопряженности решений и прогнозов
Сезон А S_1	$a_{ij}(\Phi_i, d_j)_1 \sim [p_{ij}(\Phi_i, d_j) \equiv p_{ij}(\Phi_i, \Pi_j)]_1$
Сезон В S_2	$a_{ij}(\Phi_i, d_j)_2 \sim [p_{ij}(\Phi_i, d_j) \equiv p_{ij}(\Phi_i, \Pi_j)]_2$
Сезон С S_3	$a_{ij}(\Phi_i, d_j)_3 \sim [p_{ij}(\Phi_i, d_j) \equiv p_{ij}(\Phi_i, \Pi_j)]_3$
Сезон D S_4	$a_{ij}(\Phi_i, d_j)_4 \sim [p_{ij}(\Phi_i, d_j) \equiv p_{ij}(\Phi_i, \Pi_j)]_4$

Условие оптимальности стратегии записывается так:

$$S_0(a) = \underset{\langle s \rangle}{\text{extr}} a. \quad (11.68)$$

В случае, если потребитель несет издержки (s) от погодных условий, средние потери для данной стратегии находятся по формуле

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s(\Phi_i, d_j) p(\Phi_i, \Pi_j). \quad (11.69)$$

Оптимальной будет стратегия

$$S_0(\bar{R}) = \underset{\langle s \rangle}{\min} \bar{R}. \quad (11.70)$$

Если потребитель получает выгоды от использования прогнозов, то средняя выгода G при данной стратегии находится по формуле

$$\bar{G} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g(\Phi_i, d_j) p(\Phi_i, \Pi_j). \quad (11.71)$$

При этом оптимальной будет стратегия, согласно которой

$$S_0(\bar{G}) = \underset{\langle s \rangle}{\max} \bar{G}. \quad (11.72)$$

На основании равенств (11.69) и (11.71) можно записать, что критерии $\bar{R}$ и $\bar{G}$ связаны друг с другом соотношением

$$\bar{G} = \theta - \bar{R}, \quad (11.73)$$

где θ — некоторая константа. Отсюда следует, как отмечалось, свойство инвариантности байесовских стратегий. Оптимальная стратегия, минимизирующая средние потери, одновременно максимизирует средний выигрыш.

Стратегии могут исходить из различия хозяйственной специфики решаемой проблемы, задачи. Тогда, например, даже при одном и том же типе погоды или одних и тех же погодных условиях может быть намечено несколько стратегий использования техники, технологии и т. п. Потребителю следует выбрать такой план хозяйственных мероприятий (или иных действий) из ряда намеченных, который обеспечивает максимум достижения цели. Это и будет оптимальная стратегия. Общая схема выбора оптимальной стратегии выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ S_k \end{matrix} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{matrix} a(\Phi_i, d_j)_1 \\ a(\Phi_i, d_j)_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ a(\Phi_i, d_j)_k \end{matrix} \right\} p(\Phi_i, \Pi_j). \quad (11.74)$$

Одна из этих стратегий S является оптимальной и подлежит распознаванию¹ согласно приведенным условиям (11.70) и (11.72). Общая конструкция модели выбора оптимальной стратегии приведена на рис. 11.3.

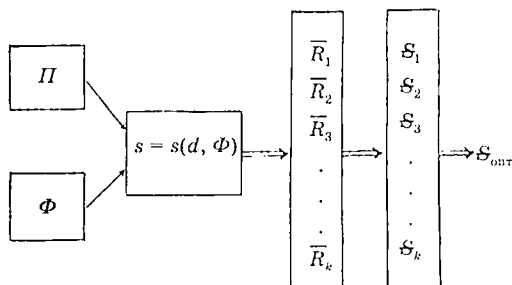


Рис. 11.3. Принципиальная модель выбора оптимальной стратегии.

На базе оптимальных стратегий по всей территории России принимается огромное число погодо-хозяйственных решений. Осуществляется нескончаемый общеэкономический поток разномасштабных действий в отраслях экономики. Тем самым прослеживается не только постоянная погодо-климатическая зависимость, но и стремление к более эффективному использованию знаний о гидрометеорологических ресурсах.

¹ Знак $\Rightarrow$ в (11.74) означает „вытекает из операций...”, „устанавливается на основании...”.

Глава 12

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ ПРИ СОВМЕСТНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ И ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

12.1. Общая характеристика климата и его учет

Известно, что *погода* есть состояние атмосферы в определенный момент или период времени (сутки, декада, сезон) в данном пункте, которое характеризуется совокупностью метеорологических величин и явлениями погоды. Иногда вместо термина „погода” применяют термин *погодные условия*, возможные в эти отрезки времени.

Если рассматривать погодные условия за многие годы, то возникает необходимость *осреднения* ряда метеорологических величин, *оценки вероятности* (или повторяемости) явлений погоды, *определения* других многолетних погодных характеристик. Тем самым формируются представление о *климатических условиях*, или *климате*.

Климат есть усредненное физическое состояние атмосферы, которое чаще всего наблюдается в данном районе за определенный период времени. (Это характерные для данного региона условия погоды, выраженные в основном в преобладании определенных значений температуры, количества осадков, скорости и направления ветра.)

Метеорологические величины (температура, влажность воздуха и почвы, направление и скорость ветра, количество осадков), а также явления погоды (ливневые дожди, грозы, шквалы, град, туман, обледенение, метель и другие) составляют первичную основу для разработки климатических показателей. Для этого используются данные наблюдений за многие годы — от 30 лет и более. Для приближенной оценки характеристик текущего климата достаточными считаются периоды наблюдений 10 лет и даже 5 лет, хотя для полноценных заключений о климате требуются десятки лет (ВМО рекомендует 30-летний период).

Наиболее распространенными являются такие климатические показатели, как среднее (математическое ожидание), среднее квадратическое (дисперсия), медиана, мода, характеристики распределения в виде коэффициентов асимметрии, показатели эксцесса и вариации. Средние многолетние значения метеорологических величин, включая повторяемости и вероятности, считаются *климатическими нормами* для данного пункта или района.

В зависимости от требований потребителей разрабатываются более сложные *комплексные климатические показатели*, которые используются как в проектировании, так и для решения текущих хозяйственных задач.

Наиболее широко используются такие показатели-индексы, как гидротермический коэффициент по Г. Т. Селянинову, индекс сухости по М. И. Будыко, коэффициенты увлажнения по Н. Н. Иванову, П. И. Колоскову, индекс засушливости по Д. А. Педю и другие. В сельскохозяйственной практике используется коэффициент продуктивности климата, предложенный В. П. Дмитриенко.

Вместе с тем в качестве показателей климата рассматриваются и такие, которые характеризуют аномальные условия погоды. Это экстремальные значения метеорологических величин, частота и интенсивность опасных явлений погоды и неблагоприятных гидрометеорологических условий и т. п. Например, по экономическим районам ЕТР установлены повторяемости таких экстремальных погодных явлений, как засуха, периоды переувлажнения, оттепели, заморозки, а также ряда других климатических характеристик. При этом было установлено, что безморозный период в последние годы увеличился. Весенние заморозки стали заканчиваться раньше, а осенние начинаются позже среднеустановленных дат (ВНИИГМИ—МЦД, А. И. Неушкин).

В целом все приведенные выше климатические показатели и позволяют определить тот или иной климат данного пункта или района.

Климат оказывает постоянное и многостороннее влияние на всю хозяйственную, производственную деятельность и социальные условия жизни человека. Климатическая информация используется как неотъемлемая часть естественных ресурсов. Однако в качестве ресурсов эта информация выступает в том случае, если она действительно используется и определена ее ценность в данной отрасли народного хозяйства. Некоторые авторы (Н. В. Кобышева, М. В. Ключева) рассматривают климат как *потенциал* для решения конкретных прикладных задач. Так, ветровые ресурсы являются потенциалом для выработки электроэнергии, количество осадков — потенциалом для орошения и землепользования, солнечная энергия, поступающая на стены зданий, — потенциалом для создания комфортных условий внутри зданий, температура воздуха в отопительный сезон — потенциалом для сбережения топливных ресурсов в теплоэнергетике.

В целях улучшения использования климатических ресурсов необходимы уточнения климатических условий отдельных регионов посредством изучения пространственного и временного распределения как отдельных метеорологических величин и явлений погоды, так и опасных гидрометеорологических процессов.

Разработка необходимых для этого климатических характеристик, показателей, индексов и т. п. требует предварительных расчетов на основе данных ежедневных (и даже ежечасных) метеорологических наблюдений.

По отдельным метеорологическим величинам имеется разнообразная климатическая информация. Применительно к температуре воздуха подготовлены (ГГО, ВНИИГМИ—МЦД) справочные материалы по календарным похолоданиям и потеплениям в отдельных пунктах России. Так, для Москвы (с 1879 по 1998 г.) приведены даты с волнами холода и волнами тепла по месяцам. В последнее десятилетие отмечено увеличение числа волн тепла в зимние месяцы. В справочных материалах приводятся сведения о среднемесячной температуре воздуха, ее аномалии, об экстремальных за месяц значениях температуры воздуха, о разных суточных перепадах температуры воздуха, об оттепелях и сильных морозах.

Учет климатических показателей позволяет обоснованно выстроить перспективы развития многих отраслей экономики. Особое значение придается долговременным тенденциям климата и, в частности, особо опасным воздействиям погоды.

Наблюдаемое потепление климата сопровождается заметной неустойчивостью атмосферных процессов, проявлением все более сильной аномальности ряда гидрометеорологических условий. Все это говорит о необходимости привлечения таких климатических характеристик, которые могут отвечать ожидаемым состояниям среды. Растут требования к прочности и устойчивости сооружений, к теплозащитным свойствам строительных материалов в связи с увеличивающейся дисперсией температуры воздуха, количества осадков, скорости и направления ветра и других метеорологических величин.

За период с 1951 по 1998 г. на территории России отмечен линейный тренд повышения среднегодовой температуры воздуха на $2,6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ лет}$ (вклад в дисперсию $26,1\%$). За более длительный период (1891—1998 гг.) потепление составило $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}/1000\text{ лет}$ (вклад в дисперсию $19,0\%$). Наиболее значительное потепление отмечалось в Прибайкалье и Забайкалье, в Приамурье и Приморье. Обобщение этих сведений приводится в монографическом обзоре, выполненном в Росгидромете в 1999 г.

Есть основания полагать, что зависимость основных отраслей народного хозяйства от климата не уменьшилась, а возросла.

Различные потребители определяют для себя те климатические характеристики (численные и графические материалы), которые отвечают как решению текущих задач, так и планированию долгосрочных.

Наиболее широко климатическая информация используется в строительной индустрии. Разработка проектной документации при строительстве самых разнообразных объектов — жилых домов (коммунальное строительство), высотных зданий, мостов, дорог, морских и речных портов, магистральных трубопроводов и многих других — требует *обязательного учета* соответствующих *климатических показателей*.

В настоящее время строительные нормы, согласно которым выполняются проекты, содержатся в следующих организационно-методических документах:

1. СНиП 10-01—94. Система нормативных документов в строительстве. Основные положения.

2. СНиП 10-02—96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.

3. СП 11-103—97. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства.

4. СНиП 1.01.01—82. Строительная климатология и геофизика.

5. СНиП 2.01.07—85. Нагрузки и воздействия.

6. СНиП 2.06.15—85. Инженерная защита территорий от затопления и подтопления.

7. СНиП 22-01—95. Геофизика опасных природных воздействий.

Используются и другие нормативные документы.

Ведется уточнение климатических характеристик по отдельным экономическим районам РФ, по субъектам РФ.¹ Разрабатываются региональные строительные нормы и правила. Уточняются климатические и агроклиматические карты. В изданных в последние годы СНиПах дается более точная оценка повторяемости скорости и направления ветра для нужд ветроэнергетики, для определения продолжительности отопительного периода и др. Все это позволяет экономически выгодно использовать климатическую информацию в строительном проектировании, в жилищно-коммунальном хозяйстве и в топливно-энергетическом комплексе.

Вместе с тем для создания техники и новых технологий (машин, оборудования, станков, самолетов, судов, технологических линий и многого другого) необходимо учитывать климатическую информацию особого рода по конкретным климатическим зонам, районам, что отвечает специфике технического проектирования и регионального использования разрабатываемой техники.

¹ Примером может служить разработка „Строительной климатологии для пунктов Нижегородской области — ТСН-31-301-96 НН”.

Особое значение придается климатическим сведениям для промышленных предприятий, которые являются источниками загрязнения атмосферы. Знание климатических характеристик температурно-ветрового режима позволяет установить такой технологический и производственный режим работы, при котором поддерживается *оптимально здоровая окружающая среда* и минимизируются вредные влияния на население. По отдельным регионам и крупным городам выделяется климатический режим метеорологических условий распространения опасных концентраций загрязняющих веществ.

С целью более избирательного учета потребителем климатического режима континентальных, морских южных и полярных регионов России разрабатывается климатическое районирование для отдельных метеорологических величин и явлений погоды. Изучен климат крупных городов, в которых сосредоточены гигантский хозяйственный и производственный потенциал и многомиллионное население.

Сохраняет свою уникальную роль Справочник по климату СССР в 170 томах, а также Научно-прикладной справочник, подготовленный в ГГО. В Научно-прикладном справочнике содержатся новые статистические характеристики, выражающие структуру метеорологических рядов, такие как среднеквадратические отклонения, коэффициенты асимметрии, автокорреляционные функции основных метеорологических величин.

Научно-прикладной справочник по климату СССР является основой для обеспечения климатической информацией народного хозяйства. Следуя Н. В. Кобышевой, дадим краткую характеристику его четырех серий.

Первая серия, называемая „Ежемесячники, ежегодники“, содержит результаты первой степени обобщения метеорологических данных по отдельным станциям за месяц данного года и за год. Здесь приведены средние месячные и годовые значения метеорологических величин, суммы осадков и солнечной радиации. Указываются экстремальные значения. Дается число дней за месяц с атмосферными явлениями (ясных и пасмурных дней, туманов, метелей, гроз и др.).

Материалы первой серии служат основой для дальнейших климатических обобщений.

Вторая серия содержит информацию, аналогичную первой серии, но обобщенную за пятилетие. Сюда же включены характеристики стихийных явлений (штормов, ливней, пыльных бурь и др.).

Третья серия включает многолетние обобщения по отдельным станциям. Приведены характеристики распределения метеорологических величин: средние значения, среднеквадратические откло-

нения, коэффициенты асимметрии распределений месячных, суточных и „срочных” (за каждый из 8 сроков наблюдений) значений основных метеорологических величин. Кроме того, приводятся даты наступления мороза, начала отопительного периода, периода кондиционирования и др. Наряду с этим приводятся некоторые комплексы двух разных метеорологических величин, например температуры и относительной влажности, отрицательной температуры и скорости ветра и др.

Четвертая серия называется „Климатические ресурсы СССР”. В ней представлены осредненные по административно-хозяйственным районам за многолетний период значения температуры воздуха, осадков, высоты снежного покрова, а также ветровые потенциальные энергоресурсы.

В 1997 г. была разработана целевая федеральная программа „Мировой океан”. Одной из подпрограмм является „Создание единой системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО)”. В рамках подсистемы ЕСИМО изучается изменчивость гидрометеорологических полей (ветра, температуры воздуха и воды, течений, волнения и др.). На основании данных наблюдений исследуются климатические характеристики над морями и океанами.

Особое значение придается региональной климатологии. Так, в ААНИИ подготовлены следующие научно-справочные пособия: 1) „Справочник по радиационному режиму Арктического бассейна (дрейфующие станции)” (Гидрометеоиздат, 1994); 2) „Снежный покров в Арктическом бассейне” (Гидрометеоиздат, 1996); 3) „Научно-прикладной справочник по климату России (Арктический регион. Солнечная радиация)” (Гидрометеоиздат, 1997); 4) „Метеорологический режим Арктического бассейна (дрейфующие станции)” (Гидрометеоиздат, 1999).

В хозяйственной практике широко используются климатические карты, содержащие распределение основных климатических характеристик по территории России и стран СНГ. Наиболее полным является Климатический атлас СССР. Климатическая информация по отдельным метеорологическим величинам содержится в ряде монографий.

Использование климатической информации в основных отраслях народного хозяйства приведено дополнительно в разделе VI.

12.2. Оптимальные климатологические стратегии

Во всех отраслях экономики осуществляются хозяйственные (производственные) и иного рода операции, требующие заблаговременного планирования в целях достижения экономически выгодно-

го результата. Принимаемые при этом долговременные решения являются стратегическими. Задача потребителя состоит в том, чтобы не только определить цели и задать средства планирования, но и выбрать *оптимальную стратегию*, тем самым минимизировать издержки на основании более выгодной для него прогностической информации.

Хозяйственные операции такого рода требуют обязательного учета климатических условий по регионам действий. Наряду с другими факторами климат при этом рассматривается как экономическая категория. Погода и климат выступают в качестве *потенциального капитала*. Остается только выбрать средство, с помощью которого этот капитал можно приобрести.

В качестве такого средства, методической основы потребитель использует выбор оптимальной стратегии.

При выборе оптимальной стратегии потребитель может ориентироваться на такие климатические характеристики, как *вероятность* (повторяемость) ($p \approx p_{\text{кл}}$) осуществления опасного, неблагоприятного состояния или явления погоды. Может быть выбрана *норма* (математическое ожидание $\bar{x}$) метеорологической величины X или иное климатическое условие, отвечающее заданию оптимальной стратегии.

12.2.1. Выбор оптимальной климатологической стратегии при кардинальных мерах защиты

Потребитель располагает сведениями о вероятностях опасных явлений или условий погоды. Под вероятностью явления с определенным допущением будем рассматривать ее приближенную характеристику, а именно повторяемость (см. п. 8.1 и 8.2):

$$p_{10} = n_{10}/N.$$

Величина p_{10} есть климатологический прогноз осуществления явления или неблагоприятного условия погоды.

Планируя хозяйственное мероприятие, реализация которого зависит от климатических условий, потребитель при известном p_{10} для данного пункта или района должен выбрать одну из двух стратегий: или *постоянно защищаться* (принимать те или иные меры противодействия опасным условиям погоды), или *постоянно пренебрегать* последствиями неблагоприятной погоды.

Предварительно отметим важное обстоятельство. Потребитель, выбирая ту или иную стратегию, может применять эффективные меры защиты ($\epsilon \approx 0$). Кроме того, меры защиты стоимостью C суще-

ственно меньше возможных потерь L , т. е. всегда выполняется условие $0 < C < L$.

Рассмотрим теперь два варианта действий потребителя.

1. Пусть известно, что в течение N дней отмечается n_{10} дней с неблагоприятной погодой (грозы, гололед, сильный ветер, низкая температура воздуха и др.). Допускается условие, что в течение этих N дней ежедневно принимаются меры защиты стоимостью C (руб.). Тем самым потребитель снижает прямые убытки L в каждом из n_{10} дней в расчете на то, что общие затраты CN будут меньше, не превысят возможных общих потерь Ln_{10} . Отсюда следует неравенство

$$CN < Ln_{10}. \quad (12.1)$$

Разделив (12.1) на LN , получим¹

$$C/L < n_{10}/N. \quad (12.2)$$

Отсюда

$$p_{10} > C/L. \quad (12.2')$$

Правило: если вероятность опасного условия погоды p_{10} больше отношения C/L , потребитель должен выбрать *стратегию постоянной защиты*. Это так называемая *первая климатологическая стратегия* ($S_{кл.1}$).

Заметим, что при кардинальных мерах защиты ($\epsilon = 0$) отношение C/L трактуется следующим образом: затраты стоимостью C полностью предотвращают убытки L .

Стратегия постоянной защиты, или *стратегия перестраховки*, предполагает, что меры защиты, согласно технологии выполняемых действий, следует применять.

2. При известных уже условиях потребитель полагает, что лучше не применять меры защиты. Тем самым утверждается, что общие затраты CN могут превысить возможные прямые потери Ln_{10} .

В этом случае

$$CN > Ln_{10}. \quad (12.3)$$

В итоге

$$p_{10} < C/L. \quad (12.4)$$

¹ Отношение C/L — затраты—убытки (*cost—loss*) предложено Дж. Томпсоном (WMO, WWW, Planning Report No. 27, 1968).

Правило: если вероятность опасного условия погоды p_{10} меньше отношения C/L , то потребитель должен выбрать *стратегию пренебрежения* (не применять мер защиты). Это так называемая *вторая климатологическая стратегия* ($S_{\text{кл.2}}$).

На основании климатических вероятностей ($p_{10} \approx p_{\text{кл}}$) записывается обобщенное **правило** выбора потребителем (C/L) оптимальной климатологической стратегии:

$$S_{\text{опт(кл)}} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} p_{10} > C/L \rightarrow S_{\text{кл.1}} - \text{постоянная защита} \\ p_{10} = C/L \rightarrow S(S_{\text{кл.1}} \text{ или } S_{\text{кл.2}}) \\ p_{10} < C/L \rightarrow S_{\text{кл.2}} - \text{защита исключается} \end{array} \right\}. \quad (12.5)$$

При использовании первой климатологической стратегии средние потери, которые несет потребитель, будут составлять

$$\bar{R}_{\text{кл.1}} = CN / N = C, \quad (12.6)$$

а в случае второй климатологической стратегии

$$\bar{R}_{\text{кл.2}} = Ln_{10} / N = Lp_{10}. \quad (12.7)$$

На этом основании правило (12.5) можно записать следующим образом:

$$S_{\text{опт}} \rightarrow \bar{R}_{\text{опт}} = \min \bar{R} \left\{ \begin{array}{l} \bar{R}_{\text{кл.1}} < \bar{R}_{\text{кл.2}} \Rightarrow S_{\text{кл.1}} \\ \bar{R}_{\text{кл.1}} \approx \bar{R}_{\text{кл.2}} \Rightarrow \text{безразлично } S_{\text{кл.1}} \text{ или } S_{\text{кл.2}} \\ \bar{R}_{\text{кл.2}} < \bar{R}_{\text{кл.1}} \Rightarrow S_{\text{кл.2}} \end{array} \right. \quad (12.8)$$

Введем понятие нормированных потерь вида

$$E = \frac{\bar{R}}{L}. \quad (12.9)$$

В качестве нормировочной величины в (12.9) используются максимально возможные потери L , которые удастся предотвратить посредством мер защиты.

Выбор оптимальной климатологической стратегии устанавливается на основании соотношения величин E и C/L (рис. 12.1), т. е.

$$E_{\text{опт}} = \min(E_{\text{кл.1}}, E_{\text{кл.2}}). \quad (12.10)$$

В (12.10) величина $E_{\text{кл.1}} = \frac{C}{L}$, а $E_{\text{кл.2}} = p_{10}$.

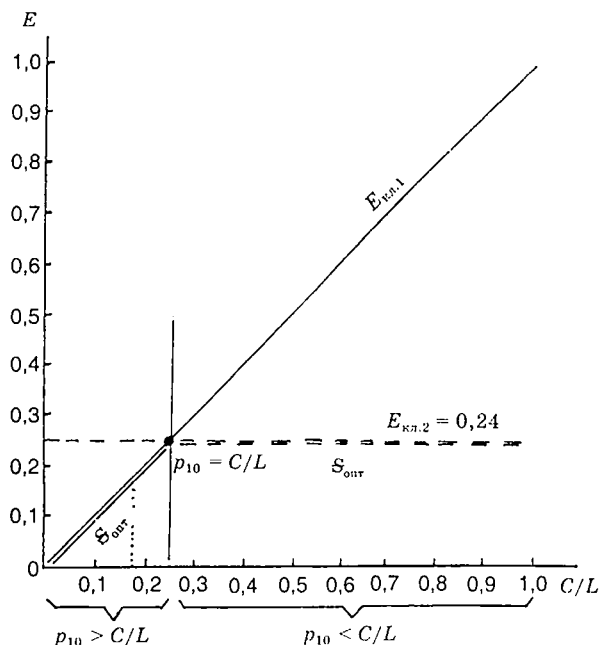


Рис. 12.1. Выбор оптимальной климатологической стратегии.

12.2.2. Выбор оптимальной климатологической стратегии при частичных мерах защиты

Практика потребителя в действительности такова, что принимаемые им меры защиты не позволяют полностью предотвратить потери (см. п. 11.5), если опасное условие погоды наступило. Возможные, ожидаемые потери при затратах C снижаются до *реальных, остаточных* ($\varepsilon s_{12} = \varepsilon L$).

Рассмотрим условия выбора потребителем уже известных климатологических стратегий, полагая, что меры защиты лишь частично устраняют прямые потери.

1. Пусть потребитель постоянно применяет меры защиты стоимостью C . Общие затраты CN совместно с непредотвращенными потерями $\varepsilon L n_{10}$ будут меньше возможных общих потерь $L n_{10}$. Иначе, при $S_{кл.1}$ допускается неравенство

$$CN + \varepsilon L n_{10} < L n_{10}. \quad (12.11)$$

Разделим левую и правую часть неравенства (12.11) на LN , получим

$$\frac{C}{L} + \varepsilon p_{10} < p_{10}. \quad (12.12)$$

Иначе

$$\frac{C}{L} < p_{10}(1 - \varepsilon)$$

или

$$p_{10} > \frac{C}{L(1 - \varepsilon)}. \quad (12.13)$$

Отсюда следует, что потребителю выгодно постоянно применять определенные меры защиты, т. е. действовать согласно первой климатологической стратегии, если вероятность неблагоприятных (опасных) условий погоды больше отношения стоимости защитных мер к предотвращенной части потерь $L(1 - \varepsilon)$.

При первой климатологической стратегии ($S_{\text{кл.1}}$) общие и средние потери определяются следующим образом:

$$R_{\text{кл.1}} = CN + \varepsilon Ln_{10} \quad (12.14)$$

и

$$\bar{R}_{\text{кл.1}} = C + \varepsilon Lp_{10}. \quad (12.15)$$

Нормированные потери есть величина

$$E_{\text{кл.1}} = \frac{C}{L(1 - \varepsilon)} + p_{10} \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}. \quad (12.16)$$

Если в (12.9) нормирование выполняется относительно максимально возможных потерь, которые удастся предотвратить, то в (12.16) при частичных мерах защиты нормирование осуществляется относительно той части потерь $L(1 - \varepsilon)$, которую тоже удастся предотвратить.

2. Потребитель пренебрегает опасными условиями погоды, полагая, что при $S_{\text{кл.2}}$ достигается неравенство вида

$$CN + \varepsilon Ln_{10} > Ln_{10} \quad (12.17)$$

или

$$\frac{C}{L} + \varepsilon p_{10} > p_{10}. \quad (12.18)$$

Отсюда

$$p_{10} < \frac{C}{L(1-\varepsilon)}. \quad (12.19)$$

Только при этом условии стратегия пренебрежения $S_{\text{кл.2}}$, т. е. вторая климатологическая, будет оптимальной. Согласно данной стратегии общие и средние потери соответственно составляют

$$R_{\text{кл.2}} = Ln_{10} \quad (12.20)$$

и

$$\bar{R}_{\text{кл.2}} = Lp_{10}. \quad (12.21)$$

Нормированные потери определяются по формуле

$$E_{\text{кл.2}} = \frac{p_{10}}{1-\varepsilon}. \quad (12.22)$$

На основании (12.13) и (12.16) записывается правило

$$S_{\text{онт}} \rightarrow \bar{R}_{\text{онт}} = \min \bar{R} \begin{cases} \bar{R}_{\text{кл.1}} < \bar{R}_{\text{кл.2}} \Rightarrow S_{\text{кл.1}} \\ \bar{R}_{\text{кл.1}} \approx \bar{R}_{\text{кл.2}} \Rightarrow \text{безразлично } S_{\text{кл.1}} \text{ или } S_{\text{кл.2}} \\ \bar{R}_{\text{кл.2}} < \bar{R}_{\text{кл.1}} \Rightarrow S_{\text{кл.2}} \end{cases} \quad (12.23)$$

12.3. Выбор оптимальной стратегии.

Номограмма потерь

В хозяйственной практике потребитель не только допускает использование климатологических прогнозов (в виде $p_{10} \approx p_{\text{кл}}$), но и постоянно ориентируется на оперативные методические прогнозы. Более того, он вправе использовать исходную (текущую) метеорологическую информацию, т. е. ориентироваться по своему усмотрению на краткосрочные инерционные прогнозы.

12.3.1. Кардинальные меры защиты

Рассмотрим возможность использования различных прогнозов (климатологических, оперативных, инерционных и др.) в целях выбора оптимальной стратегии. Анализ нормированных потерь E при различных стратегиях потребителей C/L приведен на *номограмме потерь* (рис. 12.2).

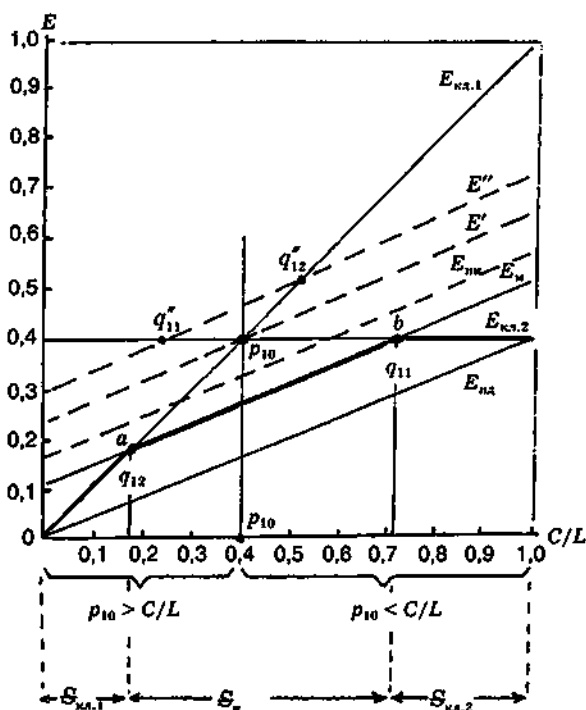


Рис. 12.2. Номограмма потерь при кардинальных мерах защиты.

Будем полагать, что потребитель применяет меры защиты, близкие к кардинальным. При этом условии

$$E = f\left(\frac{C}{L}\right).$$

При использовании методических прогнозов общие потери потребителя, согласно известным ему значениям C и L и альтернативной матрице сопряженности, составляют величину

$$R_m = Cn_{01} + Ln_{12}. \quad (12.24)$$

Средние потери

$$\bar{R}_m = Cp_{01} + Lp_{12}. \quad (12.25)$$

Нормированные потери

$$E_m = \frac{C}{L} p_{01} + p_{12}. \quad (12.26)$$

Итак, представлены потери, которые может нести потребитель, использующий кардинальные меры защиты. Общие, средние и нормированные потери при стратегиях $S_{кл.1}$, $S_{кл.2}$ и S_m приведены в табл. 12.1.

На номограмме (см. рис. 12.2) приведены три основные функции: $E_{кл.1}$, $E_{кл.2}$ и E_m , а именно

$$E_{кл.1} = C/L, \quad (12.27)$$

$$E_{кл.2} = p_{10} \quad (12.28)$$

и

$$E_m = \frac{C}{L} p_{01} + p_{12}. \quad (12.29)$$

При формулировке первой климатологической стратегии ($S_{кл.1}$) $E_{кл.1}$ есть простая линейная функция, ее значения пересекают область $(E, \frac{C}{L})$ по диагонали.

Формулировка второй климатологической стратегии показывает, что величина $E_{кл.2} = p_{10}$, как видим, не зависит от $\frac{C}{L}$. Для любого потребителя $\left(\frac{C}{L}\right)$ потери $E_{кл.2}$ будут одни и те же.

При ориентации на прогнозы — стратегия использования методических прогнозов — уравнение регрессии $E_m = \frac{C}{L} p_{01} + p_{12}$ име-

Таблица 12.1

Общие, средние и нормированные потери при кардинальных мерах защиты

Стратегия потребителя	Потери потребителя		
	общие (R)	средние ($\bar{R}$)	нормированные (E)
$S_{кл.1}$	$R_{кл.1} = CN$	$\bar{R}_{кл.1} = C$	$E_{кл.1} = C/L$
$S_{кл.2}$	$R_{кл.2} = Ln_{10}$	$\bar{R}_{кл.2} = Lp_{10}$	$E_{кл.2} = p_{10}$
S_m	$R_m = Cn_{01} + Ln_{12}$	$\bar{R}_m = Cp_{01} + Lp_{12}$	$E_m = \frac{C}{L} p_{01} + p_{12}$

ет свободный коэффициент p_{12} , значение которого фиксировано на оси ординат E . Наклон линии уравнения определяется угловым коэффициентом $p_{01} = \operatorname{tg} \alpha$. Так, при несмещенных прогнозах $p_{01} = p_{10}$ примем $p_{01} = 0,4$ (на номограмме эта величина выбрана условно), т. е. $\alpha \approx 21^\circ$.

Видно, что прямая E_m пересекает соответствующие прямые $E_{\text{кл.1}}$ и $E_{\text{кл.2}}$ в точках a и b . В точке a $E_{\text{кл.1}} = E_m$, т. е.

$$\frac{C}{L} = \frac{C}{L} p_{01} + p_{12} \quad (12.30)$$

или

$$\frac{C}{L} = \frac{p_{12}}{p_{02}} = q_{12}. \quad (12.31)$$

В точке b $E_{\text{кл.2}} = E_m$, т. е.

$$p_{10} = \frac{C}{L} p_{01} + p_{12}. \quad (12.32)$$

Отсюда

$$\frac{C}{L} = \frac{p_{11}}{p_{01}} = q_{11}. \quad (12.33)$$

С учетом условных вероятностей (q_{12} , q_{11}) используется следующее правило:

1. Если $q_{12} > \frac{C}{L}$, то потребителю следует придерживаться стратегии постоянной защиты $S_{\text{кл.1}}$.

2. Если $q_{12} < \frac{C}{L} < q_{11}$, то следует выбрать стратегию доверия оперативным методическим прогнозам S_m .

3. Если $q_{11} < \frac{C}{L}$, то оптимальной будет стратегия пренебрежения прогнозами $S_{\text{кл.2}}$.

Максимальная выгода использования прогнозов находится в области, близкой к $\frac{C}{L} = p_{10}$.

Оптимальная стратегия (см. рис. 12.2) определяется областью минимальных значений E (или минимальных значений $\bar{R}$), т. е. отвечает условию

$$S_{\text{опт}} \Rightarrow E_{\text{опт}} = \min E(E_{\text{кл.1}}, E_{\text{м}}, E_{\text{кл.2}}),$$

что выражено на номограмме жирной ломаной линией для всего диапазона потребителей $\left(\frac{C}{L}\right)$.

В случае идеальных прогнозов, когда $n_{12} = n_{21} = 0$ и соответственно $p_{12} = p_{21} = 0$, находим

$$E_{\text{м}} = E_{\text{ид}} = \frac{C}{L} p_{01}. \quad (12.34)$$

Такие прогнозы (см. рис. 12.2), как видим, оптимальны для всех потребителей. Условные вероятности смещены в предельные точки значений $\frac{C}{L}$: $q_{12} = \frac{C}{L} = 0$, а $q_{11} = \frac{C}{L} = 1$.

Инерционные прогнозы, как правило, имеют более низкую успешность, чем методические. На номограмме это отражено более узким диапазоном значений $\frac{C}{L}$ в пределах q_{12} и q_{11} .

Возможны прогнозы с крайне низкой успешностью. В этом случае уравнение $E' = \frac{C}{L} p_{01} + p_{12}$ проходит через точку p_{10} , а значит, $q'_{12} = q'_{11} = p_{10}$. Например, прогнозы, представленные матрицей сопряженности

$$\begin{vmatrix} 15 & 10 & 25 \\ 45 & 30 & 75 \\ 60 & 40 & 100 \end{vmatrix},$$

показывают, что критерий точности прогнозов по Обухову равен

$$Q = 1 - (0,4 + 0,6) = 0$$

и $q'_{12} = q'_{11} = p_{10} = 0,25$. Такие прогнозы непригодны для практической реализации. Если уравнение $E'' = \frac{C}{L} p_{01} + p_{12}$ лежит выше точки p_{10} , то использование прогнозов в области значений $q''_{11} \div q''_{12}$ убыточно.

Приведенное здесь отношение $\frac{C}{L}$ требует дополнительного пояснения. На номограмме по оси абсцисс представлены все значения $\frac{C}{L}$, характеризующие практически всех потребителей, в разной ме-

ре подвергающихся воздействию неблагоприятных условий погоды и имеющих возможность использовать определенные меры защиты.

Весь диапазон значений $\frac{C}{L}$ трактуется двояко.

1. Это могут быть все значения $\frac{C}{L}$, которые относятся к одному потребителю и отражают его специфику, сезонность, масштабность и другие условия.

Особое значение придается динамике подстройки потребителя к ожидаемым условиям погоды посредством совершенствования с годами мер защиты, а значит и снижения их стоимости, т. е. к уменьшению отношения $\frac{C}{L}$. Для некоторых потребителей, представляющих собой стационарные хозяйственные объекты (промышленные, сельскохозяйственные и другие), отмечается стремление к реализации первой климатологической стратегии при малых значениях $\frac{C}{L}$.

2. Отношения $\frac{C}{L}$, приведенные на номограмме потерь, могут отражать существенно разных потребителей, принадлежащих к различным отраслям народного хозяйства. Это позволяет выделить тех потребителей, для которых данные методические прогнозы экономически полезны.

Эти положения охватывают как кардинальные $\left(\frac{C}{L}\right)$, так и частичные $\left(\frac{C}{L(1-\varepsilon)}\right)$ меры защиты.

Таким образом, для любого потребителя, для которого известны C и L , дается объективная погодо-хозяйственная оценка целесообразности использования определенной прогностической информации на основании выбора оптимальной стратегии.

12.3.2. Частичные или некардинальные меры защиты

В хозяйственной практике меры защиты, как правило, не являются кардинальными или близкими к этому. Они лишь частично предотвращают потери и нередко меньшую часть от максимально возможных.

При различных стратегиях использования прогностической информации общие, средние и нормированные потери с учетом коэффициента непредотвращенных потерь ε представлены в табл. 12.2.

Пусть номограмма потерь при $\varepsilon > 0$ разрабатывается в соответствии с условиями: $C = 10$ тыс. руб., $L = 100$ тыс. руб., $\varepsilon = 0,20$, $p_{10} = 0,25$, $p_{11} = 0,20$, $p_{12} = 0,05$, $p_{01} = p_{10}$ — прогнозы несмещенные. Нормированные значения средних потерь выбранной стратегии устанавливаются на основании предотвращенных потерь $L(1 - \varepsilon)$. Расчетные значения E приведены в табл. 12.3.

Таблица 12.2

Потери потребителя при частичных мерах защиты
(в качестве нормирующей величины принимается $L(1 - \varepsilon)$)

Стратегия потребителя	Потери потребителя		
	общие (R)	средние ($\bar{R}$)	нормированные (E)
$S_{\text{к.л.1}}$	$R_{\text{к.л.1}} = CN + \varepsilon Ln_{10}$	$\bar{R}_{\text{к.л.1}} = C + \varepsilon Lp_{10}$	$E_{\text{к.л.1}} = \frac{C}{L(1-\varepsilon)} + p_{10} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}$
$S_{\text{к.л.2}}$	$R_{\text{к.л.2}} = Ln_{10}$	$\bar{R}_{\text{к.л.2}} = Lp_{10}$	$E_{\text{к.л.2}} = \frac{p_{10}}{1-\varepsilon}$
$S_{\text{м}}$	$R_{\text{м}} = Cn_{01} + \varepsilon Ln_{11} + Ln_{12}$	$\bar{R}_{\text{м}} = Cp_{01} + \varepsilon Lp_{11} + Lp_{12}$	$E_{\text{м}} = \frac{C}{L(1-\varepsilon)} p_{01} + p_{11} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} + \frac{p_{12}}{1-\varepsilon}$

Таблица 12.3

Нормированные значения потерь

C	$\frac{C}{L(1-\varepsilon)}$	$p_{10} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}$	$E_{\text{к.л.1}}$	$E_{\text{к.л.2}} = \frac{p_{10}}{1-\varepsilon}$	$p_{01} \frac{C}{L(1-\varepsilon)}$	$p_{11} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}$	$\frac{p_{12}}{1-\varepsilon}$	$E_{\text{м}}$
0	0	0,06	0,06	0,31	0	0,05	0,06	0,11
10	0,12	0,06	0,19	0,31	0,03	0,05	0,06	0,14
20	0,25	0,06	0,31	0,31	0,06	0,05	0,06	0,18
40	0,50	0,06	0,56	0,31	0,12	0,05	0,06	0,24
60	0,75	0,06	0,81	0,31	0,19	0,05	0,06	0,30
80	1,00	0,06	1,06	0,31	0,25	0,05	0,06	0,36

На рис. 12.3 приведена номограмма потерь при частичных мерах защиты. Сопоставление значений E с условиями кардинальности мер (прямые E даны штриховой линией) показывает, насколько растут общие издержки $\Delta E_{\text{кл.1}}$, $\Delta E_{\text{кл.2}}$ и $\Delta E_{\text{м}}$ при защитных мерах, возможных в хозяйственной практике.

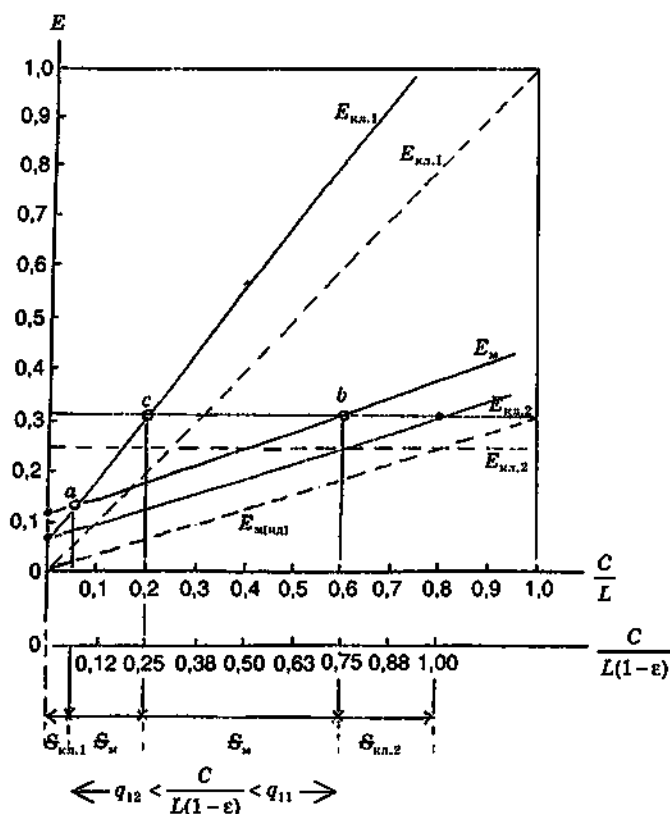


Рис. 12.3. Номограмма потерь при некардинальных мерах защиты.

В точках a и b обнаруживаются равенства $E_{\text{кл.1}} = E_{\text{м}}$ и $E_{\text{кл.2}} = E_{\text{м}}$. Раскрывая их, находим:

в точке a

$$\frac{C}{L(1-\varepsilon)} + p_{10} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} = p_{01} \frac{C}{L(1-\varepsilon)} + p_{11} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} + \frac{p_{12}}{1-\varepsilon} \quad (12.35)$$

или

$$\frac{C}{L(1-\varepsilon)} (1 - p_{01}) = \frac{p_{12}}{1-\varepsilon} - \frac{p_{12}\varepsilon}{1-\varepsilon},$$

Отсюда

$$\frac{C}{L(1-\varepsilon)} = q_{12}. \quad (12.36)$$

В точке b

$$\frac{p_{10}}{1-\varepsilon} = \frac{C}{L(1-\varepsilon)} p_{01} + p_{11} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} + \frac{p_{12}}{1-\varepsilon} \quad (12.37)$$

или

$$\frac{C}{L(1-\varepsilon)} p_{01} = \frac{p_{11}}{1-\varepsilon} - \frac{p_{11}\varepsilon}{1-\varepsilon}.$$

Отсюда

$$\frac{C}{L(1-\varepsilon)} = q_{11}. \quad (12.38)$$

На основании (12.36) и (12.38) следует правило выбора стратегии доверия прогнозам:

$$q_{12} < \frac{C}{L(1-\varepsilon)} < q_{11}. \quad (12.39)$$

12.4. Метеоролого-экономический паспорт потребителя

Использование прогнозов позволяет снизить, а значит, частично предотвратить потери на величину $L(1-\varepsilon)$. Следовательно, номограмма потерь должна отражать это свойство прогнозов и доступную потребителю эффективность защитных мер. Общие потери при этом с учетом предотвращенных составляют:

при первой климатологической стратегии

$$R_{\text{кл.1}} = CN + \varepsilon L n_{10} - n_{10}(L - \varepsilon L) = CN - n_{10}L(1 - 2\varepsilon), \quad (12.40)$$

где $n_{10}(L - \varepsilon L)$ — предотвращенные потери;

при второй климатологической стратегии

$$R_{\text{кл.2}} = L n_{10}. \quad (12.41)$$

Здесь, как видим, потребитель допускает потери;

при стратегии доверия методическим альтернативным прогнозам

$$R_{\text{м}} = C n_{01} + n_{11}\varepsilon L + L n_{12} - n_{11}(L - \varepsilon L) = C n_{01} + L n_{12} - n_{11}L(1 - 2\varepsilon), \quad (12.42)$$

где $n_{11}(L - \varepsilon L)$ — предотвращенные потери при успешных прогнозах наличия явления.

Сводка потерь с учетом их предотвращенной части приведена в табл. 12.4. Обратим внимание, что нормирование выполняется на величину предотвращенных потерь $L(1 - \varepsilon)$.

Для построения номограммы потерь, согласно нормированным величинам ($E_{кл.1}$, $E_{кл.2}$, E_m), приведенным в табл. 12.4, воспользуемся в качестве примера уже известными исходными данными: $C = 10$ тыс. руб., $L = 100$ тыс. руб., $\varepsilon = 0,20$, $p_{10} = 0,25$, $p_{11} = 0,20$, $p_{12} = 0,05$, $p_{01} = p_{10}$ — прогнозы несмещенные. Расчет величин E приведен в табл. 12.5.

По расчетным данным (см. табл. 12.5) построена номограмма потерь (рис. 12.4), которая содержит полную характеристику ожидаемых издержек при той или иной стратегии и рассматривается как *метеоролого-экономический паспорт потребителя*.

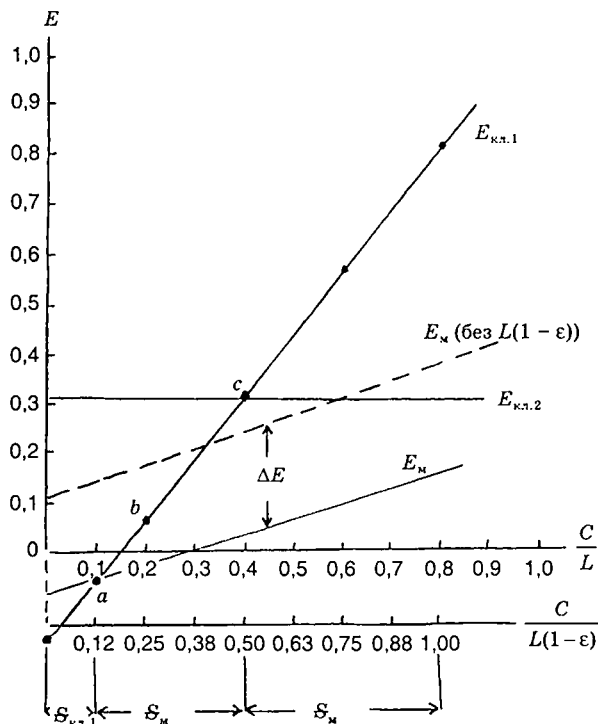


Рис. 12.4. Номограмма потерь при некардинальных мерах защиты с учетом предотвращенных потерь.

Таблица 12.4

Общие, средние и нормированные потери потребителя с учетом предотвращенных

Стратегия потребителя	Потери потребителя		
	общие (R)	средние ($\bar{R}$)	нормированные (E)
$S_{n,1}$	$CN - n_{10}L(1-2\varepsilon)$	$C - p_{10}L(1-2\varepsilon)$	$\frac{C}{L(1-\varepsilon)} - p_{10} \frac{1-2\varepsilon}{1-\varepsilon}$
$S_{n,2}$	Ln_{10}	Lp_{10}	$\frac{p_{10}}{1-\varepsilon}$
S_n	$Cn_{01} + Ln_{12} - n_{11}L(1-2\varepsilon)$	$Cp_{01} + Lp_{12} - p_{11}L(1-2\varepsilon)$	$p_{01} \frac{C}{L(1-\varepsilon)} + \frac{p_{12}}{1-\varepsilon} - p_{11} \frac{1-2\varepsilon}{1-\varepsilon}$

Таблица 12.5

Нормированные значения потерь

C	$C/L(1-\varepsilon)$	$p_{10} \frac{1-2\varepsilon}{1-\varepsilon}$	$E_{n,1}$	$E_{n,2}$	$p_{01} \frac{C}{L(1-\varepsilon)}$	$\frac{p_{12}}{1-\varepsilon}$	$p_{11} \frac{1-2\varepsilon}{1-\varepsilon}$	E_n
0	0	-0,188	-0,188	0,312	0	0,0625	-0,15	-0,0875
10	0,125	-0,188	-0,063	0,312	0,031	0,0625	-0,15	-0,0565
20	0,25	-0,188	0,062	0,312	0,0625	0,0625	-0,15	-0,025
40	0,50	-0,188	0,312	0,312	0,125	0,0625	-0,15	0,0378
60	0,75	-0,188	0,562	0,312	0,1875	0,0625	-0,15	0,100
80	1,00	-0,188	0,812	0,312	0,250	0,0625	-0,15	0,1625

Для конкретного потребителя разрабатываются две-три номограммы потерь по основным явлениям или условиям погоды, лимитирующим производственную деятельность.

Климатологическую стратегию, ориентированную на постоянную защиту ($S_{\text{кл.1}}$), выгодно использовать некоторым потребителям при малых затратах C и условии, что такая стратегия не будет препятствовать выполнению основного вида деятельности.

При затратах C , составляющих 40 % от L или 50 % от $L(1 - \varepsilon)$, климатологические стратегии не выгодны (или вовсе убыточны). Целесообразность использования стратегии доверия прогнозам очевидна. При этом общие издержки заметно снижаются (ΔE) за счет компенсирующего эффекта предотвращенных потерь $L(1 - \varepsilon)$.

В точке a на рис. 12.4 выполняется равенство $E_{\text{кл.1}} = E_{\text{м}}$. На этом основании

$$\frac{C}{L(1 - \varepsilon)} - p_{10} \frac{1 - 2\varepsilon}{1 - \varepsilon} = p_{01} \frac{C}{L(1 - \varepsilon)} + \frac{p_{12}}{1 - \varepsilon} - p_{11} \frac{1 - 2\varepsilon}{1 - \varepsilon}. \quad (12.43)$$

Отсюда следует

$$\frac{C}{L(1 - \varepsilon)} (1 - p_{01}) = \frac{1 - 2\varepsilon}{1 - \varepsilon} (p_{10} - p_{11}) + \frac{p_{12}}{1 - \varepsilon}.$$

В итоге

$$\frac{C}{L(1 - \varepsilon)} = q_{12} \frac{1 - 2\varepsilon}{1 - \varepsilon}. \quad (12.44)$$

Относительно условной вероятности q_{12}

$$q_{12} = \frac{C}{L(1 - 2\varepsilon)}. \quad (12.45)$$

Потребителю выгодно ориентироваться на оперативные методические прогнозы, если

$$q_{12} < \frac{C}{L(1 - 2\varepsilon)}. \quad (12.46)$$

Величина $(1 - 2\varepsilon)$ есть разность предотвращенных $(L - \varepsilon L)$ и остаточных (εL) потерь.

В точке c выполняется равенство $E_{\text{кл.1}} = E_{\text{кл.2}}$. Иначе

$$\frac{C}{L(1-\varepsilon)} - p_{10} \frac{1-2\varepsilon}{1-\varepsilon} = \frac{p_{10}}{1-\varepsilon}.$$

Отсюда

$$\frac{C}{L(1-\varepsilon)} = \frac{p_{10}}{1-\varepsilon} + p_{10} \frac{1-2\varepsilon}{1-\varepsilon} = 2p_{10}. \quad (12.47)$$

Исходные условия разработки номограммы потерь показывают, что

$$\frac{C}{L(1-\varepsilon)} = 0,25 \frac{1}{1-0,2} (2 - 2 \cdot 0,2) = 0,5.$$

Тем самым устанавливаются две области потребителей, для которых оптимальными будут климатологические стратегии $S_{\text{кл}1}$ и $S_{\text{кл}2}$.

Дадим теперь некоторые оценки возможности использования климатологических стратегий.

Первая климатологическая стратегия, предполагающая постоянную защиту, имеет ограниченную область использования. Так, для отраслей транспорта она практически неприемлема. Это особенно характерно для авиации и морского флота.

Эта стратегия применяется в сельском хозяйстве (постоянная защита овощных культур от весенних заморозков, при дождевании, мелиорации и др.), в строительстве (использование соответствующих строительных технологий и строительного материала), для эксплуатации нефте- и газопроводов (обеспечение безопасности на перекачивающих станциях) и в других отраслях.

Вторая климатологическая стратегия практически еще экономически менее приемлема для многих потребителей и несет риск снижения обеспечения безопасности.

12.5. Экономическая полезность выбранной стратегии

Выбор оптимальной стратегии предполагает не только качественную оценку, подтверждающую, что выбор сделан верно, но и численное значение экономической *полезности* данной стратегии.

Полезность устанавливается путем сравнения средних потерь, выраженных в номинальной ($\bar{R}$) или в нормированной (E) форме. Так, например, преимущество одной климатологической стратегии перед другой определяется разностью $\Delta \bar{R}_{\text{кл}1}^{\text{кл}2}$ или $\Delta E_{\text{кл}1}^{\text{кл}2}$.

При *кардинальных мерах* защиты преимущество одной из стратегий определяется следующим образом:

$$\Delta \bar{R}_{\kappa\lambda 1}^{2} = \bar{R}_{\kappa\lambda 1} - \bar{R}_{\kappa\lambda 2} = C - Lp_{10} \quad (12.48)$$

или

$$\Delta E_{\kappa\lambda 1}^{2} = E_{\kappa\lambda 1} - E_{\kappa\lambda 2} = \frac{C}{L} - p_{10}. \quad (12.49)$$

При *частичных мерах* защиты (см. табл. 12.2):

$$\Delta \bar{R}_{\kappa\lambda 1}^{2} = \bar{R}_{\kappa\lambda 1} - \bar{R}_{\kappa\lambda 2} = C + \varepsilon Lp_{10} - Lp_{10} = C - Lp_{10}(1 - \varepsilon) \quad (12.50)$$

или

$$\begin{aligned} \Delta E_{\kappa\lambda 1}^{2} &= E_{\kappa\lambda 1} - E_{\kappa\lambda 2} = \frac{C}{L(1 - \varepsilon)} + p_{10} \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} - \frac{p_{10}}{1 - \varepsilon} = \\ &= \frac{C}{L(1 - \varepsilon)} + p_{10} \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} (\varepsilon - 1) = \frac{C}{L(1 - \varepsilon)} - p_{10} \frac{1}{1 - \varepsilon} (1 - \varepsilon) = \\ &= \frac{C}{L(1 - \varepsilon)} - p_{10}. \end{aligned} \quad (12.51)$$

С учетом *предотвращенных потерь* (см. табл. 12.4):

$$\Delta \bar{R}_{\kappa\lambda 1}^{2} = \bar{R}_{\kappa\lambda 1} - \bar{R}_{\kappa\lambda 2} = C - p_{10}L(1 - 2\varepsilon) - Lp_{10} = C - Lp_{10}[(1 - 2\varepsilon) + 1] \quad (12.52)$$

или

$$\Delta E_{\kappa\lambda 1}^{2} = E_{\kappa\lambda 1} - E_{\kappa\lambda 2} = \frac{C}{L(1 - \varepsilon)} - p_{10} \frac{1 - 2\varepsilon}{1 - \varepsilon} - \frac{p_{10}}{1 - \varepsilon}. \quad (12.53)$$

Здесь следует отметить, что $E_{\kappa\lambda 1}$, выраженное двумя первыми составляющими, может иметь знак минус, т. е. означать выгоду реализации этой стратегии. Поэтому может оказаться целесообразным записать иначе, а именно через разность $E_{\kappa\lambda 2} - E_{\kappa\lambda 1}$.

Стратегия доверия прогнозам в основном остается предпочтительнее *климатологических стратегий*. Экономическая полезность использования прогнозов при „критериальном” подходе устанавливается путем сопоставления средних потерь. Будем рассматривать нормированные потери.

Во всех приведенных ниже вариантах потребитель может или использовать одну из климатологических стратегий, или ориентироваться на прогнозы.

1. Потребитель применяет *кардинальные меры* защиты.

Пусть $p_{10} > \frac{C}{L}$. В этом случае

$$\Delta E_{кл-1}^м = E_{кл-1} - E_m = \frac{C}{L} - \left(p_{01} \frac{C}{L} + p_{12} \right) = p_{02} \frac{C}{L} - p_{12}. \quad (12.54)$$

Выбор стратегии подтверждается полученным результатом. Если $\Delta E_{кл-1}^м > 0$, то оптимальной принимается стратегия доверия прогнозам.

Пусть теперь $p_{10} < \frac{C}{L}$. В этом случае

$$\Delta E_{кл-2}^м = E_{кл-2} - E_m = p_{01} - \left(p_{10} \frac{C}{L} + p_{12} \right) = p_{11} - p_{01} \frac{C}{L}. \quad (12.55)$$

Допустим теперь, что методические прогнозы находятся на уровне идеальных, т. е. $E_m = E_{ид} = p_{01} \frac{C}{L}$. Тогда

$$\Delta E_{кл-1}^{ид} = \frac{C}{L} - p_{01} \frac{C}{L} = \frac{C}{L} (1 - p_{01}) = p_{02} \frac{C}{L} \quad (12.56)$$

и

$$\Delta E_{кл-2}^{ид} = p_{10} - p_{01} \frac{C}{L} = p_{10} \left(1 - \frac{C}{L} \right). \quad (12.57)$$

Максимальная выгода ($\Delta E_{макс}$), как это следует из рис. 12.5, приходится на $p_{10} = \frac{C}{L}$. Это отвечает условию

$$\left. \begin{aligned} \Delta E_{кл-1}^м &= \Delta E_{кл-2}^м = \Delta E_{макс(1)} \\ \Delta E_{кл-1}^{ид} &= \Delta E_{кл-2}^{ид} = \Delta E_{макс(2)} \end{aligned} \right\} \text{ при } p_{10} = \frac{C}{L}.$$

Действительно, в точке $p_{10} = \frac{C}{L}$ (см. рис. 12.5)

$$p_{02} \frac{C}{L} - p_{12} = p_{11} - p_{01} \frac{C}{L}$$

или

$$\frac{C}{L} (p_{02} + p_{01}) = p_{10}, \quad p_{02} + p_{01} = 1.$$

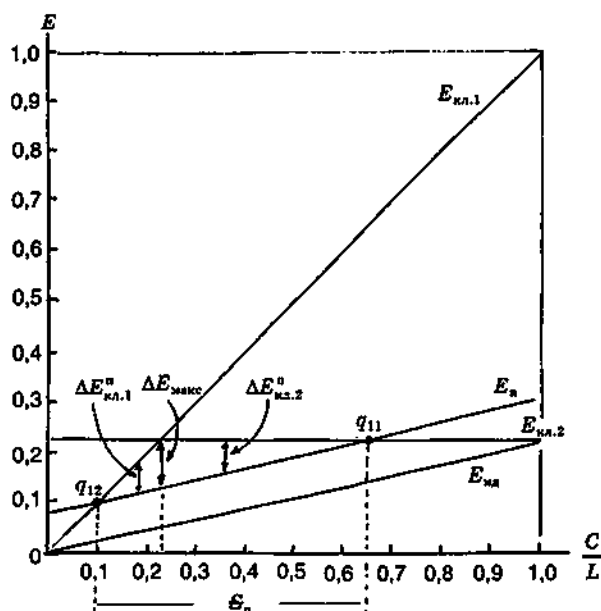


Рис. 12.5. Оценка экономической полезности ΔE выбора стратегии S_α .

Кроме того,

$$p_{20} \frac{C}{L} = p_{10} \left(1 - \frac{C}{L}\right)$$

или

$$\frac{C}{L} = p_{10}.$$

2. Потребитель применяет некардинальные, частичные меры защиты.

Возможные преимущества методических прогнозов определяются следующим образом.

Если $p_{10} > \frac{C}{L(1-\varepsilon)}$, то

$$\begin{aligned} \Delta E_{кл.1}^* &= \left(\frac{C}{L(1-\varepsilon)} + p_{10} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \right) - \left(p_{01} \frac{C}{L(1-\varepsilon)} + p_{11} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} + \frac{p_{12}}{1-\varepsilon} \right) = \\ &= \frac{C}{L(1-\varepsilon)} p_{02} - p_{12}. \end{aligned} \quad (12.58)$$

В случае $p_{10} < \frac{C}{L(1-\varepsilon)}$ находим

$$\begin{aligned}\Delta E_{\text{кл}2}^{\text{м}} &= \frac{p_{10}}{1-\varepsilon} - p_{01} \left(\frac{C}{L(1-\varepsilon)} + p_{11} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} + p_{12} \frac{1}{1-\varepsilon} \right) = \\ &= p_{11} - p_{01} \frac{C}{L(1-\varepsilon)}.\end{aligned}\quad (12.59)$$

3. С учетом *предотвращенных* потерь экономическая полезность методических прогнозов определяется так:

$$\text{при } p_{10} > \frac{C}{L(1-\varepsilon)}$$

$$\begin{aligned}\Delta E_{\text{кл}1}^{\text{м}} &= \left(\frac{C}{L(1-\varepsilon)} - p_{10} \frac{1-2\varepsilon}{1-\varepsilon} \right) - \left(p_{01} \frac{C}{L(1-\varepsilon)} + \frac{p_{12}}{1-\varepsilon} - p_{11} \frac{1-2\varepsilon}{1-\varepsilon} \right) = \\ &= p_{02} \frac{C}{L(1-\varepsilon)} - p_{12} \frac{1}{1-\varepsilon} ((1-2\varepsilon) + 1);\end{aligned}\quad (12.60)$$

$$\text{при } p_{10} < \frac{C}{L(1-\varepsilon)}$$

$$\begin{aligned}\Delta E_{\text{кл}2}^{\text{м}} &= \frac{p_{10}}{1-\varepsilon} - \left(p_{01} \frac{C}{L(1-\varepsilon)} + \frac{p_{12}}{1-\varepsilon} - p_{11} \frac{1-2\varepsilon}{1-\varepsilon} \right) = \\ &= p_{11} \frac{1}{(1+(1-2\varepsilon))} - p_{01} \frac{C}{L(1-\varepsilon)}.\end{aligned}\quad (12.61)$$

Наряду с этим определяется экономическое преимущество использования оперативных методических прогнозов относительно инерционных. Различия будут составлять только совместные вероятности осуществления текстов прогнозов, согласно матрицам сопряженности.

Рассмотрим экономическую полезность идеальных прогнозов относительно оперативных методических при *частичных мерах* защиты.

Средние и нормированные потери при идеальных прогнозах соответственно равны

$$\bar{R}_{\text{ид}} = Cp_{11} + \varepsilon Lp_{11} \quad (12.62)$$

и

$$E_{\text{ид}} = p_{11} \frac{1}{1-\varepsilon} \left(\frac{C}{L} + \varepsilon \right). \quad (12.63)$$

Определяем далее экономическую полезность идеальных прогнозов

$$\begin{aligned} \Delta E_{\text{м}}^{\text{ид}} &= \left(p_{01} \frac{C}{L(1-\varepsilon)} + p_{11} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} + \frac{p_{12}}{1-\varepsilon} \right) - \left[p_{11} \frac{1}{1-\varepsilon} \left(\frac{C}{L} + \varepsilon \right) \right] = \\ &= \frac{1}{1-\varepsilon} \left(\frac{C}{L} p_{21} + p_{12} \right). \end{aligned} \quad (12.64)$$

Величина $\Delta E_{\text{м}}^{\text{ид}}$ характеризует потенциальные возможности методических прогнозов, поскольку идеальные прогнозы отражают верхний уровень полезности прогнозов.

12.6. Параметрические критерии выбора оптимальной стратегии

Производственные операции, выполняемые на открытом воздухе, должны быть адекватны погодным условиям. Прогноз погоды позволяет более надежно подстроиться к возможной погоде и извлечь тем самым максимальную пользу от этой информации.

Заблаговременная информация о вероятном осуществлении погодных условий наиболее полно используется в байесовском подходе конструирования общей модели поиска оптимальных решений и оптимальной стратегии (см. гл. 11), где задача решается как экстремизация функции цели (критерия оптимальности).

Однако выбор оптимального поведения потребителя возможен на основании иных критериев, непосредственно не касающихся функции цели. Такая параметризация оптимальных условий поведения потребителя основана на использовании некоторых экономических и метеорологических показателей.

12.6.1. Пороговая оправдываемость прогнозов

Уже отмечалось (см. п. 6.6), что критерий „общая оправдываемость” не является надежным показателем и выражает лишь часть успеха прогнозирования. Однако представляется возможным ис-

пользовать этот критерий в оценке преимущества методических прогнозов (p_m) перед климатологическими (p_{10}) для данного потребителя $\left(\frac{C}{L}\right)$.

Для *несмещенных прогнозов* ($n_{10} = n_{01}$, $n_{20} = n_{02}$ и $n_{12} = n_{21}$) общую оправдываемость, следуя Л. С. Гандину, можно представить так:

$$p_m = 1 - 2p^*, \quad (12.65)$$

где $p^* = p_{12} = p_{21}$.

Из условия $E_{кл.1} = E_m$ известно, что $\frac{C}{L} = q_{12} = \frac{p_{12}}{p_{02}} = \frac{p_{12}}{1 - p_{01}}$. На этом основании

$$\frac{C}{L} = \frac{p^*}{1 - p_{10}}.$$

Отсюда

$$p^* = \frac{C}{L}(1 - p_{10}). \quad (12.66)$$

Величина p^* характеризует пороговое условие равенства $E_{кл.1} = E_m$. Подставляя (12.49) в (12.48), находим *пороговую оправдываемость* методических прогнозов для потребителей, для которых характерно неравенство $p_{10} > \frac{C}{L}$:

$$p_{пор} = 1 - 2\frac{C}{L}(1 - p_{10}). \quad (12.67)$$

Потребителю экономически выгоднее выбрать стратегию доверия прогнозам S_m , чем ориентироваться на стратегию постоянной защиты $S_{кл.1}$, если общая оправдываемость больше пороговой:

$$p_m > p_{пор}. \quad (12.68)$$

Используем далее равенство $E_{кл.2} = E_m$ и условие

$$\frac{C}{L} = q_{11} = \frac{p_{11}}{p_{01}} = \frac{p_{10} - p_{12}}{p_{01}}.$$

Отсюда следует

$$\frac{C}{L} = \frac{p_{10} - p^*}{p_{10}}$$

и

$$p^* = p_{10} \left(1 - \frac{C}{L} \right). \quad (12.69)$$

Устанавливается пороговая оправдываемость методических прогнозов при условии $p_{10} < \frac{C}{L}$

$$p_{\text{пор}} = 1 - 2p_{10} \left(1 - \frac{C}{L} \right). \quad (12.70)$$

Если выполняется неравенство (12.68), то для данного потребителя использование методических прогнозов экономически выгоднее, чем использование второй климатологической стратегии.

В случае *смещенных прогнозов*, что характерно в синоптической практике (как правило, $n_{21} > n_{12}$), по оценкам автора, пороговая оправдываемость имеет несколько иное содержание.

Для этого класса прогнозов воспользуемся общей оправдываемостью

$$p_m = p_{11} + p_{12}.$$

При условии $p_{10} > \frac{C}{L}$ и $E_{\text{кл.1}} = E_m$ известно, что $\frac{C}{L} = q_{12}$. Запишем

$$q_{12} = \frac{p_{12}}{p_{02}} = \frac{p_{02} - p_{22}}{p_{02}} = \frac{C}{L}.$$

Отсюда

$$p_{22} = p_{02} \left(1 - \frac{C}{L} \right). \quad (12.71)$$

Пороговая оправдываемость

$$\bar{p}_{\text{пор}} = p_{11} + p_{02} \left(1 - \frac{C}{L} \right). \quad (12.72)$$

Методические прогнозы экономически выгоднее, если

$$p_m > \tilde{p}_{\text{пор}}. \quad (12.73)$$

В случае $p_{10} < \frac{C}{L}$ и $E_{\text{кл.2}} = E_m$ величина $\frac{C}{L} = q_{11} = \frac{p_{11}}{p_{01}}$. Отсюда

$$p_{11} = p_{01} \frac{C}{L}.$$

В итоге

$$\tilde{p}_{\text{пор}} = p_{22} + p_{01} \frac{C}{L}. \quad (12.74)$$

Более предпочтительна стратегия S_m , чем $S_{\text{кл.2}}$, если $p_m > \tilde{p}_{\text{пор}}$.

При частичных мерах защиты более точное выражение получает пороговая оправдываемость несмещенных прогнозов:

$$\text{при } p_{10} > \frac{C}{L(1-\varepsilon)}$$

$$p_{\text{пор}} = 1 - 2 \frac{C}{L(1-\varepsilon)} (1 - p_{10}); \quad (12.75)$$

$$\text{при } p_{10} < \frac{C}{L(1-\varepsilon)}$$

$$p_{\text{пор}} = 1 - 2p_{10} \left(1 - \frac{C}{L(1-\varepsilon)} \right). \quad (12.76)$$

Аналогично уточняется пороговая оправдываемость при смещенных прогнозах:

$$\text{при } p_{10} > \frac{C}{L(1-\varepsilon)}$$

$$p_{\text{пор}}^* = p_{11} + p_{02} \left(1 - \frac{C}{L(1-\varepsilon)} \right); \quad (12.77)$$

$$\text{при } p_{10} < \frac{C}{L(1-\varepsilon)}$$

$$P_{\text{пор}}^* = P_{22} + P_{01} \frac{C}{L(1-\varepsilon)}. \quad (12.78)$$

Условия выбора стратегии сохраняются прежними.

На рис. 12.6 дано графическое представление пороговой оправдаваемости методических прогнозов. Видна область потребителей $\left(\frac{C}{L}\right)$, для которых выгодно использовать прогнозы, т. е. выбрать стратегию доверия прогнозам (при $p_{\text{и}} > p_{\text{пор}}$). Успешная реализация инерционных прогнозов лежит в более узкой области значений $\frac{C}{L}$.

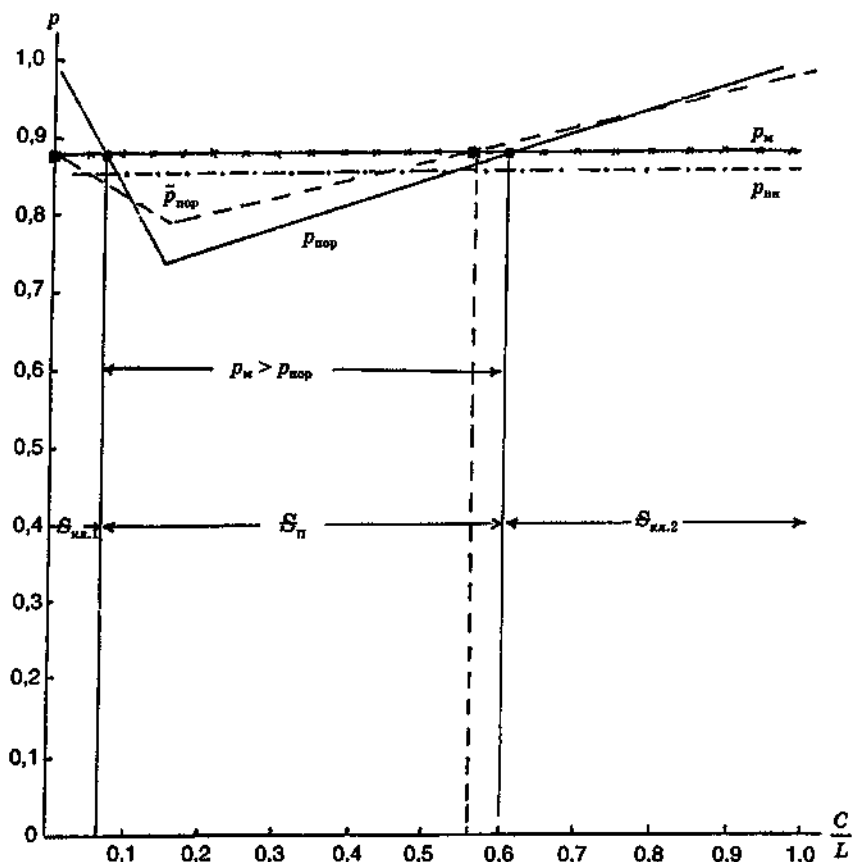


Рис. 12.6. Выбор оптимальной стратегии на основании пороговой оправдаваемости $p_{\text{пор}}$, $\tilde{p}_{\text{пор}}$.

Выбор климатологических стратегий приходится на малые и большие значения $\frac{C}{L}$.

12.6.2. Критерии, отражающие требования потребителя к успешности метеорологических прогнозов

Экономически выгодными являются такие прогнозы, которые удовлетворяют хозяйственные интересы потребителей. Рассмотрим некоторые критерии, в соответствии с которыми прогнозы могут быть признаны экономически полезными или потребуются выбор иной стратегии.

1. Успешность прогнозов определяется по формуле

$$Q^* = q_{11} + q_{22} - 1. \quad (12.79)$$

Необходимо, чтобы точность смещенных прогнозов Q^* превышала некоторое пороговое значение $Q_{\text{пор}}^*$:

$$Q^* > Q_{\text{пор}}^* = \begin{cases} p_{10} - \frac{C}{L} & \text{при } p_{10} > \frac{C}{L}, \\ \frac{C}{L} - p_{10} & \text{при } p_{10} < \frac{C}{L}. \end{cases} \quad (12.80)$$

Выполнение условия (12.80) дает основание считать, что использование прогнозов выгоднее, чем ориентация потребителя на климатологические стратегии.

2. В случае несмещенных прогнозов пороговое условие задается критерием Обухова

$$Q = 1 - \left(\frac{n_{12}}{n_{10}} + \frac{n_{21}}{n_{20}} \right).$$

Пороговое значение находится следующим образом:

$$Q_{\text{пор}} = \frac{p_{10} - \frac{C}{L}}{p_{10}} \quad \text{при } p_{10} > \frac{C}{L}$$

и

$$Q_{\text{пор}} = \frac{\frac{C}{L} - p_{10}}{1 - p_{10}} \quad \text{при } p_{10} < \frac{C}{L}. \quad (12.81)$$

Экономическое преимущество методического прогноза очевидно, если

$$Q > Q_{\text{пор}}. \quad (12.82)$$

3. Потребители $\left(\frac{C}{L}\right)$, которые могут использовать первую или вторую климатологическую стратегию, находятся в двух разных диапазонах значений $\frac{C}{L}$, разделенных известным пороговым условием p_{10} .

Однако, если воспользоваться элементами матрицы потерь, то можно записать

$$\bar{R}_{\text{кл.1}} = p_{10}s_{11} + p_{20}s_{21}$$

и соответственно

$$\bar{R}_{\text{кл.2}} = p_{10}s_{12} + p_{20}s_{22}.$$

Из равенства $\bar{R}_{\text{кл.1}} = \bar{R}_{\text{кл.2}}$ следует

$$p_{10}(s_{11} - s_{12}) = p_{20}(s_{22} - s_{21}).$$

Отсюда

$$\frac{p_{10}}{p_{20}} = \frac{s_{22} - s_{21}}{s_{11} - s_{12}}. \quad (12.83)$$

Обозначив левую часть уравнения (12.83) через $p_{\text{пор}}^*$, а правую — через β , запишем следующее правило:

$$S_{\text{кл.опт}} \Rightarrow \begin{cases} p_{\text{пор}}^* > \beta & \text{стратегия } S_{\text{кл.1}}, \\ p_{\text{пор}}^* < \beta & \text{стратегия } S_{\text{кл.2}}. \end{cases} \quad (12.84)$$

Следуя Е. Е. Жуковскому, используем два показателя:

$$\alpha_1 = \frac{p_{11}}{p_{21}} \text{ — риск удачного прогноза наличия явления}$$

и

$$\alpha_2 = \frac{p_{12}}{p_{22}} \text{ — риск пропуска явления.}$$

Сопоставление α и β дает правило (по Е. Е. Жуковскому):

$$\mathcal{S}_{\text{опт}} \Rightarrow \begin{cases} \beta < x_2 & \text{стратегия } \mathcal{S}_{\text{кл.1}}, \\ x_2 < \beta < x_1 & \text{стратегия } \mathcal{S}_{\text{и}}, \\ \beta > x_1 & \text{стратегия } \mathcal{S}_{\text{кл.2}}. \end{cases} \quad (12.85)$$

4. Потребитель нередко ориентируется на текущую погоду, т. е. на инерционный прогноз, планируя хозяйственные работы на относительно короткий период (до двух суток). В этом случае важно установить, при каких условиях методические прогнозы будут *экономически предпочтительнее* инерционных.

Если в качестве исходного условия допустить равенство потерь при инерционном и методическом прогнозах, то можно установить пороговое условие их полезности (предложено автором).

Запишем $E_{\text{м}} = E_{\text{ин}}$

или

$$p_{01} \frac{C}{L} + p_{12} = p_{01}^{\text{ин}} \frac{C}{L} + p_{12}^{\text{ин}}. \quad (12.86)$$

Отсюда

$$\frac{C}{L} = \frac{p_{12}^{\text{ин}} - p_{12}}{p_{01} - p_{01}^{\text{ин}}} = \omega. \quad (12.87)$$

С учетом равенства $p_{01}^{\text{ин}} = p_{10}$ (согласно матрицам сопряженности альтернативных методических и инерционных прогнозов) перепишем уравнение (12.70)

$$\frac{C}{L} = \frac{p_{12}^{\text{ин}} - p_{12}}{p_{01} - p_{10}} = \omega. \quad (12.88)$$

Здесь возможны два частных варианта.

1) $p_{01} > p_{10}$ — явление прогнозируется чаще, чем фактически наблюдается. При этом $p_{01} > p_{01}^{\text{ин}}$ и $p_{12} < p_{21}$. Тогда

$$\mathcal{S}_{\text{опт}} = \begin{cases} \omega > \frac{C}{L} \Rightarrow \mathcal{S}_{\text{и}}, \\ \omega < \frac{C}{L} \Rightarrow \mathcal{S}_{\text{ин}}. \end{cases}$$

2) $p_{01} < p_{10}$ — явление прогнозируется реже, чем фактически наблюдается. При этом $p_{01} < p_{01}^{\text{ин}}$ и $p_{12} > p_{21}$. Тогда

$$S_{\text{онт}} = \begin{cases} \omega < \frac{C}{L} \Rightarrow S_{\text{н}}, \\ \omega > \frac{C}{L} \Rightarrow S_{\text{ин}}. \end{cases}$$

Эти два варианта удобнее свести в единое правило, используя отношение p_{01}/p_{10} . Тогда

$$S_{\text{онт}} = \begin{cases} p_{01}/p_{10} > 1 & \omega > \frac{C}{L} \Rightarrow S_{\text{н}}, \\ p_{01}/p_{10} > 1 & \omega < \frac{C}{L} \Rightarrow S_{\text{ин}}, \\ p_{01}/p_{10} < 1 & \omega > \frac{C}{L} \Rightarrow S_{\text{ин}}, \\ p_{01}/p_{10} < 1 & \omega < \frac{C}{L} \Rightarrow S_{\text{н}}. \end{cases} \quad (12.89)$$

Формула (12.89) показывает, что использование данного критерия возможно для смещенных прогнозов ($p_{01} \neq p_{10}$).

Раздел V

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ПОЛЕЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Глава 13

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЯ ОТ УСЛОВИЙ ПОГОДЫ

13.1. Чувствительность потребителя к воздействию погодных условий

Все сферы экономики — производство, транспорт, торговля — подвержены влиянию погоды и несут значительные потери в зависимости от продолжительности и интенсивности неблагоприятных метеорологических условий. Распределение неблагоприятных метеорологических явлений (НГЯ) и опасных явлений погоды (ОЯ) на территории России за 1991—2003 гг. представлено в табл. 13.1.

Таблица 13.1

**Распределение гидрометеорологических явлений на территории России
за 1991—2003 гг.**

Экономический район	За 1993—1997 гг.		ОЯ и НГЯ за 1991—2003 гг.
	Число ОЯ	Число НГЯ	
Северный	56	66	158
Северо-Западный	28	53	145
Калининградская область	4	4	79
Центральный	66	90	314
Волго-Вятский	60	77	233
Центрально-Черноземный	34	44	118
Поволжский	122	150	484
Северо-Кавказский	130	148	738
Уральский	140	174	474
Западно-Сибирский	112	170	522
Восточно-Сибирский	77	107	689
Дальневосточный	127	169	743
В целом по России	956	1250	4697

В табл. 13.1 включены следующие гидрометеорологические явления: ураган ($V > 30$ м/с), сильный ветер ($V \geq 15$ м/с), шквал, смерч, сильный снег, метель, гололед, ливень, град, гроза, мороз, заморозки, весеннее половодье, дождевые паводки, ветровой нагон (наводнение), лавины, сели, засуха, лесные пожары.

Наибольшее число опасных условий погоды приходится на Северо-Кавказский экономический регион. По генетическому признаку — физической природе — здесь в 90 % случаев отмечаются явления, которые можно разделить на две группы: осадковая (ливни, град, снегопады, гололед, сильные продолжительные дожди, налипание и обмерзание мокрого снега, туман, дождевые паводки) и ветровая (ураган, сильный ветер, шквал, смерч, метель, пыльная буря, наводнение, ветровой нагон, сильное волнение), которые составляют соответственно 60,8 и 29,2 % от общей повторяемости явлений только по этим двум группам.

В зависимости от специфики проводимых производственных операций и работ потребители испытывают различную степень зависимости от погоды, а значит испытывают различную „чувствительность” к погоде.

Под „чувствительностью” потребителя к метеорологическим условиям понимается степень его зависимости от воздействия погоды и климата на хозяйственный процесс. Неблагоприятные и опасные условия погоды вызывают потери (ущерб), величина которых зависит от интенсивности явления и эффективности мер защиты, принимаемых потребителем как в случае точных, так и ошибочных прогнозов. Одним из показателей чувствительности потребителя рассматривается отношение вида

$$\gamma = \frac{L_n^*}{N^*}, \quad (13.1)$$

где L_n^* — непредотвращенные (ϵL) и прямые (L) потери при известной успешности метеорологических прогнозов; N^* — число случаев опасных явлений или неблагоприятных условий погоды, вызвавших потери L_n^* .

Величину γ рассматривают как меру метеорологической уязвимости производственного объекта в данной отрасли экономики.

Исследования подверженности отдельных отраслей влиянию полного комплекса гидрометеорологических условий за 10-летие (1900—2000 гг.) показали, что наиболее чувствительным потребителем в России является сельское хозяйство (табл. 13.2).

**Ранжирование потребителей по чувствительности к опасным условиям
погоды в России**

Отрасль экономики	Чувствительность, млн. руб./случай
Сельское хозяйство	2,3
Строительство	1,5
Лесное хозяйство	0,5
Коммунальное хозяйство	0,4
Транспорт (автомобильный и железнодорож- ный)	0,3
Топливо-энергетический комплекс (ТЭК)	0,3
Связь	0,2

Каждая отрасль экономики „избирательна” к влияющим на нее неблагоприятным условиям погоды. В табл. 13.3 приведено распределение числа случаев опасных явлений и неблагоприятных условий погоды, вызывающих потери в отраслях экономики.

Как видно, наибольшее влияние на отрасли экономики оказывают составляющие ветровой группы ($\tilde{\gamma} = 0,414$).

Если принять, что число случаев a_{ij} (в %), отражающих ущерб, есть *весовая доля влияния* погодных условий на потребителя, то можно установить *меру влияния* определенного вида погодных условий на экономику. В качестве такого показателя меры влияния принимается *обобщенная чувствительность* всех основных потребителей (объектов экономики) к определенному метеорологическому фактору, что можно формализовать следующим образом:

$$\tilde{\gamma} = \frac{\sum_{j=1}^m a_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}}, \quad (13.2)$$

где $\sum_{j=1}^m a_{ij}$ — ущерб (потери) в экономике за счет определенного НГЯ (продолжительный дождь с ветром, налипание мокрого снега с ветром, продолжительный туман с изморозью и др.) или ОЯ (гроза, шквал, гололед и др.) за выбранный период времени; $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}$ — суммарный ущерб (потери) в экономике за счет всех НГЯ и ОЯ за тот же период времени.

Таблица 13.3

Распределение числа случаев a_{ij} опасных явлений и условий погоды, вызывающих потери в отраслях экономики (в % от общей суммы случаев для данной отрасли по всем видам опасных условий погоды)

Вид опасных условий погоды i	Отрасль экономики j									Σa_{ij}	$\bar{y}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Ветер, шквал, смерч	21,0	49,3	46,4	32,6	35,1	50,7	49,8	48,7	38,9	372,5	0,414
Снегопад	3,0	9,9	4,4	12,6	9,3	8,2	8,9	6,2	15,6	78,1	0,087
Метель	2,4	10,9	43,7	21,5	30,1	7,2	10,5	4,4	22,1	152,8	0,170
Дождь, ливень, сель	20,0	9,9	0,6	14,1	10,8	21,4	12,2	15,9	1,3	106,2	0,118
Гололед	1,0	7,3	1,6	7,4	4,9	2,0	6,3	4,4	5,2	40,1	0,045
Град	6,1	3,8	0,0	0,0	0,0	6,6	3,8	8,0	0,0	28,3	0,031
Пыльная буря	1,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,9	0,0	4,4	0,005
Заморозки	36,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,8	0,041
Резкое изменение тем- пературы	4,0	3,8	0,0	3,0	3,8	2,3	3,0	8,8	10,4	39,1	0,043
РИУП	4,5	4,1	0,6	8,1	4,9	1,6	4,2	2,7	6,5	37,2	0,041
Туман	0,0	0,0	2,7	0,7	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,005
Сумма	100	100	100	100	100	100	100	100	100	900,0	1,000

Примечание. 1 — сельское хозяйство; 2 — ТЭК; 3 — гражданская авиация; 4 — железнодорожный транспорт; 5 — автомобильный транспорт; 6 — коммунальное хозяйство; 7 — связь; 8 — лесное хозяйство; 9 — строительство; РИУП — резкие изменения условий погоды.

Около 41 % опасных воздействий погоды на экономику приходится на ветровую компонент метеорологических условий. Ветер — наиболее опасная составляющая погоды. Тем самым подтверждается необходимость дальнейшего совершенствования уже известных методов прогнозирования усиления ветра и шквалов, а также разработки методов прогноза возникновения смерчей.

Перенос масс воздуха вызывает многочисленные опасные состояния погоды (рис. 13.1). Горизонтальный перенос масс воздуха — ветер — оказывает непосредственное воздействие на хозяйственную деятельность с учетом сопровождающих его условий (выпадение или перенос снега, дождь, аккумуляция пыли). Упорядоченные и неупорядоченные вертикальные движения остаются „скрытым” фактором, дополнительно вызывающим опасные явления погоды, сопровождающие ветер, такие как грозы, ливни, град, шквал.

Согласно данным табл. 13.3, на долю метелей и снегопадов приходится около 26 %. Эти неблагоприятные условия погоды вызывают значительные потери у ряда потребителей (транспорт, коммунальное хозяйство) в холодное полугодие. В теплое полугодие наибольшую опасность несут дожди, ливни и сели (11, 8 %). Выделяется воздействие заморозков на сельское хозяйство. Заметная доля метеорологических издержек приходится на резкие изменения температуры воздуха и сложные условия погоды в целом (РИУП).

Чувствительность потребителя может быть установлена на основании непредотвращенной части потерь. Прямые потери, как остаточные, так и полные, которые несет потребитель соответственно при успешных (n_{11}) и ошибочных (n_{12}) прогнозах, определяются по формуле

$$L_n = A \varepsilon L \frac{J \mu}{C \tau}, \quad (13.3)$$

где A — коэффициент пропорциональности (руб./балл); J — интенсивность опасного явления погоды или иных неблагоприятных погодных условий (балл); μ — продолжительность опасного явления или неблагоприятного условия погоды (ч); C — стоимость затрат на предупредительные меры (руб.); L — максимально возможные потери для данного потребителя при фактически осуществившемся опасном явлении или неблагоприятном условии погоды (руб.); τ — заблаговременность предупреждения о возможности осуществления опасного явления погоды (ч); ε — коэффициент непредотвращенных потерь.

Согласно структуре формулы (13.3), непредотвращенные потери $L_n = \varepsilon L \alpha$ отражают степень уязвимости потребителя, связанной

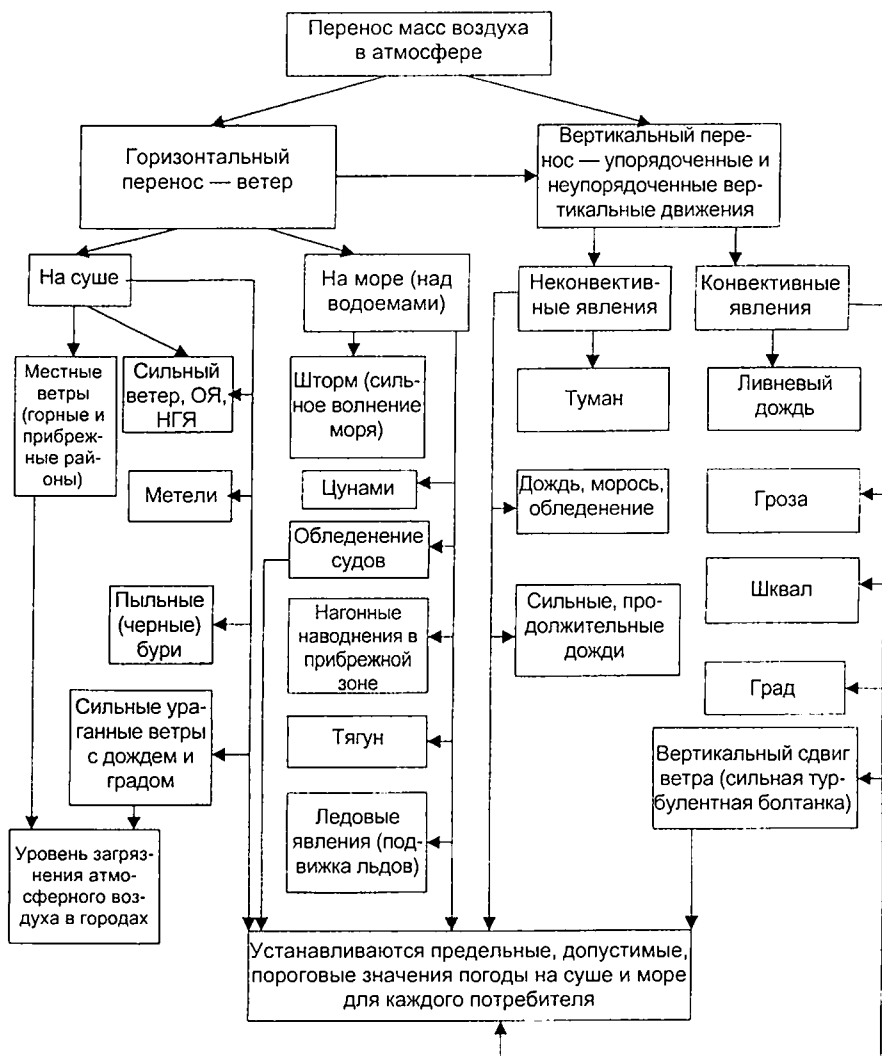


Рис. 13.1. Перенос масс воздуха в атмосфере как фактор, вызывающий многочисленные опасные гидрометеорологические условия.

с опасной погодой. Отсюда в качестве меры чувствительности дополнительно используют коэффициент ε

$$\varepsilon = \frac{1}{A} \frac{L_n}{L} \frac{C\tau}{J\mu}, \quad (13.4)$$

где $\frac{1}{A} = A^* [\text{балл/руб.}]$, а соотношение $\frac{L_{\mu}}{L} \frac{C\tau}{J_{\mu}}$ имеет размерность [руб./балл].

Чувствительность потребителя к возможному воздействию опасной погоды, как видим, зависит не только от экономической характеристики потребителя $\frac{C}{L}$, но и от заблаговременности прогноза τ , продолжительности опасного условия погоды μ и ее интенсивности J , что учитывается потребителем при выборе мер защиты и их стоимостного обеспечения.

Для оценки коэффициента непредотвращенных потерь ϵ уже использовался подход, основанный на привлечении успешности прогнозирования наличия (Π) и отсутствия ($\bar{\Pi}$) явления (Φ). Полученный таким образом коэффициент ϵ также принимает на себя функцию чувствительности с позиции влияния на нее метеорологического фактора.

Приведенные показатели „чувствительности“, выраженные формулой (13.1) — *чувствительность потребителя ко всему набору неблагоприятных метеорологических условий*, формулой (13.2) — *обобщенная чувствительность всех отраслей к заданному виду метеорологических условий*, формулой (13.4) — *чувствительность, отражающая способность противостоять непогоде*, позволяют получить более полную характеристику ранжировки отраслей экономики по степени учета текущей погоды, прогнозов и организации защиты.

Согласно исследованиям Уайта, ранжировка отраслей национальной экономики по степени зависимости от метеорологических условий существенно отличается от таковой по хозяйственной значимости (табл. 13.4 и 13.5)

Природная и экономическая ранжировка потребителей в разных странах может несколько различаться при сохранении общей тенденции — большей уязвимости открытых к погодным условиям видов деятельности производства.

Особая сфера чувствительности принадлежит природе, подвергающейся воздействию человека — антропогенному влиянию. Загрязнение среды чревато крайне тяжелыми последствиями для самого же человека. Оно подавляет ассимиляционную способность природной среды. В конечном счете загрязнение среды разрушает и техногенную сферу.

Таблица 13.4

Степень подверженности национальной экономики США влиянию гидрометеорологических условий (ранжирование)

№ п/п	Отрасль национальной экономики	№ п/п	Отрасль национальной экономики
1	Рыболовный флот	8	Производство и распределение энергии
2	Сельское хозяйство	9	Механизация
3	Воздушный транспорт	10	Контроль за уровнем воды
4	Лесная промышленность	11	Коммуникации
5	Строительство	12	Отдых и развлечения
6	Железнодорожный и автомобильный транспорт	13	Торговля
7	Водный транспорт		

Таблица 13.5

Вклад отрасли национальной экономики в национальный доход США

№ п/п	Отрасль национальной экономики	№ п/п	Отрасль национальной экономики
1	Легкая промышленность	8	Отдых и развлечения
2	Торговля	9	Контроль за уровнем воды
3	Строительство	10	Воздушный транспорт
4	Сельское хозяйство	11	Водный транспорт
5	Производство и распределение энергии	12	Лесная промышленность
6	Коммуникации	13	Рыболовный флот
7	Железнодорожный и автомобильный транспорт		

Степень чувствительности природы и техногенной сферы зависит от текущих метеорологических условий. Следовательно, знание ожидаемой погоды позволяет в том числе организовать регулирование и антропогенными процессами.

13.2. Показатели влияния погодных условий

Влияние погодных условий и климата проявляется постоянно и повсеместно. Погода оказывает как благотворное, так и пагубное влияние не только на хозяйственную деятельность человека, но и непосредственно на природную среду как таковую. Так, погодные условия, проявившиеся летом 2002 г. над Европой, выразились в катастрофических наводнениях в Германии, Австрии, Чехии, Сло-

вакии, что сказалось на биологическом состоянии рек и водоемов и привело к разрушительным последствиям в городах и селениях. В это же время над Восточной Европой разразились опустошительная жара и лесные пожары. Практически во всех областях центральной зоны ЕТР горели леса и высохшие болота. Дымовой смог охватил Москву, Санкт-Петербург и многие другие города. Это лишь один из фрагментов непрерывной цепи опасных проявлений погоды. В последние десятилетия отмечается нарастание разрушительных стихийных процессов.

Выделяют три основные сферы зависимости общества от условий погоды и климата.

1. **Экономическая зависимость.** Проявляется в таких отраслях, как энергетика, сельское хозяйство, строительство и др.

2. **Экологическая зависимость.** Проявляется в образовании застойных зон в приземном слое и загрязнении других сред (почвы, воды, леса), что сказывается на состоянии здоровья людей.

3. **Социальная зависимость.** Проявляется в обеспечении населения сельскохозяйственной продукцией, что лимитируется погодой и климатом, в обеспечении его безопасности при стихийных бедствиях (ураганах, наводнениях и других ОЯ).

Рассмотрим далее экономическую зависимость общества от погодных условий.

Масштабы и характер влияния погодных условий на потребителей изучаются через их влияние на отдельные хозяйственные объекты. Задача заключается в том, чтобы определить, как формализовать описание этого влияния. Оценка влияния погодных условий устанавливается на основании матрицы потерь. Известно (см. (10.10)—(10.11)), что она отражает последствия действий потребителя в связи с ожидаемыми проявлениями погоды. Отсюда очевидно, что показатели влияния погодных условий должны включать такие элементы матрицы потерь, которые более полно раскрывали бы зависимость потребителя от метеорологических условий. Особое значение в такой оценке придается той части потерь, которую не удастся предотвратить ($L_n = \varepsilon L$). Если непредотвращенные потери определяются на уровне предотвращенных (L_n), то меры защиты считаются на пороге эффективных. Однако зависимость потребителя от условий погоды признается еще существенной.

В реальной хозяйственной практике кардинальные меры защиты, как правило, крайне редки и в основном подтверждается условие $\varepsilon > 0$. Однако при этом доля предотвращенной части потерь ($L_n = L - \varepsilon L$) отражает достигнутую способность потребителя противостоять неблагоприятным, опасным воздействиям погоды.

Наиболее общим показателем влияния погодных условий является матрица потерь, содержащая потери за счет внутренних и внешних факторов.

Влияние погодных условий на хозяйственную деятельность устанавливается посредством оценки ряда показателей. В качестве экономических показателей используются численные меры в виде соотношений различного рода затрат, содержащихся в матрице потерь. Кроме того, влияние погоды на данного потребителя устанавливается на основании отношения доли полезности к общим издержкам (затратам и потерям).

Альтернативная матрица потерь позволяет определить следующие показатели влияния погодных условий.

1. Отношение затрат C к убыткам L , которые полностью удается предотвратить при $\epsilon = 0$:

$$A = \frac{C}{L}. \quad (13.5)$$

Соотношение (13.5) приходится на единичный случай — потребитель заблаговременно применяет меры защиты стоимостью C и полностью предотвращает убытки L при успешных прогнозах наличия явления. Потребители стремятся к снижению показателя A , известного еще по определению Дж. Томпсона как отношение осуществленных затрат к возможным потерям, или отношение затрат к убыткам.

2. Отношение затрат C на предупредительные меры к частично предотвращенным потерям L_{π} при $\epsilon > 0$:

$$B = \frac{C}{L_{\pi}} = \frac{C}{L(1 - \epsilon)}. \quad (13.6)$$

Формула (13.6) является аналогом отношения затрат к убыткам. Совершенствование мер защиты ведет к уменьшению величины ϵ . Чем более эффективны меры защиты $(1 - \epsilon)$, тем больше предотвращенные потери при заданных затратах C .

3. Отношение затрат на предупредительные меры C к общим издержкам

$$D = \frac{C}{L + \epsilon L}. \quad (13.7)$$

С учетом частоты n_{ij} осуществления прогнозов Π , приведенных в альтернативной матрице сопряженности, показатель D записывается иначе

$$D^* = \frac{n_{11}C}{n_{12}L + n_{11}\varepsilon L}. \quad (13.8)$$

4. Отношение общих издержек к прямым потерям. В единичном случае

$$E = \frac{C + \varepsilon L}{L}. \quad (13.9)$$

В интегральном варианте

$$E^* = \frac{n_{01}C + n_{11}\varepsilon L}{n_{12}L}. \quad (13.10)$$

5. Отношение непредотвращенных потерь к общим издержкам. В единичном случае

$$F = \frac{\varepsilon L}{C + L}, \quad (13.11)$$

а для всего набора прогнозов

$$F^* = \frac{n_{11}\varepsilon L}{n_{01}C + n_{12}L}. \quad (13.12)$$

Задача потребителя состоит в том, чтобы *минимизировать негативное влияние* погодных условий, что может быть подтверждено на основании численных оценок показателей влияния погодных условий (D , E , F).

Особенности распределения этих показателей в зависимости от C/L и ε безотносительно прогнозов приведены на рис. 13.2. Показатели D и E имеют линейную зависимость. Нелинейная зависимость характерна для показателя F .

Таким образом, показатели влияния погодных условий устанавливаются на основании данных, приведенных в матрице потерь, элементы которой отражают средние значения C , εL и L в производственной практике потребителя. Будем, например, полагать, что потребитель имеет следующие производственные характеристики, отражающие его зависимость от погоды: $C = 0,4$, $\varepsilon = 0,3$, $L = 1$.

Пусть потребителю удастся снизить непредотвращенные потери до 10 % (т. е. $\varepsilon = 0,1$). Тогда воспользуемся номограммой (см. рис. 13.2) со следующим ключом: $D(\varepsilon = 0,1, C = 0,4) \Rightarrow F(\varepsilon = 0,1) \Rightarrow E(\varepsilon = 0,1) \Rightarrow \left(\frac{C + \varepsilon L}{L} = 0,4 \right)$. Общие потери $(C + \varepsilon L)$ снижаются с 0,7 до 0,4,

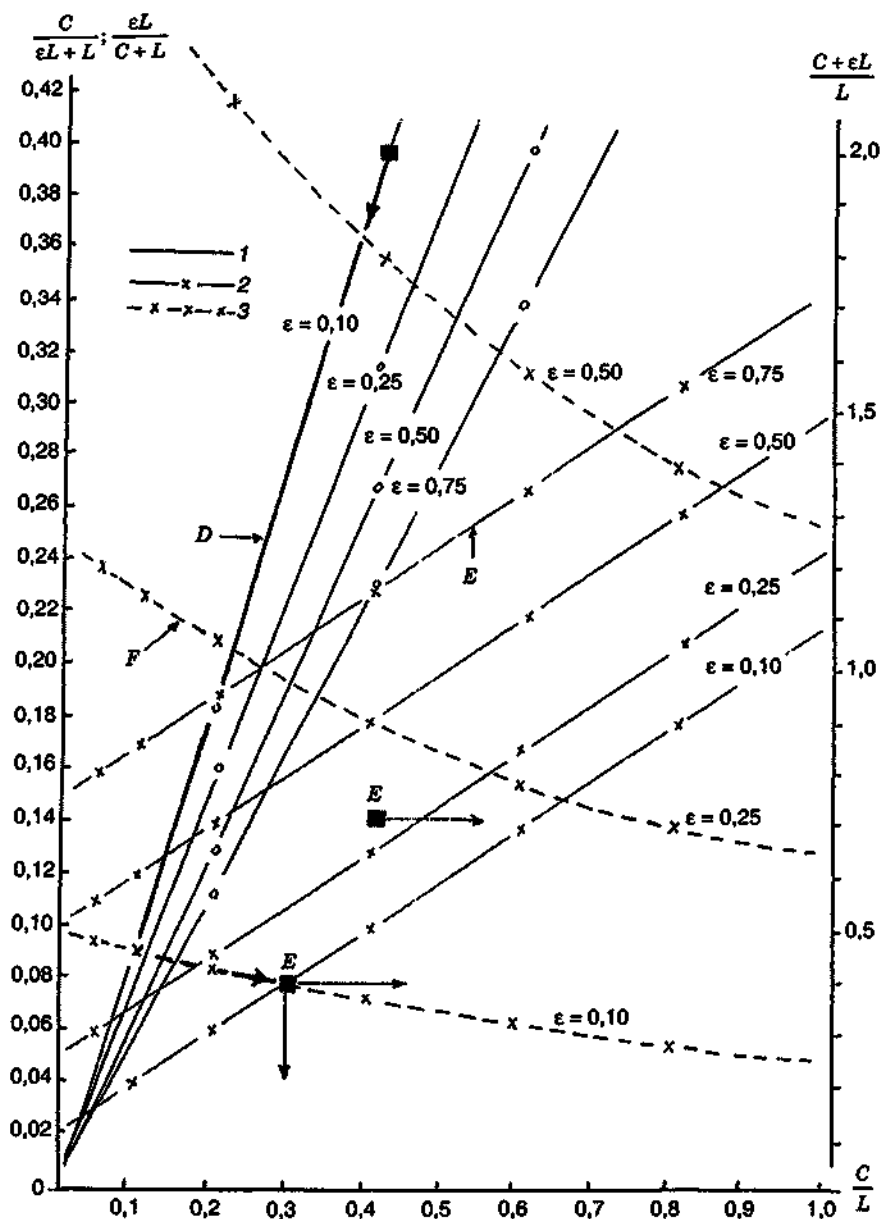


Рис. 13.2. Функциональная взаимосвязь показателей влияния погодных условий.

1 — D; 2 — E; 3 — F.

т. е. на 43 %. В то же время это эквивалентно снижению затрат на предупредительные меры с 0,4 до 0,3. С привлечением данных матрицы сопряженности прогнозов, т. е. с учетом используемой потребителем прогностической информации, структура показателей влияния погодных условий несколько усложняется, но вместе с тем становится содержательней.

13.3. Адаптация потребителя к ожидаемым условиям погоды

13.3.1. Определение, назначение и пути реализации

Важным показателем хозяйственного успеха любого потребителя является его способность приспосабливаться (адаптироваться) к ожидаемой погоде. В случае благоприятной погоды открываются возможности извлечь прямую пользу. Это прежде всего относится к сельскому хозяйству. Ожидаемая неблагоприятная погода (опасная, особо и чрезвычайно опасная) требует иных действий потребителя, чтобы избежать потерь, нередко грозящих разорением.

Адаптация потребителя есть сложный процесс приспособления к прогнозируемой погоде на различные периоды: часы, сутки и более длительные отрезки времени. Адаптация такого рода представляет собой *экономический механизм* как предварительной разработки защитных мероприятий, так и реализации их при наступлении неблагоприятной или опасной погоды. Потребитель адаптируется не только к погодным, но и к климатическим условиям.

Целевое назначение выбора и совершенствования защитных мероприятий состоит в том, чтобы обеспечить защищенность хозяйственного объекта такими средствами, которые не только доступны, но и предельно возможны.

Адаптация осуществляется в режиме постоянного доверия оперативным методическим прогнозам. При этом содержание прогнозов, их заблаговременность и продолжительность (прогностический период), включая штормовые предупреждения, устанавливаются потребителем согласно договорным условиям с учетом требований его хозяйственной практики.

Выбор потребителем мер защиты учитывает: 1) уровень погодозависимости, а значит и потребности в прогнозах; 2) хозяйственную специфику защищаемого объекта; 3) его производственные и географические масштабы; 4) период времени, необходимый для приведения защитных мер в действие; 5) организационное, техническое и финансовое обеспечение; 6) роль страховых операций и возможности возмещения потерь.

Естественно полагать, что постоянная зависимость потребителя от внешней среды вызывает необходимость не просто защитных мероприятий, а таких мер защиты, которые, с одной стороны, экономически приемлемы (не разорительны), а с другой — позволяют предотвратить потери в наибольшей степени.

Адаптация предполагает научно обоснованную организацию мер защиты. Только при условии постоянного использования методически обоснованных и успешных метеорологических прогнозов возможна *оптимальная подстройка* к ожидаемой погоде.

Потребитель осуществляет периодическую *коррекцию* организационных и технологических способов и решений защитных мер, а также стоимостных затрат на них. Это выражается в том, что в случае сложных погодных условий потребитель может приостановить некоторые погодозависимые работы с меньшими затратами, изменить режим работы, повысить интенсивность некоторых видов работ до начала опасной погоды и т. п. Все, что потребитель применяет в целях снижения потерь в ожидании неблагоприятной погоды и в период ее проявления, является мерами защиты и подлежит стоимостной оценке.

Последнее обстоятельство определяется организационным уровнем хозяйственной практики потребителя, находится полностью в его компетенции и принципиально отвечает на вопрос о способности потребителя адаптироваться к ожидаемым условиям погоды.

Действительно, можно допустить, что организация и технология мер защиты исключительно высоки ($\varepsilon = 0$) и потребителю удастся полностью предотвращать потери L в случаях, если явление было предусмотрено прогнозом (Π) и фактически наблюдалось (Φ). Однако это возможно, если явление (или неблагоприятное условие погоды) прогнозировалось удачно с достаточной заблаговременностью, а потребитель обладает эффективными мерами защиты.

При $(\bar{\Pi} - \Phi)$ прямые потери L для потребителя, как правило, неотвратимы. В условиях отсутствия времени для организации и проведения мер защиты, а тем более при внезапном возникновении опасного явления прямых потерь не избежать и действия по „предотвращению” оказываются малоэффективными.

Отсюда очевидно, что при отсутствии метеорологических прогнозов или в случае недостаточной заблаговременности прогноза ОЯ или НГЯ в действиях потребителя исключается возможность эффективной адаптации.

Потребитель осуществляет как *оперативную* адаптацию, ежесекундную (или на более короткие периоды) в соответствии с содержанием поступающих прогнозов, так и *долговременную*, рассчитан-

ную на снижение текущих затрат в будущем. Для решения этих задач используется обобщенная информация — матрица потерь потребителя и матрица сопряженности прогнозов.

Применение оперативной прогностической информации возможно при наличии отработанного регламента действий d_k потребителя как при альтернативных, так и при многофазовых прогнозах.

Адаптация достигается путем совместных действий потребителя и поставщика метеорологических прогнозов. Рассогласованность между ними исключает эффективную адаптацию.

Основная цель адаптации (подстройки к ожидаемой погоде) — *обеспечить максимальную выгоду* использования прогнозов, используя более эффективные защитные мероприятия.

13.3.2. Показатели адаптации

Приведенные в п. 13.2 показатели влияния погодных условий выступают в то же время как комплексные характеристики самого процесса адаптации, т. е. являются ее показателями. Так, чем меньше отношение $C/L(1 - \epsilon)$, тем успешнее осуществляется адаптация (при $\epsilon < 0$ и $C > 0$). Наряду с этим уменьшение показателя $D = C/(L + \epsilon L)$ также свидетельствует об успехе адаптации.

Более полной характеристикой адаптации является показатель вида

$$G = \frac{L_n}{C + \epsilon L + L} = \frac{L(1 - \epsilon)}{C + L(1 + \epsilon)}. \quad (13.13)$$

Интегральная величина G устанавливается с учетом матрицы сопряженности прогнозов $\|n_{ij}\|$

$$G^* = \frac{n_{11}L_n}{n_{01}C + n_{11}\epsilon L + n_{12}L} = \frac{n_{11}L(1 - \epsilon)}{n_{01}C + L(n_{11}\epsilon + n_{12})}. \quad (13.14)$$

Формула (13.13) отражает результат действия только потребителя, в то время как формула (13.14) позволяет дать численное выражение процесса адаптации с учетом поступающей прогностической информации.

Рассмотрим адаптационную способность такого потребителя, как строительные организации в центральной зоне ЕТР. На основании матриц сопряженности прогнозов скорости ветра, полученных по ряду пунктов, определяется результативность адаптации. В качестве иллюстрации приведена матрица сопряженности по одному из пунктов (табл. 13.6).

Таблица 13.6

Матрица сопряженности прогнозов скорости ветра за октябрь—март
($V_{\text{пор}} \geq 12$ м/с)

Фактически было, Φ_i	Прогноз, Π_j		$\sum_{j=1}^m n_j$
	$\Pi (V \geq 12 \text{ м/с})$	$\overline{\Pi} (V = 0 \div 11 \text{ м/с})$	
$\Phi (V \geq 12 \text{ м/с})$	75	19	94
$\overline{\Phi} (V = 0 \div 11 \text{ м/с})$	49	221	270
$\sum_{i=1}^n n_i$	124	240	364

Интегральная величина показателя адаптации G^* (13.14) отражает способность предупредительной защиты в строительстве, при которой предотвращенные потери ($n_{11}L_{\text{п}}$) должны быть больше общих издержек производственного ($n_{01}C$) и природного ($L(n_{11}\varepsilon + n_{12})$) характера. Это отражено в табл. 13.7.

Таблица 13.7

Значения G^* в зависимости от C/L и ε

ε	$C/L, C = 10 \text{ млн. руб.} = \text{const}$							
	0	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
0	3,95	2,98	2,39	1,71	1,09	0,80	0,63	0,52
0,05	3,13	2,46	2,29	1,50	0,98	0,73	0,58	0,49
0,1	2,55	2,06	1,74	1,32	0,89	0,67	0,54	0,45
0,2	1,7	1,49	1,29	1,02	0,72	0,55	0,45	0,38
0,4	0,92	0,82	0,73	0,61	0,46	0,36	0,30	0,26
0,6	0,47	0,43	0,39	0,34	0,26	0,22	0,18	0,16
0,8	0,19	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,07
1,0	0	0	0	0	0	0	0	0

В табл. 13.7 выделена область успешной адаптации ($G^* > 1$) ряда потребителей (C/L). Видно, что для потребителей $C/L > 0,6$ успешная адаптация отсутствует. Кроме того, даже для потребителя $C/L = 0,1$ при $\varepsilon = 0,4$ величина $G^* = 0,73$, что говорит о недостаточной способности адаптироваться к ожидаемым неблагоприятным условиям погоды ($V \geq 12$ м/с).

Рассмотрим дополнительно другой пример — использование прогнозов скорости ветра строительными организациями Северо-Запада ЕТР. Матрицы сопряженности методических и инерционных прогнозов скорости ветра (при $V \geq 15$ м/с) разработаны для Новгорода за сентябрь — март 1989—1993 гг.:

методические прогнозы

$$n_{ij} = \begin{vmatrix} 125 & 31 & 156 \\ 54 & 564 & 618 \\ 179 & 595 & 774 \end{vmatrix},$$

инерционные прогнозы

$$n_{ij} = \begin{vmatrix} 68 & 88 & 156 \\ 88 & 530 & 618 \\ 156 & 618 & 774 \end{vmatrix}.$$

Для данного потребителя (строительной организации) будем использовать уже известную матрицу потерь, которая широко применялась в Белоруссии. Для периода с 1980 по 1985 г. она имела вид

$$(s_{ij}) = \begin{pmatrix} 27 & 60 \\ 27 & 0 \end{pmatrix} \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{прогноз}}. \quad (13.15)$$

С учетом перевода денежных величин к 1998 г. матрица потерь (13.15) выглядит следующим образом:

$$(s_{ij}) = \begin{pmatrix} 270 & 600 \\ 270 & 0 \end{pmatrix} \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{прогноз}}. \quad (13.16)$$

Возможно уточнение матрицы (13.16), которое связано с тем, что потребитель, как правило, в элемент s_{11} матрицы потерь $\|s_{ij}\|$ включает как остаточные потери εL , так и затраты на предупредительные меры $s_{11} = C$. Другими словами, затраты s_{11}^* , равные 270 тыс. руб., определяются как сумма s_{11} и $\varepsilon s_{12} \approx \varepsilon L$. С определенным допущением матрицу потерь (13.16) теперь можно записать в виде

$$s_{ij} = \begin{pmatrix} 140 + 130 & 600 \\ 140 & 0 \end{pmatrix} \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{прогноз}}. \quad (13.17)$$

Показатель адаптации G^* при $s_{12} = L = 600$ тыс. руб./прогноз для различных потребителей C/L и возможном коэффициенте ε приведен в табл. 13.8.

Область распределения G^* включает пороговое условие ($G^* \approx 1,0$), отражающее равенство

$$n_{11}L(1 - \varepsilon) = n_{01}C + L(n_{12} + n_{11}\varepsilon). \quad (13.18)$$

Таблица 13.8

Значения интегрального показателя адаптации G^* в зависимости от C/L и ε

ε	$C/L, L = \text{const} = 600 \text{ тыс. руб.}$							
	0	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
0	4,03	3,13	2,56	1,87	1,22	0,90	0,72	0,60
0,05	3,19	2,57	2,15	1,63	1,09	0,82	0,66	0,55
0,1	2,59	2,14	1,83	1,42	0,98	0,75	0,60	0,51
0,2	1,79	1,54	1,35	1,09	0,78	0,61	0,50	0,43
0,4	0,93	0,83	0,76	0,64	0,49	0,40	0,32	0,29
0,6	0,47	0,44	0,40	0,35	0,28	0,23	0,20	0,18
0,8	0,19	0,18	0,17	0,15	0,12	0,10	0,09	0,08
1,0	0	0	0	0	0	0	0	0

В хозяйственной практике потребителя следует считать успешной такую „подстройку” под ожидаемую неблагоприятную погоду, при которой выполняется неравенство

$$n_{11}L(1 - \varepsilon) > n_{01}C + L(n_{12} + n_{11}\varepsilon). \quad (13.19)$$

Более точное отражение области эффективной адаптации представлено на рис. 13.3. Область *A* содержит необходимые граничные условия, в пределах которых применяемые потребителем меры защиты достигают решения главной задачи, определяемой формулой (13.14). В области *B* эффективное использование прогностической информации не достигается.

Равенство (13.18) позволяет установить величину ε для заданного потребителя (C/L) при пороговом условии $G^* = 1$. Можно записать

$$G^* = \frac{n_{11}L(1 - \varepsilon)}{n_{01}C + L(n_{12} + n_{11}\varepsilon)} = 1.$$

Отсюда следует

$$\varepsilon^* = \frac{L(n_{11} - n_{12}) - n_{01}C}{2n_{11}L} = 0,5 \left[1 - \left(\frac{n_{12}}{n_{11}} + \frac{n_{01}}{n_{11}} \frac{C}{L} \right) \right]. \quad (13.19')$$

Для конкретного потребителя (C/L) пороговый коэффициент непредотвращенных потерь ε^* в случае $G^* = 1$ принимает следующие значения:

C/L	0	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6
ε^*	0,38	0,34	0,30	0,23	0,09	-0,05

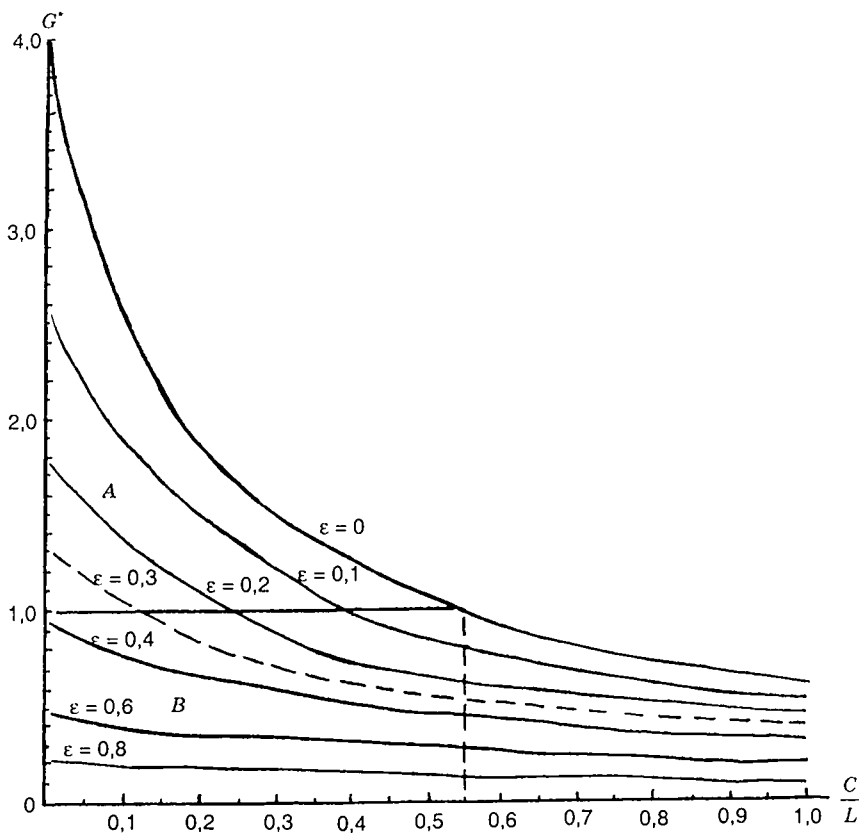


Рис. 13.3. Зависимость показателя адаптации G^* от $\frac{C}{L}$ и ϵ .

Отсюда следует **правило** достижения эффективной адаптации: *оперативное значение ϵ должно быть меньше порогового*

$$\epsilon < \epsilon^*. \quad (13.20)$$

Значительная часть потребителей — народнохозяйственных объектов — обладают необходимой *адаптивностью*, т. е. способностью изменять алгоритм управления и защиты, постоянно приспосабливаясь к ожидаемым условиям погоды.

Приведенный анализ показателя адаптации (13.14) позволяет выделить информационную и технологическую составляющие эффективности адаптации.

13.3.3. Информационные показатели адаптации

В качестве приближенной характеристики адаптации может выступать мера вида

$$\alpha = q^*(1 - \epsilon), \quad (13.21)$$

где $q^* = n_{11}/n_{10}$ — *предупрежденность* опасного или неблагоприятного условия погоды (условная вероятность второго рода — вероятность Π при осуществлении Φ); $(1 - \epsilon)$ — *эффективность* мер защиты. Величина α — асимметричная мера с областью изменения $[0; 1]$. Очевидно, при $\epsilon = 0$ $\alpha = q^*$ — адаптация зависит от успеха прогнозирования. В свою очередь при $q^* = 1$ $\alpha = 1 - \epsilon$, что отвечает специфике защитных мер потребителя.

Наряду с (13.21) используется аналогичный показатель

$$\alpha_1 = (1 - q_{12}^*)(1 - \epsilon), \quad (13.22)$$

где q_{12}^* — относительная ошибка пропуска явления, а $(1 - q_{12}^*)$ — доля успешных прогнозов наличия явления.

Пороговое условие (13.22) содержит также оба этих компонента достижения результативного противодействия опасным явлениям и неблагоприятным условиям погоды. Эффективная адаптация потребителя проявляется как результат успешных прогностических разработок Гидрометслужбы и действий потребителя, что в конечном счете *обеспечивает экономический выигрыш и безопасность жизнедеятельности*.

13.3.4. Показатели технологии адаптации

Как известно, показатель влияния погодных условий $B = C/L(1 - \epsilon)$ характеризует возможность предотвратить потери $L(1 - \epsilon)$, пользуясь средствами защиты стоимостью C . Величина B колеблется от 0 до 1. Чем меньше B , тем очевиднее, что средства защиты были истрачены эффективно. Придадим величине B несколько иное содержание, записав его следующим образом:

$$\beta_1 = 1 - \frac{C}{L(1 - \epsilon)}. \quad (13.23)$$

В этом случае показатель β_1 характеризует *успешность реализации средств*, затраченных на защитные мероприятия. Стоимость

средств защиты является важным показателем организации защитных мероприятий в процессе адаптации.

Второй особенностью мер защиты выступает сама технология защиты, эффективность которой определяется величиной $(1 - \varepsilon)$. На этом основании устанавливаются следующие две величины:

недостаточность технологии мер защиты

$$\beta_2 = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}, \quad (13.24)$$

успешность технологии мер защиты

$$\beta_3 = 1 - \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} = \frac{1 - 2\varepsilon}{1 - \varepsilon}. \quad (13.25)$$

Общая оценка *успешности защитных мер* в процессе адаптации дается на основании формул (13.23) и (13.25)

$$\beta = \beta_1 + \beta_3 = \left(1 - \frac{C}{L(1 - \varepsilon)}\right) + \left(1 - \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}\right). \quad (13.26)$$

Представляется целесообразным значения β раскрыть в табулированном виде на основании двух переменных C и ε (табл. 13.9).

При различных ε (0,05 ÷ 1,00) комплексный показатель β колеблется в пределах от 1,95 до $-\infty$ (при $\varepsilon = 1,0$). При $\varepsilon = 1$ допускается полная бесхозяйственность в действиях потребителя, получающего прогностическую информацию. Другими словами, $\beta = -\infty$ есть выражение потери физического смысла экономической успешности реализации прогнозов.

Только при $\varepsilon = 0,5$ величина β находится в границах $1 > \beta > -1$.

Анализ результатов расчетов, представленных в табл. 13.9, позволяет установить условный порог общей успешности реализации прогнозов, ниже которого применение их теряет экономическую полезность. В качестве условного порога примем $\beta_{\text{усл}} = 1,0$. В табл. 13.9 область положительной успешности мер защиты ($\beta > 1,0$) выделена жирной ломаной линией. Установим пороговые значения C и ε . Для этого примем равенство

$$L_3 + L_n = L_n \quad (13.27)$$

или

$$C + \varepsilon L = L(1 - \varepsilon). \quad (13.28)$$

Таблица 13.9

Зависимость общей успешности мер защиты от величин C и ε

ε	β_3	$\frac{\beta_1}{\beta}$	$C = s_{11} = s_{21}$, тыс. руб.; $L = 100$ тыс. руб. = const							
		0	10	15	20	40	60	80	100	
0,05	0,95	β_1	1,00	0,89	0,84	0,79	0,58	0,37	0,16	-0,05
		β	1,95	1,84	1,79	1,74	1,53	1,32	1,11	0,90
0,10	0,89	β_1	1,00	0,88	0,83	0,78	0,56	0,33	0,11	-0,11
		β	1,89	1,77	1,72	1,67	1,45	1,22	1,00	0,78
0,15	0,82	β_1	1,00	0,88	0,82	0,76	0,53	0,29	0,06	-0,18
		β	1,85	1,70	1,64	1,58	1,35	1,11	0,88	0,64
0,20	0,75	β_1	1,00	0,88	0,81	0,75	0,50	0,25	0	-0,25
		β	1,75	1,63	1,56	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50
0,25	0,67	β_1	1,00	0,87	0,80	0,73	0,47	0,20	-0,07	-0,33
		β	1,67	1,54	1,47	1,40	1,14	0,87	0,60	0,35
0,30	0,57	β_1	1,00	0,86	0,79	0,71	0,43	0,14	-0,14	-0,43
		β	1,57	1,43	1,36	1,28	1,00	0,71	0,43	0,14
0,35	0,46	β_1	1,00	0,85	0,77	0,69	0,39	0,08	-0,23	-0,54
		β	1,46	1,31	1,23	1,15	0,85	0,54	0,23	-0,08
0,40	0,33	β_1	1,00	0,83	0,75	0,67	0,33	0	-0,33	-0,67
		β	1,33	1,16	1,08	1,00	0,66	0,33	0	-0,34
0,45	0,18	β_1	1,00	0,82	0,73	0,64	0,27	-0,09	-0,45	-0,82
		β	1,18	1,00	0,91	0,82	0,45	0,09	-0,27	-0,64
0,50	0	β_1	1,00	0,80	0,70	0,60	0,20	-0,20	-0,60	-1,00
		β	1,00	0,80	0,70	0,60	0,20	-0,20	-0,60	-1,00
0,60	-0,50	β_1	1,00	0,75	0,63	0,50	0	-0,50	-1,00	-1,50
		β	0,50	0,25	0,13	0	-0,50	-1,00	-1,50	-2,00
0,80	-3,00	β_1	1,00	0,50	0,25	0	-1,00	-2,00	-3,00	-4,00
		β	-2,00	-2,50	-2,75	3,00	-4,00	-5,00	-6,00	-7,00
1,00	$-\infty$	β_1	0/0	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$
		β	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$
Примечание. Жирной линией выделено значение $\beta = 1$.										

Из формулы (13.28) находим

$$C = L(1 - \varepsilon) - \varepsilon = L(1 - 2\varepsilon). \quad (13.29)$$

Задавая значение $L = 100$ млн. руб., получаем следующие значения C и ε , которые отвечают пороговым условиям:

ε	0,05	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
C	90	80	60	20	-20	-60	-100

Формула (13.26), как и табл. 13.19, составляет методическую основу оценки достаточности мер защиты. Тем самым устанавливаются отраслевая локальная и региональная оценки проведения защитных мероприятий.

13.3.5. Экономические меры защиты

Задача потребителя заключается в том, чтобы постоянно вести поиск более эффективных организационных, финансовых и технологических мер защиты. В процессе такой долговременной адаптации достигается снижение средних (байесовских) потерь

$$\Delta \bar{R}_m^{\text{ин}} = \bar{R}_{\text{ин}} - \bar{R}_m.$$

Величина $\Delta \bar{R}_m^{\text{ин}}$ как функция адаптации может свидетельствовать об эффективности подстройки к нарастающим воздействиям неблагоприятной погоды.

Способность потребителя адаптироваться к возможным условиям погоды должна быть измерена, выражена численно. Для этого используются меры адаптации, отражающие результативность использования и метеорологических прогнозов, и защитных мероприятий. В качестве мер адаптации привлекают величину предотвращенных потерь $L_{\text{п}}$, выгоду реализации правильных прогнозов ($\Pi_j = \Phi_j$), сбереженные материальные ценности ($\Delta \bar{R}_m^{\text{ст}}$), экономический эффект (Θ) и экономическую эффективность (P).

На рис. 13.4 приведена номограмма зависимости $\Delta \bar{R}_m^{\text{ст}}$ от параметра D^* (13.8). Исследуются две погодо-хозяйственные ситуации. В первой из них (А) потребитель ($C/L = 0,3$) и $\varepsilon = 0,3$ при использовании методических прогнозов имеет экономическое преимущество перед инерционными прогнозами на величину $\Delta \bar{R}_m^{\text{ст}} = 4,8$ тыс. руб./прогноз. Во второй ситуации (В), потребовавшей определенных

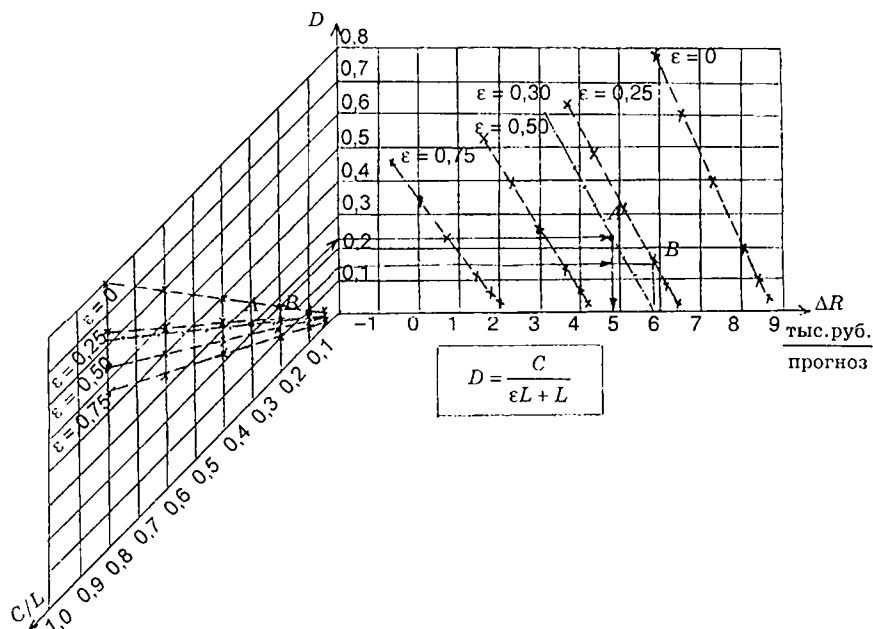


Рис. 13.4. Номограмма зависимости $\Delta \bar{R}_m^{ct} = f(D^*)$.

Санкт-Петербург, прогнозы гроз, 1981—1993 гг.

уточнений организации мер защиты, потребитель ($C/L = 0,2$) и $\varepsilon = 0,25$ имеет $\Delta \bar{R}_m^{ct} = 5,8$ тыс. руб./прогноз. Это более существенное приспособление к ожидаемой погоде, связанное и с уточнением привлекаемых для защиты внутренних ресурсов, и с использованием прогнозов в режиме доверия.

На рис. 13.5 приведен другой пример адаптационного поведения потребителя при использовании показателя G . Снижение C и ε выступают основным условием. Пусть исходное положение состоит в том, что потребитель, согласно известной бухгалтерской отчетности, имеет информацию относительно C , L , L_{in} . Это позволяет установить C/L , ε и $\Delta \bar{R}_m^{ct}$ — сбереженные материальные ценности. Начальное условие $C/L = 0,38$ и $\varepsilon = 0,19$. Величина $\Delta \bar{R}_m^{ct} = 36$ тыс. руб./прогноз, т. е. единичный методический прогноз позволяет снизить потери относительно инерционного на 36 тыс. руб.

Согласно перспективным оценкам, потребитель может снизить затраты на предупредительные меры до значения $C/L = 0,2$ (при $L = \text{const}$). Это позволяет увеличить сбереженные материальные ценности до 43 тыс. руб./прогноз. Заметим, что это возможно при сохранении той же успешности прогностической информации.

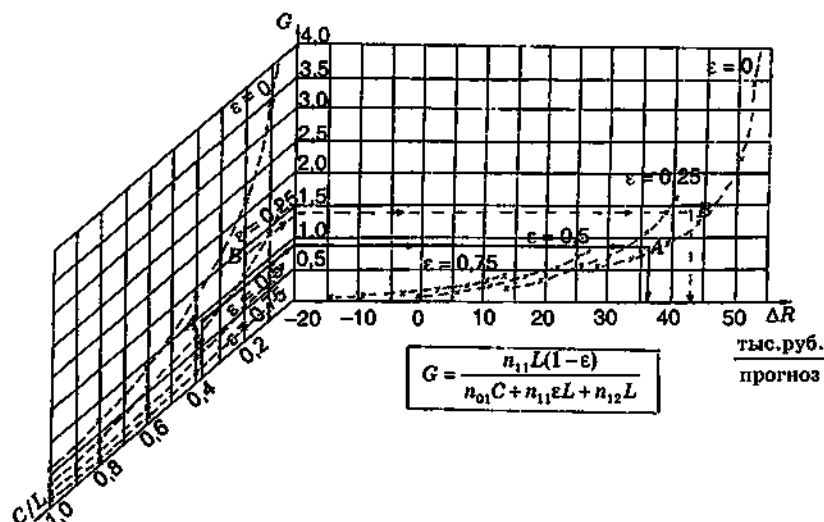


Рис. 13.5. Номограмма адаптации потребителя к ожидаемым условиям погоды согласно показателю G .

Махачкалинский морской рыбный порт; $V_{\text{пор}} \geq 12$ м/с; 1995—1998 гг.

Таким образом, адаптация потребителя к ожидаемым условиям погоды — это постоянная функциональная операция отслеживания влияния метеорологических условий и корректировка комплекса мер, определяющих „подстройку”, включая, возможно, и производственный процесс.

Глава 14

ПОКАЗАТЕЛИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛЕЗНОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

14.1. К истории решаемой проблемы

Созидательный производственный процесс требует большого разнообразия материальных, энергетических и информационных ресурсов. Информационные ресурсы — это сведения, которые используются в процессе управления производственной или иной хозяйственной деятельностью. К информационным ресурсам относятся и погодо-климатические, представляющие собой большую группу сведений о текущем и ожидаемом состоянии погоды и климата.

Использование такого рода информации предполагает ее экономическую полезность, получаемую потребителем — производственным или иным хозяйственным объектом.

Экономическое содержание прогнозов было впервые отражено в 30-е годы XX в. в работах М. А. Омшанского. Однако проблема численной оценки получаемой экономической полезности использования гидрометеорологической информации вообще и прогнозов в частности обозначилась в работах Дж. Томпсона, Г. Грингортэна, Е. Голда, Н. Бийвута, М. И. Юдина, А. М. Обухова, В. А. Бугаева, А. С. Монины и др.

В начале 1960-х годов в СССР по инициативе академика Е. К. Федорова, начальника Главного управления Гидрометслужбы (ГУГМС), и С. К. Черкавского¹, начальника управления гидрометобеспечения, были начаты соответствующие теоретические разработки, практические оценки и обобщения экономического эффекта гидрометеорологической продукции. Эти работы проводились в местных управлениях Гидрометслужбы, в ряде ведомственных научно-исследовательских институтов и в учебных заведениях гидрометеорологического профиля.

Главное управление Гидрометслужбы поставило перед Службой прогнозов по существу задачу оценки полезности той продукции, которая разрабатывалась в интересах потребителей. В основном это были прогнозы погоды, агрометеорологические прогнозы, прогнозы состояния моря и другие прогностические разработки.

¹ Приказ № 3, май 1965, ГУГМС, Черкавский С. К. „Изучение экономической эффективности использования гидрометеорологических материалов в народном хозяйстве“.

Необходимость оценки экономического эффекта использования гидрометеорологической информации, в том числе и прогнозов, была воспринята в местных управлениях далеко не однозначно. Это объяснялось рядом причин.

Прежде всего отсутствием в то время методик расчета экономического эффекта использования потребителем такой особой продукции, как прогнозы. Некоторые упрощенные способы расчета, воспроизводимые на местах, были несколько примитивными, а полученные результаты сомнительными.

Далее, крайне сложно было получить у потребителей информацию, которая была необходима даже для приближенных расчетов. Оценка экономического эффекта воспринималась многими потребителями как „вторжение” в их экономические интересы. Именно с этих позиций работа поставщиков информации и ее потребителей шла как бы двумя параллельными курсами, нередко расходящимися, когда потребители уходили, образно говоря, за горизонт общих интересов. Потребители постоянно рассчитывали на бесплатное получение в службе прогнозов необходимой информации, а использование ее и приобретаемую при этом полезность рассматривали как управленческую прерогативу. Ошибочность таких суждений была очевидна. В действительности успех работы потребителей, обусловленный в том числе и погодо-климатическим фактором, выражает общенациональные интересы.

Многие потребители того периода формулировали свою позицию по этой проблеме следующим образом: служба прогнозов обязана выдавать информацию бесплатно; контроль прохождения ее в деле вне компетенции поставщика; потери по метеоусловиям будут компенсированы государством — Госстрахом. В последующие годы и в настоящее время такого рода подход к оценке полезности гидрометеорологической информации полностью опровергнут самим же потребителем.

Еще одно обстоятельство. В тот же период у гидрометеорологической общественности и у потребителей еще *не сформировалось понимание значимости проблемы*, ее перспектив, стимулирующих развитие и гидрометслужбы, и экономики. В этих условиях задания местным управлениям по „оценке эффективности” истолковывались несколько формально, хотя в ряде случаев отчетность по ним содержала подтверждение потребителей.

Уже в 1970-е годы с появлением новых методических разработок на базе экономико-метеорологического моделирования возникли проблемы их практической реализации. Однако в синоптической практике более современные методы оценки полезности рас-

ценивались как сложные, требующие дополнительных профессиональных качеств. Конечно, метод оценки экономического эффекта прогнозов не должен быть чрезмерно сложен за счет включения многих частных факторов. Но в то же время он не должен быть и примитивным. Чтобы отвечать условию правдоподобия получаемых результатов, методика должна быть научно обоснованной, понятной потребителю и доступной расчетам как в синоптической, так и в хозяйственной практике.

Оценка экономического эффекта использования гидрометеорологической информации и прогнозов выполняется совместно поставщиком (Гидрометслужбой) и потребителем. Связующим звеном остается постоянное требование совершенствования прогнозов и их реальная полезность, необходимая хозяйственнику, понимающему значение метеорологической науки.

В 80—90-е годы XX в. появились многочисленные исследования, посвященные различным аспектам влияния погоды и климата на экономику и их социально-экономической роли в обществе. Начался качественно новый этап не только в практике гидрометеорологического обеспечения, но и в поиске новых научных подходов к оценке его экономической полезности.

Потребители гидрометеорологических прогнозов стали больше внимания уделять погодо-климатическому фактору в деятельности производства. Затраты на предупредительные меры и потери по гидрометеорологическим причинам включаются в ведомственную статистическую отчетность. Это позволило уже в первом приближении начать разработку матриц потерь второго порядка, что предопределило предпочтение байесовскому подходу к оценке средних (в статистическом смысле) потерь в конкретной области хозяйственной практики.

Особенность этого периода заключается уже в том, что потребитель воспринимает гидрометеорологическую информацию не просто как информацию, а как научно-производственную продукцию целевого назначения. Это способствовало и дальнейшему успеху в практической реализации метода оценки экономической полезности, в частности, метеорологических прогнозов.

Разработка метода (модели) оценки экономического эффекта прогнозов требовала знания не только *возможностной* прогностической информации согласно их успешности, но и *специфики* конкретного потребителя.

Известно, что погода оказывает комплексное влияние на потребителя. Однако, получив текст прогноза, он извлекает для дела только ту часть его, которая, по его пониманию, выступает опреде-

ляющей для данного вида работ. С изменением вида работ привлекается иная составляющая для учета погоды (скорость ветра, температура воздуха и т. п.). Это может быть и явление погоды (гроза, шквал, гололед, туман и т. п.).

Исследования в этой области экономической метеорологии развивались по мере роста экономического интереса к метеорологической информации, все большего ее востребования в практике и подтверждения полезности.

В 1973 г. автором была предложена матричная модель оценки экономического эффекта и экономической эффективности использования рейсовых прогнозов скорости и направления ветра при грузоперевозках на Ладожском озере. Приведенная в ней методическая основа была развита в дальнейших работах.

В 1974 г. В. П. Дмитренко и М. В. Буйков в рамках исследований, проводимых на Украине, предложили модель оценки экономического эффекта мелиоративных мероприятий, позволяющих увеличить урожайность за счет учета так называемого суммарного коэффициента продуктивности температуры воздуха и осадков в результате мелиорации. В основу эффективности положено отношение коэффициентов продуктивности после и до мелиорации, выраженных в стоимостной форме. При этом вычитаются затраты на мелиорацию. Такой подход, отличный от байесовского, применим к единичным воздействиям долговременного проявления.

В 1976 г. Э. И. Монокрович предложил рассматривать „эффективность прогнозов” в виде разности „выигрыша от удачных прогнозов” и „убытка от неудачных”. Экономический эффект толковался как „разность между предотвращенными и допущенными ущербами”. Однако допущенный ущерб отмечался в случаях как правильных, так и ошибочных прогнозов. В действительности это только доля оценки экономической полезности.

В том же году в работе А. П. Федосеева и Э. Я. Раньковой приводится функция полезности (по характеру рентабельности в сельскохозяйственном производстве при внесении различных доз азотных удобрений).

Аналогичный подход был применен при оценке экономического эффекта проведения противогололедных работ.

В 1981 г. в своей монографии Е. Е. Жуковский приводит обобщение ряда известных теоретических положений по оценке полезности использования метеорологической информации. Заметное место он отвел байесовскому подходу расчета средних потерь, подобно тому, как это сделано в работах Де Гроота, Дж. Хей и др. При

этом оценка средних потерь трактовалась без учета специфики прогностической информации, о чем отмечалось в п. 11.7.

Обстоятельное исследование этой проблемы дано в работах Г. В. Грузы и Э. Я. Раньковой.

В 60—80-е годы XX в. в СССР был выполнен ряд работ по оценке экономической полезности прогнозов на базе оптимизации погодно-хозяйственных решений в рамках байесовского подхода (А. С. Мошин, 1962; Н. А. Багров, 1966; Г. В. Груза и Э. Я. Ранькова, 1983; Е. Е. Жуковский, 1981; Л. А. Хандожко, 1972—2004; А. И. Бедрицкий, 1994—2004).

Большую роль в развитии экономической метеорологии сыграли международные конференции по данной проблеме, которые проводились в СССР — России (Киев, 1971 г.; Алма-Ата, 1974 г.; Москва, 1997 г.; Санкт-Петербург, 1997, 2002 гг.), а также по инициативе ВМО в Женеве (1990, 1994 гг.).

Некоторые новые обобщения относительно полезности гидрометеорологической информации приведены в Бюллетенях ВМО.

14.2. Факторы, определяющие проблему

С годами по мере развития экономической метеорологии интерес потребителей к оценке экономической полезности прогнозов постоянно растет. Есть ряд объективных условий, оказавших влияние на очевидность и значимость этой проблемы.

1. Как отмечалось (см. п. 6.3), успешность (оправдываемость) метеорологических прогнозов практически достигла уже некоторого уровня стабилизации. Прирост успешности становится все меньше и обходится все более дорогой ценой. Эффект полезности прогнозов за счет роста их успешности в значительной мере исчерпал себя. Гидрометеорологическая служба вступает в эпоху *интенсивной реализации прогнозов*, оставив истории период их *экстенсивного использования*.

Период, когда полезность прогнозов определялась успешностью, ее постоянным ростом, сменился новым, в котором оптимальное использование прогнозов достигается иным путем (рис. 14.1): на базе доступных и эффективных технологий. Метеорологические прогнозы включаются в автоматизированные системы управления в виде „блока”, содержащего вероятностную информацию о состоянии окружающей среды, что позволяет выбрать верное хозяйственное решение. В этом состоит важнейший принцип эффективного использования прогнозов.

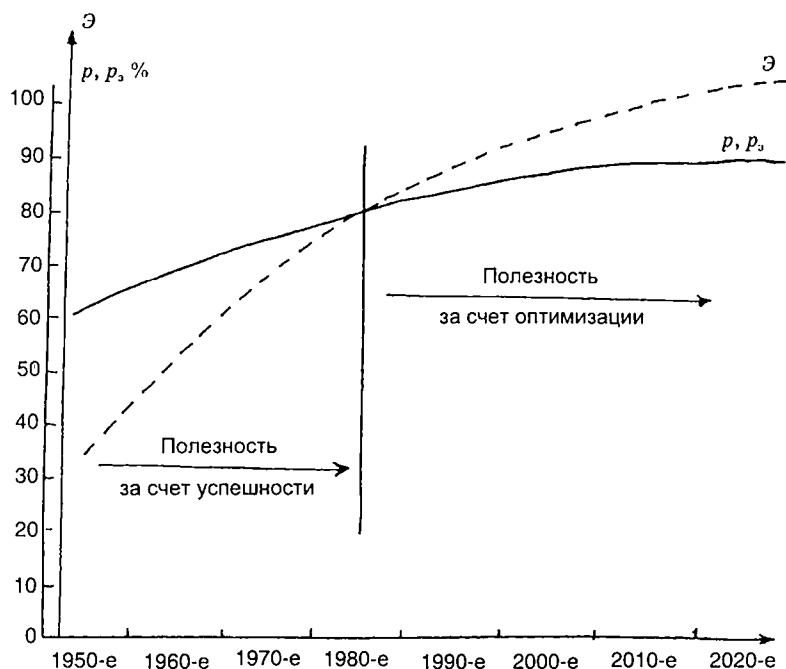


Рис. 14.1. Схематическое представление условий обеспечения экономической полезности метеорологических прогнозов.

Еще в 1970-е годы Дж. Томпсон отметил указанные различия влияния успешности прогнозов и системы их использования на получаемый потребителем экономический эффект (табл. 14.1).

Таблица 14.1

Ежегодная экономия (млн. долл.), получаемая в различных отраслях экономики США за счет повышения успешности прогнозов и совершенствования системы их оперативного использования

Фактор экономии	Сельское хозяйство	Коммунальное хозяйство	Строительство	Гражданская авиация	Транспорт	Электроэнергетика
Повышение успешности прогнозов	316,7	64,5	18,4	2,2	1,9	0,8
Совершенствование системы реализации прогнозов	250,3	47,3	13,1	1,4	1,3	0,5
Сумма	567,0	111,8	31,5	3,6	3,2	1,3

Несмотря на совершенствование системы использования прогнозов и применение новых технологий, сохраняется проблема дальнейшего повышения успешности прогнозов, что потребует новых научных идей и материальных ресурсов.

2. Метеорологическая информация, а прогнозы погоды в особенности, является необходимым (вечным) природным ресурсом, становится все более востребованной продукцией в хозяйственной практике. Это особенно проявилось в последние десятилетия XX в. как следствие нарастающей „агрессивности” погоды и климата.

3. Потери в экономике страны по метеорологическим причинам все больше охватывают производственную сферу. Это побуждает к специализированному использованию прогнозов в целях экономии природных ресурсов, материальных ценностей и финансовых средств. В то же время растет число и интенсивность таких стихийных гидрометеорологических явлений, которые несут значительные человеческие жертвы.

4. В условиях рыночных отношений метеорологические прогнозы, как и другие виды метеорологической информации, являются научно-исследовательской продукцией, которая содержит и *стоимость*, и *цену*. Существует тарифный подход к определению цены на прогнозы как возмещение затрат в системе Гидрометслужбы, хотя он и не является универсальным. Более того, существует положение¹, что это может негативно сказаться на успешности прогнозов. Действительно, потребители приобретают не тексты прогнозов, а их полезность, которая и должна выступать функцией цены. Потребителям необходимы такие свойства прогнозов, которые обеспечивают приобретение экономической полезности и должны адекватно этому оплачиваться.

5. Все большая роль отводится повышению технологии использования прогнозов. Прогностическая информация включается в автоматизированные системы управления на определенном уровне управленческих решений. Автоматизация все больше берет на себя функции управления. *Оперативные решения*, включающие сведения вероятностного характера о возможных состояниях природной среды, в конечном счете завершаются оценкой их экономической полезности. Такая же оценка применяется для выбора *оптимальной стратегии* использования прогнозов.

¹ В работе А. И. Бедряцкого и Л. А. Хандожко (Бюллетень ВМО, т. 50, № 3, июль 2001) отмечается, что „коммерциализация должна следовать за наукой, использовать ее достижения в целях более эффективного специализированного обеспечения экономики”.

14.3. Методические основы оценки экономического эффекта метеорологических прогнозов

В методе оценки экономического эффекта использования прогнозов, предложенном в первом варианте (Хандожко, 1973), элементы матрицы потерь рассматривались непосредственно через затраты и сбережения, т. е. матрица потерь идентифицировалась *матрицей расходов*.

Элементы матрицы расходов записывались следующим образом.

1. При $\Pi \sim \Phi$ (число случаев n_{11})

$$\rho_{11} = \bar{a} \cdot n_{11} - b \cdot n_{11}, \quad (14.1)$$

где $\bar{a}$ — средние предотвращенные потери — стоимость предотвращенных потерь (аварийности и т. п.) на один случай; b — стоимость единичных непредотвращенных потерь.

2. При $\bar{\Pi} \sim \Phi$ (число случаев n_{12})

$$\rho_{12} = \bar{a}^* \cdot n_{12} - c \cdot n_{12}, \quad (14.2)$$

где c — стоимость единичной успешной производственной операции; $\bar{a} = \bar{a}^*$ — потери за счет аварийности.

3. При $\Pi \sim \bar{\Phi}$ (число случаев n_{21})

$$\rho_{21} = \bar{c} \cdot n_{21} - b \cdot n_{21}, \quad (14.3)$$

где $\bar{c}$ — стоимость невыполненной единичной операции; b — стоимость технологического простоя.

4. При $\bar{\Pi} \sim \bar{\Phi}$ (число случаев n_{22})

$$\rho_{22} = c \cdot n_{22}. \quad (14.4)$$

При методических прогнозах (n_{ij}) выгода использования прогнозов, следуя такому подходу, составит

$$S_m = (\rho_{11} + \rho_{22}) - (\rho_{12} + \rho_{21}) = n_{11} \cdot (\bar{a} - b) + n_{12} \cdot (c - \bar{a}^*) + \\ + c \cdot n_{22} - n_{21} (\bar{c} - b).$$

Аналогичная оценка выполняется для инерционных прогнозов ($n_{ij}^{ин}$).

Экономическая прибыль хозяйственной реализации прогнозов, или экономический эффект реализации прогнозов, определяется по формуле

$$\mathcal{E} = S_m - S_{ин} - S_0, \quad (14.5)$$

где S_0 — стоимость содержания прогностического подразделения (гидрометцентра, гидрометбюро и т. п.) за месяц, сезон или год.

Удельная экономическая прибыль, или экономическая эффективность метеорологического обеспечения данного потребителя, определяется по формуле

$$P_3 = \left(\frac{S_m - S_{ин}}{S_0} - 1 \right) \cdot 100. \quad (14.6)$$

Величина P_3 показывает, какая сумма средств возвращается народному хозяйству на единицу стоимости, например на каждые 100 руб.

Задачи хозяйственной реализации метеорологических прогнозов, включающие оптимизацию их использования и оценку экономической полезности, поддаются более строгой математической формализации. Они решаются с позиции вероятностно-статистического подхода. Алгоритмическая конструкция выстраивается таким образом, что она позволяет в итоге установить основное свойство реализации прогнозов — их экономическую полезность. Теоретической базой являются основные положения теории статистических решений.

Считаются известными следующие фундаментальные положения:

1) возможные состояния погоды выражены априорными вероятностями $p_1, \dots, p_n$, причем $\sum_{i=1}^n p_i = 1$;

2) априорное распределение вероятностей этих состояний $q_1, \dots, q_n$ есть условные распределения выборочных значений для заданного (ожидаемого) состояния Π_j , при этом $\sum_{i=1}^n q_i = 1$. Совместное распределение выборочных значений q_i образует *функцию правдоподобия*;

3) функция полезности;

4) критерий качества выбора решений — критерий оптимальности;

5) набор решений d_k потребителя относительно ожидаемых состояний;

6) правила выбора решений.

Приведенные положения позволяют установить величину экономического эффекта от использования гидрометеорологической информации.

Непосредственно на производстве в любой отрасли народного хозяйства экономический эффект рассматривается как *разность между денежными выражениями результата и затрат*. При использовании гидрометеорологической информации, а прогнозов погоды в особенности, в качестве результата выступает такая категория полезности, как сбереженные потребителем материальные ценности. Результат, получаемый потребителем, или сбереженные материальные ценности исчисляются особым способом. Если результаты достигаются в сфере материального производства, то затраты относятся к области поставщика гидрометеорологической информации. Только на разработку прогнозов погоды по всей стране в системе Росгидромета затрачиваются огромные средства.

Итак, при использовании метеорологических прогнозов обобщающим показателем, выражающим меру достижения цели и отражающим заключительный итог, является *экономический эффект*.

Оценка экономического эффекта рассматривается с позиции байесовского подхода. Конструкция алгоритма реализации экономико-метеорологической модели оценки экономического эффекта выстраивается следующим образом.

Первый этап. Устанавливается количественное описание зависимости потребителя от погодных или климатических условий. Наиболее простая форма сводится к определению последствий (s_{ij}) действий потребителя [$d(\Pi_j)$] в случае простой альтернативы: применять меры защиты стоимостью $s_{11} = s_{21} = C$ на основании прогноза опасных условий или не применять $\bar{d}$ в случае, если прогнозируется их отсутствие $\bar{\Pi}$. В действительности фактическая погода Φ_i может соответствовать или не соответствовать принимаемым решениям потребителя. На этом основании разрабатывается матрица потерь второго порядка (2×2).

Возможно большее чем „2” число действий потребителя, что требует разработки матрицы потерь размера $n \times m$.

Второй этап. На основании прогностических (Π_j) и фактических (Φ_i) сведений дается описание совместных вероятностей осуществления ситуаций „прогноз—факт”, т. е.

$$p_{ij} = p(\Pi, \Phi) = n_{ij} / N,$$

что достигается посредством матриц сопряженности прогнозов, представляемых в частотах n_{ij} . Вместе с тем рассчитываются услов-

ные вероятности $q_{ij} = n_{ij}/n_{0j}$. Наряду с матрицей сопряженности методических прогнозов составляется матрица сопряженности стандартного прогноза (инерционного, случайного или иного).

Важная особенность второго этапа в алгоритмической конструкции состоит в выборе „*начала отсчета*” полезности методических прогнозов. На первых этапах разработки проблемы в качестве начала отсчета использовалось базовое условие — отсутствие прогнозов у потребителя. Такой выбор „*начала отсчета*” оказался несостоятельным по той причине, что потребитель в любой момент может воспользоваться текущей погодой и самостоятельно экстраполировать ее на необходимые отрезки времени. Инерционный прогноз, дарованный природой, тем самым оказался наиболее верным „*начальным отсчетом*” оценки экономической полезности методических прогнозов.

В тех случаях, когда статистический набор информации оказывается недостаточным, т. е. в условиях априорной неопределенности, необходимо обращаться к *методу минимакса*, что позволяет установить надежную защиту от больших потерь.

Третий этап. В качестве целевой функции или критерия оптимальности, отражающего качество выбора решений, используются средние (в статистическом смысле) потери $\bar{R}$.

Байесовская оценка средних потерь предполагает, что потери в большей или меньшей степени охватывают все элементы произведения матриц $\|s_{ij}\|$ и $\|q_{ij}\|$. Отсюда байесовский подход предполагает вычисление средних потерь по формуле

$$\bar{R}_{kj} = \sum_{k=1}^m s_{ik} q_{ij} \quad (14.7)$$

или после преобразования (при условии доверия прогнозам)

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s(d_j, \Phi_i) p(\Pi_j, \Phi_i) = \sum_{i,j}^{n,m} s_{ij} p_{ij}. \quad (14.8)$$

Байесовский подход к оценке средних потерь обладает рядом преимуществ:

1) минимум потерь эквивалентен максимуму выигрыша, т. е. достигается *инвариантность* результата;

2) байесовская стратегия в отличие от минимаксных является *чистой*, т. е. заданной информации следует только одно действие потребителя;

3) устанавливается *экстремум функции*, а не самих переменных. Средние потери $\bar{R}$ выступают показателем выбора оптимальных оперативных и стратегических решений.

14.4. Оценка экономического эффекта и экономической эффективности использования краткосрочных метеорологических прогнозов

Экономическая полезность оперативных метеорологических прогнозов рассматривается посредством оценки двух основных показателей: *экономического эффекта* ($\mathcal{E}$) и *экономической эффективности* (P).

Математическая формализация экономической полезности достигается посредством оценки байесовских средних потерь ($\bar{R}$).

В качестве базового условия — „начала отсчета полезности” — принимаются средние потери при стандартных прогнозах ($\bar{R}_{\text{ст}}$) (инерционных, климатологических, случайных).

Мера экономического эффекта, получаемого потребителем от использования метеорологических прогнозов, устанавливается посредством определения величины сбереженных материальных средств (ценностей)

$$\Delta \bar{R}_{\text{ст}}^{\text{м}} = \begin{cases} \Delta \bar{R}_{\text{ин}}^{\text{м}} = \bar{R}_{\text{ин}} - \bar{R}_{\text{м}} \\ \Delta \bar{R}_{\text{кл}}^{\text{м}} = \bar{R}_{\text{кл}} - \bar{R}_{\text{м}} \\ \Delta \bar{R}_{\text{сл}}^{\text{м}} = \bar{R}_{\text{сл}} - \bar{R}_{\text{м}} \end{cases}$$

где $\Delta \bar{R}_{\text{ст}}^{\text{м}}$ — разность между средними потерями при использовании стандартных и методических прогнозов.

Использование прогнозов в оперативной хозяйственной практике дает основание чаще всего выбрать величину $\Delta \bar{R}_{\text{ин}}^{\text{м}}$, которая показывает приобретаемую потребителем полезность. Она выражена *снижением* средних потерь при использовании методических прогнозов относительно тех потерь, которые могли быть, если бы потребитель ориентировался на текущую погоду (инерционный прогноз).

Расчет величины $\Delta \bar{R}_{\text{ст}}^{\text{м}}$ предполагает разработку матрицы сопряженности инерционных прогнозов, чтобы установить $\Delta \bar{R}_{\text{ин}}^{\text{м}}$ или мат-

рицу сопряженности случайных прогнозов как крайний вариант оценки — наиболее низкий уровень „начала отсчета полезности”.

Иногда в качестве базового условия „начала отсчета полезности” допускался „нулевой вариант”. Это отмечалось в основном в зарубежной практике оценивания полезности прогнозов в 50—60-е годы XX в. При „нулевом варианте” допускается, что потребитель не располагает никакой прогностической информацией, кроме оперативных методических прогнозов. В действительности потребитель работает в постоянном контакте с текущей погодой.

В табл. 14.2 приведены условия выбора стандартного прогноза.

Снижение средних потерь $\Delta \bar{R}_{\text{ст}}^{\text{м}}$ является объективным показателем сбережения материальных ценностей за счет использования методических прогнозов.

С позиции классической экономики величина $\Delta \bar{R}_{\text{ст}}^{\text{м}}$ есть *результат* научно-производственной деятельности в системе прогноз—потребитель. Естественно, следует установить *затраты*, которые направлены на использование тех ресурсов, т. е. гидрометеорологи-

Таблица 14.2

Выбор стандартного прогноза при оценке экономического эффекта оперативного методического прогноза

Стандартный прогноз, на который может ориентироваться потребитель при отсутствии методического	Оперативный методический прогноз, составляемый в прогностическом подразделении для данного потребителя
Случайный прогноз	Прогнозы дискретных условий погоды с большой пространственно-временной изменчивостью гроз, града, тумана и других кратковременных явлений
Инерционный прогноз	Прогнозы условий погоды, обладающих в определенной мере свойством инерционности, температуры и влажности воздуха, давления воздуха, направления и скорости ветра, пыльных бурь, метелей, облачности слоистых форм, обложных осадков, гололедных явлений и др.
Климатологические прогнозы (ориентация на климатические вероятности)	В прогностическом подразделении имеются сведения о вероятностях осуществления того или иного явления ($p_{\text{кл}} = n_{10} / N$ и $\bar{p}_{\text{кл}} = 1 - p_{\text{кл}}$). Рассматриваются применительно ко всем явлениям и условиям погоды наряду со случайными и инерционными прогнозами

ческой информации, включая прогнозы, посредством которых достигается результат в виде $\Delta \bar{R}_{\text{ст}}^{\text{н}}$ (чаще $\Delta \bar{R}_{\text{ин}}^{\text{н}}$). Такого рода затраты осуществляются в системе Гидрометслужбы. Так, прогнозы, которые разрабатываются в гидрометцентрах, в гидрометбюро, в органах службы морских прогнозов, требуют соответствующих затрат. Они включают в себя стоимость наблюдений за состоянием среды, стоимость передачи информации и ее последующих преобразований (в карты погоды, таблицы, графики и др.).

По расчетам, выполненным А. В. Смирновой в Северо-Западном территориальном управлении в 1983 г., затраты на наблюдения и обработку поступающей информации составляли значительную долю затрат (табл. 14.3).

Разработка прогнозов требовала комплекса различных затрат. Стоимость прогнозов, полученная за некоторые годы, приведена в табл. 14.4.

Поскольку прогностическая информация сначала разрабатывается в прогностических подразделениях, а затем поступает к потребителям, ее называют *предпроизводственной*, а затраты на нее — *предпроизводственными затратами* ($Z_{\text{ин}}$).

Таблица 14.3

Стоимость синоптического материала в Ленинградском гидрометцентре СЗУГКС по затратам на наблюдения, передачу, обработку, анализ и прогноз за 1983 г.

Виды работ (статьи затрат)	Затраты за определенные отрезки времени		
	тыс. руб/год	руб/сут	один срок наблюдения, руб.
Наблюдения на одной метеорологической станции	24,4	67	8
Наблюдения на одной судовой метеорологической станции	30,4	83	10
Наблюдения на всех четырех судах на каждом из шести морей	729,3	1998	250
Наблюдения на одной аэрологической станции	223,4	612	153
Сбор информации в ЛГМЦ всеми каналами связи	1297,3	3554	444
Наноска, построение и анализ синоптических карт, составление прогнозов	203,8	558	70

Стоимость прогностической информации

Вид прогноза	По исследованию, выполненному в СЗУГМ — РГМУ		По исследованию, выполненному в ГГО (2002 г.), руб.
	По данным на 1980—1985 гг. (руб.)	Ориентировочно на 1997 г. (тыс. руб.)	
Предупреждение об ОЯ, НГЯ	22	154	900
Специализированный прогноз	17	119	1000
Прогноз общего поль- зования или консуль- тация	15	105	700

Примечание. Ориентировочный ценовой перевод на период после 1997 г. осуществлен согласно соотношению: $A = K(B : 10^3)$, где A — стоимость гидрометпродукта после 1997 г., руб.; B — то же до 1997 г., руб.; K — коэффициент, $K = 7 + 10$.

Величина сбереженных средств $\Delta \bar{R}_{\text{ст}}^{\text{м}}$ за счет оперативных прогнозов определяется из условия, что полезность любого вида прогнозов рассматривается относительно максимально возможных потерь. Это те потери, которые может нести потребитель при полном пренебрежении прогнозами или отсутствии таковых вовсе. Тогда

$$\Delta \bar{R}_{\text{ст}}^{\text{м}} = (\bar{R}_{\text{макс}} - \bar{R}_{\text{м}}) - (\bar{R}_{\text{макс}} - \bar{R}_{\text{ст}}) = (\bar{R}_{\text{ст}} - \bar{R}_{\text{м}}). \quad (14.9)$$

В формуле (14.9) каждая из разностей есть *предельная величина снижения потерь* при известной прогностической информации.

Разработка такой информационной продукции, как прогнозы, требует не только издержек внутри самой системы Гидрометслужбы и, в частности, в прогностических подразделениях, но и содействия внешнего фактора (техники, энергетики, науки и др.). Отсюда следует, что получаемая прогнозистом полная полезность прогнозов должна быть снижена на величину, или долю, приходящуюся на внешний фактор, т. е.

$$\Delta \bar{R}_{\text{ст}}^{\text{м}} = (\bar{R}_{\text{ст}} - \bar{R}_{\text{м}}) - \alpha(\bar{R}_{\text{ст}} - \bar{R}_{\text{м}}), \quad (14.10)$$

где α — долевой коэффициент внешнего фактора, определяемый для конкретной отрасли.

Формулу (14.10) перепишем иначе

$$\Delta \bar{R}_{\text{ст}}^{\text{м}} = (1 - \alpha)(\bar{R}_{\text{ст}} - \bar{R}_{\text{м}}), \quad (14.11)$$

где $\beta = (1 - \alpha)$ — долевой коэффициент участия, приходящийся на Гидрометслужбу.

Для расчета экономического эффекта использования методических прогнозов в качестве базовых средних потерь принимаются те, которые могли быть при использовании инерционных прогнозов ($\bar{R}_{\text{ин}}$). Кроме того, базовыми могут рассматриваться средние потери при использовании случайных ($\bar{R}_{\text{сл}}$) и климатологических прогнозов ($\bar{R}_{\text{кл}}$). Базовые условия как уровни отсчета потерь схематически приведены на рис. 14.2.

На основании приведенных выше положений записывается формула *экономического эффекта*,¹ получаемого потребителем от использования методических прогнозов:

$$\mathcal{E} = \beta N[(\bar{R}_{\text{ст}} - \bar{R}_{\text{м}}) - \mathcal{Z}_{\text{пп}}], \quad (14.12)$$

где β — коэффициент долевого участия системы Росгидромета в получении экономического эффекта; величина β колеблется в пределах $0,2 \div 1,0$; преимущественно используется $\beta = 0,3$, в сельскохозяйственном производстве рекомендуется использовать $\beta = 1,0$; N — общее число прогнозов; $\bar{R}_{\text{ст}}$ — средние потери при использовании стандартных прогнозов ($\bar{R}_{\text{ин}}$, $\bar{R}_{\text{кл}}$ или $\bar{R}_{\text{сл}}$) — базовые варианты; $\bar{R}_{\text{м}}$ — средние потери при использовании оперативных методических прогнозов; $\mathcal{Z}_{\text{пп}}$ — предпроизводственные затраты в прогнозистических подразделениях, т. е. $\mathcal{Z}_{\text{пп}}$ есть стоимость единицы прогнозистической информации (см. табл. 14.4).

Наиболее часто в качестве базового условия используются средние потери при использовании инерционных прогнозов ($\bar{R}_{\text{ин}}$). Действительно, потребитель может (это его право) экстраполировать текущую погоду на период предстоящего рабочего времени — на 12 ч, на сутки, на более длительный период. Тем самым он невольно составляет прогноз сохранения исходных условий погоды —

¹ Термину „эффект” придается различное содержание: 1) следствие действий в природе каких-либо причин — „эффект парниковый”, „эффект Форбса”, „эффект Бергерона” и др. — с названием по существу природы явления или по имени первооткрывателя; 2) эффект, как результат решений и действий в процессе производства, реализации труда, хозяйственной практики. Термин „эффективность” — производное от термина „эффект”.

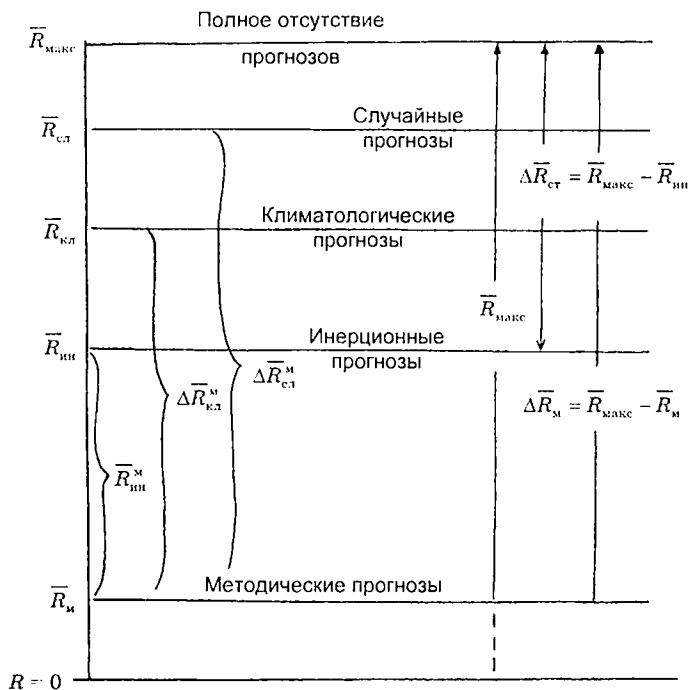


Рис. 14.2. Снижение средних потерь при использовании методических прогнозов относительно инерционных ($\Delta \bar{R}_{\text{ин}}^{\text{м}}$), климатологических ($\Delta \bar{R}_{\text{кл}}^{\text{м}}$) и случайных ($\Delta \bar{R}_{\text{сл}}^{\text{м}}$).

инерционный прогноз. Это очень важное обстоятельство. Природа наделила потребителя прогнозом, который может выступать его постоянным спутником, неотъемлемым условием хозяйственной деятельности. На этом основании формулу (14.12) можно переписать в виде

$$\mathcal{E} = \beta N[(\bar{R}_{\text{ин}} - \bar{R}_{\text{м}}) - \mathcal{Z}_{\text{ин}}]. \quad (14.13)$$

Разность $\Delta \bar{R}_{\text{м}}^{\text{сл}} = \bar{R}_{\text{сл}} - \bar{R}_{\text{м}}$ в формуле (14.12) или $\bar{R}_{\text{ин}} - \bar{R}_{\text{м}}$ в формуле (14.13) характеризует снижение потерь и тем самым представляет сбереженные материальные средства или иные ценности потребителя.

Анализ формулы (14.13) позволяет дать следующее определение: экономическим эффектом $\mathcal{E}$ называются сбереженные материальные средства $\beta N(\bar{R}_{\text{сл}} - \bar{R}_{\text{м}})$ за вычетом затрат $N\mathcal{Z}_{\text{ин}}$ на их получение.

Экономический эффект $\mathcal{E}$ есть абсолютная величина полезности, которая существенно меняется от „масштабности” потребителя. Производственные объекты могут охватывать как относительно небольшие, так и огромные территории и иметь различную сложность инфраструктуры. Например, рядом расположенные речной и крупный морской порт получают за счет использования прогнозов скорости ветра разный экономический эффект, нередко отличающийся на порядок. Эта особенность в оценке экономической полезности прогнозов прослеживается во всех отраслях народного хозяйства.

Содержание формулы (14.13) показывает, что экономический эффект осуществляется в хозяйственной (производственной, коммерческой) практике *потребителя* за счет средств, затрат, реализуемых в сфере *поставщика* — в Гидрометслужбе. Однако и потребитель несет издержки, что проявляется в средних потерях.

В целях сравнительной оценки полезности прогнозов, используемых различными потребителями, определяется *экономическая эффективность*

$$P = \frac{\mathcal{E}}{N\mathcal{Z}_{\text{ин}}} = \beta \left(\frac{\bar{R}_{\text{ин}} - \bar{R}_{\text{м}}}{\mathcal{Z}_{\text{ин}}} - 1 \right). \quad (14.14)$$

Стратегия ориентироваться на прогнозы тем эффективнее, чем больше эффект $\mathcal{E}$ при меньших затратах $N\mathcal{Z}_{\text{ин}}$ на разработку прогнозов. Эффективность прогнозов, как видно из формулы (14.14), достигается за счет как потребителя, так и поставщика.

Экономическая эффективность прогнозов есть отношение стоимости результата, получаемого потребителем, к затратам, которые несет служба прогнозов.

Экономическая эффективность является безразмерным показателем экономической полезности. Например, $P = 2,5$. Это означает, что *на один рубль* затрат в Гидрометслужбе потребитель *получает* (за счет снижения потерь при методическом прогнозе) *2,5 рубля*. Очевидно, что экономическая результативность использования методических прогнозов достигается, если отношение стоимости результата к затратам $P > 1,0$.

Для оценки экономической эффективности гидрометеорологического обеспечения, выполняемого данным прогностическим подразделением или УГМС в целом, необходимо величину экономического эффекта, получаемого всеми потребителями от всех прогнозов, отнести к стоимости работы прогностического подразделения или полному бюджету по УГМС за выбранный отрезок времени. Тем самым устанавливается, сколько средств сберегается в народном хозяйстве (отрасли, части ее) на рубль затрат в системе Росгидромета.

Экономическую эффективность прогнозов можно рассматривать иначе: как долю эффекта на единицу затрат потребителя при ориентации, например, на инерционные прогнозы. Тогда можно записать

$$P_{ин} = \frac{\mathcal{E}}{N\bar{R}_{ин}} = \beta \left[1 - \left(\frac{\bar{R}_м - \mathcal{Z}_{ин}}{\bar{R}_{ин}} \right) \right]. \quad (14.15)$$

Экономическая эффективность как отношение эффекта к общим затратам поставщика и потребителя устанавливается по формуле

$$P_0 = \frac{\mathcal{E}}{N(\mathcal{Z}_{ин} + p_{01}s_{01})}. \quad (14.16)$$

Известно, что с ростом изменчивости погодных условий успешность инерционных прогнозов снижается. Вместе с тем возможно снижение успешности и методических прогнозов, но заметно меньшее. Следовательно, в периоды увеличения частоты циклонических процессов величина $\Delta\bar{R}_м^{ин}$ растет и будет больше, чем в обычных, относительно стабильных погодных условиях. Отсюда следует вывод: экономический эффект методических прогнозов тем больше, чем чаще меняются погодные условия и чем они сложнее.

Достоверность результатов оценки показателей экономической полезности достигается при выполнении следующих условий.

1. Необходимо дать вероятностное описание осуществления прогнозов. Оценка показателей $\mathcal{E}$, P , P_0 для единичного прогноза в основном исключается.

2. Полезность устанавливают по непрерывному ряду прогнозов за длительный период.

3. Обосновать выбор стандартного прогноза как базового условия — уровня отсчета полезности.

4. Учесть стоимость прогностической информации.

Принципиальная схема вычисления показателей экономической полезности приведена на рис. 14.3.

14.5. Некоторые результаты оценки экономической полезности гидрометеорологической информации

Оценка экономической полезности прогнозов позволяет потребителю выстроить более устойчивую, менее зависимую от внешней среды хозяйственную практику.

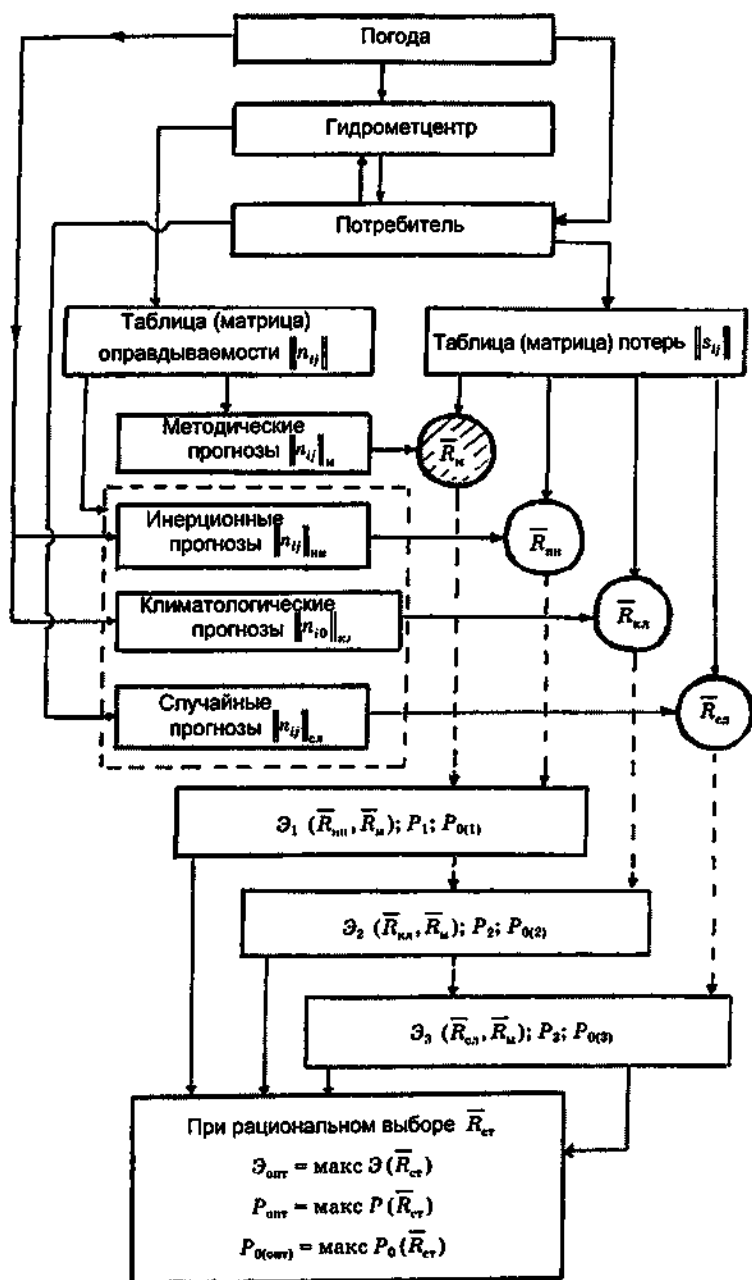


Рис. 14.3. Схема вычисления показателей экономической полезности $\mathcal{E}$, P и P_0 .

Еще в 1950-е годы американский ученый Р. Сатклиф отмечал, что ценность службы прогнозов определяется не столько точностью прогнозов, сколько их полезностью. Служба прогнозов экономически себя оправдывает и с превышением окупает стоимость своего содержания.

Для того чтобы установить полезность прогнозов, потребитель выбирает отвечающие его специфике стандартные прогнозы. Это может быть ориентация на текущую погоду, на климатическую информацию или на случайный выбор ожидаемой погоды.

Поскольку климатологические стратегии ($S_{кл.1}$, $S_{кл.2}$) не приемлемы для ряда нестационарных работ потребителей и транспорта, в частности, в качестве базового условия отсчета полезности допустимо использовать преимущественно инерционные прогнозы. При использовании методических прогнозов *a priori* средние (в статистическом смысле) потери допускаются как минимальные в сопоставлении с возможным набором базовых ($\bar{R}_{ин}$, $\bar{R}_{кл}$, $\bar{R}_{сл}$). Отсюда принимается разность вида $(\bar{R}_{ин} - \bar{R}_{м})$, что в то же время допускает ее отрицательное значение.

Снижение потерь при методических прогнозах относительно стандартных уже является показателем их потенциальной полезности.

Оценка экономической полезности прогнозов предполагает предварительную статистическую обработку сведений, относящихся к влияющим факторам, что позволяет дать математическое описание зависимости хозяйственного объекта от внешних условий. Совместно с матрицей сопряженности это будет необходимая информационная база для последующего оценивания полезности прогнозов, что и было представлено на рис. 14.3.

Экономический эффект оптимального использования метеорологических прогнозов проявляется как результат:

- сокращения эксплуатационных затрат за счет более оптимального использования технологии производства в условиях постоянного влияния погоды и климата;

- экономии трудовых ресурсов посредством оптимального учета текущих и сезонных изменений погоды в планировании производства;

- экономии производственного времени на транспортные операции;

- экономии топливных и энергоресурсов (электроэнергии), сельхозпродукции, морепродуктов, полезных ископаемых и др.;

- предотвращения убытков (потерь, ущерба) от неблагоприятных, опасных и стихийных гидрометеорологических явлений на суше, на море, в воздухе за счет своевременных и эффективных мер защиты.

Для иллюстрации экономических возможностей прогнозов (включая предупреждения об ОЯ и НГЯ) приведен один классический пример, взятый из работ А. И. Бедрицкого.

В ноябре 1993 г. в Новороссийске при боре отмечался ураганный ветер. Предупреждение было дано заблаговременно Гидрометцентром России. Однако ни в морском порту, ни в городе в целом не были приняты необходимые меры защиты. Было выброшено на берег три судна, семь судов затонуло, столкнулись два танкера. Значительный ущерб был причинен городскому хозяйству. Ущерб от урагана составил более 6 млн. долларов США. На морской порт пришлось не менее половины потерь.

В феврале 1994 г. при получении предупреждения об ураганном ветре при боре руководство города и морского порта приняли меры защиты. Суда были выведены из Цемесской бухты в укрытие на внешний рейд (рис. 14.4). По городу были проведены и другие защитные мероприятия. Однако ущерб — прямые потери — полностью предотвратить в столь масштабных хозяйственных объектах

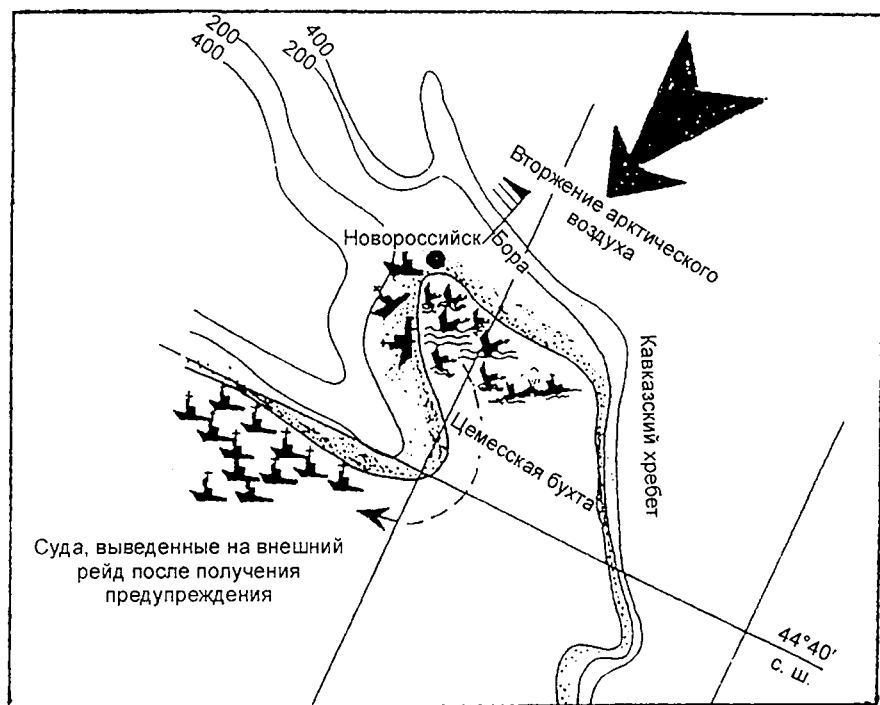


Рис. 14.4. Схема действий потребителей по принятию предупредительных мер после получения предупреждения о возникновении Новороссийской бory.

не удастся. В данном случае остаточные, непредотвращенные потери (€L) составили 19 тыс. долларов.

Сравнительная оценка показывает, что проведенная заблаговременная защита на основании гидрометеорологических (метеорологических и океанологических) прогнозов позволила сберечь материальные средства на сумму 5,981 млн. долларов. Следовательно, около 3 млн. долларов составили сбереженные материальные средства по морскому порту.

8 декабря 2002 г. на Новороссийск обрушилась жестокая бора. Скорость ветра достигала 38 м/с. Температура воздуха понизилась до -15°C . Население, руководители предприятий и капитаны судов были своевременно оповещены о надвигающейся опасности. Это позволило свети потери к минимуму.

Экономический эффект рассчитывается во всех территориальных управлениях Росгидромета с привлечением сведений от потребителей.

Приведем некоторые результаты расчета экономического эффекта использования всего комплекса гидрометеорологической информации (продукции).

В 1960-е годы в территориальных управлениях Госкомгидромета были начаты первые работы по практической оценке экономического эффекта гидрометеорологической деятельности. Это был период первых „проб”. Выполнялись как самостоятельные поиски, разработки подходов и оценки, так и сбор информации от потребителей. Обобщение результатов, выполненное в 1971 г. акад. Е. К. Федоровым, показало, что за период с 1966 по 1970 г. эффективность гидрометеорологического обеспечения составила 4 : 1 — на 1 рубль затрат в Гидрометслужбе экономика приобретает 4 рубля. Экономический эффект Гидрометеорологической службы составлял около 0,3 млрд. рублей в 1966 г. и примерно 0,6 млрд. рублей в 1970 г.

В мировой практике эффективность использования метеорологической информации и прогнозов, в частности, отмечается в широких пределах: от 10:1 до 100:1. В некоторых странах эта оценка осуществлялась при „нулевом” базовом условии, допускающем „отсутствие метеорологического обеспечения” ($\bar{R}_{\text{ст}} = \bar{R}_{\text{макс}}$). Однако такое постулирование начала отсчета полезности прогнозов вряд ли допустимо, за исключением оценки полезности тех прогнозов и предупреждений, которые содержат сведения об особо опасных гидрометеорологических условиях (невских наводнениях, обледенениях морских судов, обильных дождях в Приморье при выходе южных циклонов — тайфунов и др.). В указанных ситуациях допускается использовать „нулевой” базис.

По предварительным оценкам, в 70—80-е годы XX в. экономический эффект использования прогнозов в экономике СССР достигал 0,7 — 0,8 млрд. руб. в год (по денежному исчислению тех лет). Только в сельском хозяйстве экономический эффект составлял 0,35—0,4 млрд. рублей.

Уже в те годы стала очевидной не потенциальная, а фактическая экономическая полезность использования прогнозов.

В 1993 г., согласно информации Росгидромета, экономический эффект деятельности Гидрометслужбы — специализированного метеорологического обеспечения — составил 162 млрд. руб. (в ценах тех лет). По данным исследований А. И. Бедрицкого, наибольший экономический эффект использования гидрометеорологических прогнозов в 1993 г. был получен в организациях морского флота и составил более 59 млн. долл. (рис. 14.5).

В 1994 г. экономический эффект уже превышал 667 млрд. рублей.

Согласно данным, приведенным на Международной конференции по проблемам экономической эффективности гидрометеорологической информации (Женева, 1994 г.), глобальные годовые затраты на НМГС составляют около 4 млрд. долл. США. В то же вре-

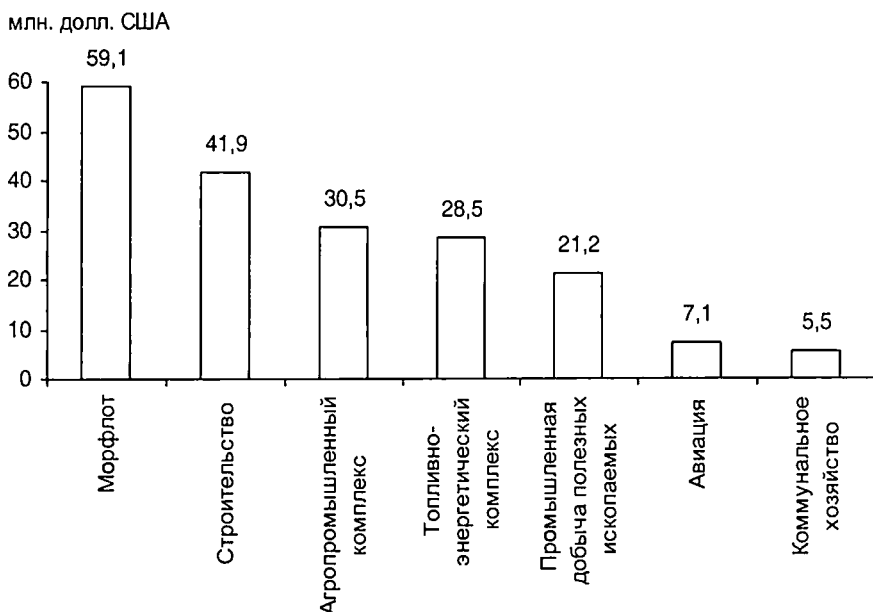


Рис. 14.5. Экономический эффект от использования гидрометеорологической информации в различных отраслях экономики России в 1993 г. По А. И. Бедрицкому.

мя отдача — полезность гидрометеорологической информации — в мировой экономике достигает 40 млрд. долл. США.

В 1995 г. экономический эффект использования гидрометеорологической информации в России достигает уже примерно 1052 млрд. руб. Это был период, когда Гидрометслужбе России необходимо было приложить огромные организационные усилия, направленные не только на сохранение прежнего уровня специализированного гидрометобеспечения, но и на поиск новых рынков сбыта гидрометеорологической продукции. В этот период резкое падение уровня производства сопровождалось финансовым дефицитом. В большинстве частных структур интерес к гидрометинформации резко снизился. Значительный экономический эффект объяснялся не чем иным, как галопирующим ростом цен.

По результатам приближенных оценок экономической полезности гидрометеорологической информации за 1996 г., экономический эффект в основных отраслях оказался следующим:

- в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК) — 462 млрд. руб. (25,8 %);

- в сфере сельскохозяйственного производства — 277,5 млрд. руб. (15,5 %);

- в морских отраслях — 259,7 млрд. руб. (14,5 %);

- в строительстве — 221 млрд. руб. (12,3 %).

На остальные отрасли экономики приходится около 32 % получаемого экономического эффекта.

Общий экономический эффект по всем отраслям экономики в 1996 г. достигал 1,3 трлн. руб.

В 1997 г. интегральный эффект использования гидрометинформации составил уже 2 трлн. руб. (до деноминации) при эффективности 3 : 1. Почти 70 % эффекта достигалось за счет четырех отраслей: сельского хозяйства, строительства, деятельности морских организаций и ТЭК.

В последующие годы оценка экономической полезности прогнозов выполнялась в рамках более строгого подхода к получаемым результатам. Местные УГМС формировали ежегодный „портфель” полезности прогнозов с учетом методических рекомендаций, разрабатываемых как в системе Росгидромета, так и в других научных учреждениях и вузах России. Однако экономический эффект $\mathcal{E}$ иногда трактуется как предотвращенный ущерб L_n , что не отражает полную полезность прогнозов. Сюда не включаются потери, возможные в случаях ошибок прогнозов первого и второго рода. В ряде случаев величина L_n оказывается меньше прямых потерь (L при n_{12}), связанных с пропуском опасных гидрометеорологических ус-

ловий. Такого рода подходы отмечаются пока как в отечественной, так и в зарубежной гидрометеорологической практике.

К 2002 г. годовой экономический эффект использования прогнозов достигал 5 млрд. руб. По сведениям УГМС, только в мае 2002 г. он составил 535 млн. руб., а в мае 2003 г. — 894 млн. руб. Экономический эффект в виде предотвращенных потерь по отдельным УГМС представлен в приложении 5.

Судя по приведенным фактическим данным, непредотвращенные потери колеблются в широких пределах. При известном уровне успешности прогнозов экономический эффект отражает реальные возможности специализированного гидрометеорологического обеспечения. Именно с этих позиций следует подчеркнуть одно обстоятельство. Иногда экономическому эффекту, численно выражающему полезность, приписывается некая условность или потенциальный характер результата. Результат может носить приближенный характер, но не условный или возможный. При этом точность получаемой оценки экономической полезности зависит не от применяемой методики, а в основном от достоверности экономических сведений, получаемых от потребителя.

Элементы матрицы потерь носят *реальные* стоимостные значения, известные потребителю. Значит, получаемый экономический эффект с достижимой точностью является реальным.

В итоге видно, что прогностическая информация несет сберегающие функции и позволяет на практике заблаговременно предусматривать действия, которые или ограничивают, или вовсе исключают потери по метеорологическим причинам.

14.6. Гидрометеорологический фактор в системе национальных счетов

В 1972 г. на Конференции ООН по окружающей среде была сформулирована *Концепция устойчивого развития*. Устойчивость рассматривалась с позиции глобального регулирования крупномасштабных воздействий деятельности человека на окружающую среду. Однако общество не только генерирует негативные воздействия на окружающую среду, но и одновременно испытывает на себе все возрастающую „агрессивность” окружающей среды. Ежедневно погода и климат наносят огромный урон особенно на обширных территориях России.

Оперативная специализированная метеорологическая информация используется тысячами потребителей во всех сферах экономики. Ка-

ждый из них получает выгоду, признает ее и включает в свою коммерческую практику. Этот процесс охватывает всю производственную инфраструктуру страны — все отрасли народного хозяйства. Возникает проблема масштабного общегосударственного обобщения экономической полезности использования метеорологической информации. Только на этом основании можно получить заключение *о гидрометеорологической безопасности экономики страны и степени обеспечения устойчивого развития общества* путем оптимального и экономически выгодного использования погодо-климатического ресурса.

На территории многих стран, в том числе и России, выделяются зоны с высокими рисками возникновения стихийных бедствий природного характера. Это негативно сказывается на экономике. Не случайно, что период с 1990 по 2000 г. был провозглашен Генеральной Ассамблеей ООН „Международным десятилетием по уменьшению опасности стихийных бедствий”. В мае 1994 г. в Иокогаме (Япония) на Всемирной конференции по природным катастрофам была принята Декларация, в которой указывалось, что важным элементом государственной стратегии является борьба за уменьшение ущербов от природных катастроф, и в частности от особо опасных гидрометеорологических условий.

Используемые в экономике гидрометеорологические ресурсы являются составной частью национальных ресурсов, т. е. совокупности ресурсов страны — *экономических активов*. Они включаются в так называемую *систему национальных счетов* (СНС).

Показатели СНС на макроуровне дают наиболее полную характеристику экономических процессов, происходящих в рыночной экономике.

Система национальных счетов должна включать показатели влияния гидрометеорологических условий как составную часть национальных ресурсов страны.

Показателями развития страны в рамках СНС являются:

- национальное богатство;
- валовой внутренний продукт;
- валовая добавленная стоимость;
- выпуск продуктов и услуг;
- основные фонды.

Только три из основных показателей СНС косвенно учитывают влияние гидрометеорологических условий на экономику. Это национальное богатство, валовой внутренний продукт и валовая добавленная стоимость.

Национальное богатство. Структура национального богатства представляет собой следующее: 1) нефинансовые непроеизводствен-

ные активы — материальные непроизводственные активы (земля, богатства недр, естественные биологические ресурсы); 2) нефинансовые производственные активы — все составляющие производственного процесса; 3) финансовые активы — финансовая результативность во всех сферах экономики.

Важной составной частью национального богатства являются гидрометеорологические ресурсы (атмосферы, гидросферы) — исходная информация, прогнозы, климатические сведения. Это область нефинансовых непроизводственных активов.

Валовой внутренний продукт (ВВП) формируется во всех отраслях народного хозяйства. Каждая отрасль экономики получает экономическую выгоду от использования всех видов гидрометеорологической информации. Экономическая выгода, получаемая потребителями при использовании гидрометеороинформации, переводится в материализованную форму ВВП.

Валовая добавленная стоимость раскрывает образование первичных доходов (оплата труда, налоги на производство, прибыль, смешанные доходы). В валовую добавленную стоимость входит прибыль, исчисляемая разностью между доходами и расходами. Расходы включают сумму издержек, включая потери по гидрометеорологическим условиям, затраты на защитные меры и восстановительные работы. Все это снижает *валовую* добавленную стоимость. Однако это снижение частично компенсируется умелым (оптимальным) использованием гидрометеорологических ресурсов. Таким образом, подверженность отраслей экономики неблагоприятным гидрометеорологическим условиям непосредственно сказывается на валовой добавленной стоимости.

Наряду с проверенными макроэкономическими показателями в СНС разрабатываются показатели экономического развития в отдельных отраслях, в которых учитываются погодо-климатические составляющие.

Будем полагать, что потребитель использует простую альтернативу в своем регламенте погодо-климатических решений. При этом известна матрица сопряженности альтернативных методических и инерционных прогнозов. Известна также матрица потерь $\|s_{ij}\|$, содержащая два возможных действия потребителя $d(\Pi)$ и $d(\overline{\Pi})$.

Рассмотрим комплексную модель учета гидрометеорологического фактора в дополнение к показателям СНС. Для этого используем ряд показателей ВПУ. Необходимые исходные условия сводятся в комплексную матрицу отображения „прогнозы — потери” (табл. 14.5).

Комплексная матрица отображения „прогнозы—потери”

Фактическое осуществление погоды	Прогнозируемая неблагоприятная погода, Π	Прогнозируемая благоприятная погода, $\overline{\Pi}$	$\sum_j n_j$
	Потребитель принимает (или не принимает) меры защиты стоимостью C ($C \geq 0$; $\varepsilon \geq 0$)	Потребитель мер защиты не принимает $C = 0$	
Φ — неблагоприятная погода наблюдалась (опасное явление, НГЯ и др.)	(n_{11}) $C = 0$; $L = L_{\text{макс}}$ $C > 0$; $L = L_{\text{макс}} = L_{\text{пр}}$ $\varepsilon = 0$ $C > 0$; $L_{\text{пр}} = L - L_n$; $L_n = \varepsilon L$ $\varepsilon > 0$ $C > 0$; $L_{\text{пр}} = 0$; $L_n = \varepsilon L = L_{\text{макс}}$ $\varepsilon = 1$	(n_{12}) $C = 0$; $L^* = L_{\text{макс}}$	(n_{10})
$\overline{\Phi}$ — неблагоприятная погода не наблюдалась	(n_{21}) $C = 0$; $L = 0$ $C > 0$; $L = 0$ $\varepsilon \geq 0$	(n_{22}) $C = 0$; $L = 0$	(n_{20})
$\sum_j n_j$	(n_{01})	(n_{02})	N

1. В ситуации $\Pi \sim \Phi$ потребитель несет издержки за счет мер защиты стоимостью C и той части потерь, которую не удастся предотвратить $L_n = \varepsilon L$. С учетом предотвращенной части потерь $L(1 - \varepsilon)$ найдем *выгоду* реализации прогнозов в осуществившихся ситуациях ($\Pi \sim \Phi$)

$$W_{11} = n_{11}[L(1 - 2\varepsilon) - C] \quad (14.17)$$

и соответственно потери

$$R_{11} = n_{11}[C - L(1 - 2\varepsilon)]. \quad (14.18)$$

2. В ситуации $\overline{\Pi} \sim \Phi$, т. е. в случае ошибок-пропусков явления (n_{12}) , потребитель прибегает к „технологии экстренного реагирования” — вводится свод действий в экстремальных ситуациях. С помощью мер защиты стоимостью C^* удастся частично уменьшить потери от L до L^* . Предотвращенная доля потерь составит

$L_{np}^* = L - L^* = L - \epsilon^* L = L(1 - \epsilon^*)$. Потери по всем возможным случаям составят величину

$$R_{12} = n_{12}[(C^* + \epsilon^* L) - L_{np}^*] = n_{12}[C^* - L(1 - 2\epsilon^*)], \quad (14.19)$$

где $\epsilon^* > \epsilon$ и $C^* = 3 \div 5C$.

3. В ситуации $\overline{P} - \overline{\Phi}$, т. е. в случае правильных прогнозов отсутствия явления (n_{12}), потребитель работает в режиме благоприятной погоды. Общие доходы V за период N прогнозов составят величину

$$D^* = n_{22}V$$

или

$$D = NV. \quad (14.20)$$

Средние потери потребителя при использовании методических прогнозов будут равны

$$\overline{R} = p_{11}[C - L(1 - 2\epsilon)] + p_{21}C + p_{12}[C^* - L(1 - 2\epsilon^*)]. \quad (14.21)$$

Постоянная защита по факту наличия явления Φ позволяет установить средние потери вида

$$\overline{R}^* = p_{10}[C^* - L(1 - 2\epsilon^*)]. \quad (14.22)$$

Мера ценности использования прогнозов с учетом формул (14.21)—(14.22) определяется следующим образом:

$$F = \frac{\overline{R}^* - \overline{R}}{\overline{R}^*} = 1 - \frac{p_{11}[C - L(1 - 2\epsilon)] + p_{21}C}{p_{10}[C^* - L(1 - 2\epsilon^*)]} + \frac{p_{12}}{p_{10}}, \quad (14.23)$$

где $C^* = 3C$.

Для определения вклада гидрометеорологических ресурсов (в частности, прогнозов) в производственно-хозяйственную деятельность страны может быть использован показатель, характеризующий *долю снижения потерь по отношению к доходам*:

$$F^* = \frac{\Delta \overline{R}}{D} = \frac{\overline{R}^* - \overline{R}}{D}. \quad (14.24)$$

Показатели F и F^* являются экономическими оценками влияния погодных условий на устойчивое развитие экономики. Они могут быть использованы в системе национальных счетов. Вместо D

может быть использована величина валового внутреннего продукта (ВВП) или валовая добавленная стоимость.

Расчет показателей F и F^* в СНС предъявляет кардинальное требование к министерствам, ведомствам, коммерческим объединениям и т. п., которое состоит в обязательном включении во все статистические отчеты статьи о полных (L), остаточных (L_n) потерях и затратах (C) на меры защиты.

Раздел VI

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛЕЗНОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ОТДЕЛЬНЫХ ОТРАСЛЯХ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Глава 15

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

15.1. Сельскохозяйственное производство и его зависимость от погоды и климата

Важнейшей отраслью материального производства является сельское хозяйство. Это специфическая отрасль экономики, располагающая 410 млн. га пахотных угодий и требующая технически современного оснащения. В валовом внутреннем продукте страны сельское хозяйство занимает второе место после промышленности.

Сельскохозяйственное производство включает земледелие (полеводство, овощеводство, плодоводство, виноградарство и др.) и животноводство (скотоводство, свиноводство, овцеводство, оленеводство, птицеводство и др.). Земледелие — основа сельского хозяйства, а зерновое хозяйство является главным направлением сельскохозяйственного производства.

Основными производственными объектами в данной отрасли являются: сельскохозяйственные производственные объединения (СПО), совхозы, сельскохозяйственные акционерные общества, специализированные коммерческие объединения, кооперативные хозяйства, животноводческие комплексы, птицефабрики и др. В частности, в России около 260 тыс. фермерских хозяйств, которые дают 3 % сельскохозяйственной продукции. Остальная доля вырабатывается крупными СПО, совхозами и другими кооперативными предприятиями.

Основными сельскохозяйственными культурами в России являются: зерновые (в том числе кукуруза, рис), зернобобовые, под-

солнечник, картофель, сахарная свекла, овощи, фрукты, ягоды, виноград.

Наибольшие площади заняты под зерновыми и овощными культурами и картофелем.

Специфика сельскохозяйственного производства состоит в следующем:

- 1) постоянное влияние погоды;
- 2) сезонный характер работ;
- 3) обширные площади обработки и ухода;
- 4) отсутствие эффективных мер защиты сельскохозяйственных культур от неблагоприятных и опасных условий погоды.

Эта отрасль производства резко выделяется по климатическим зонам. Наряду с этим агротехнические мероприятия носят сезонный характер (сроки и дозы внесения удобрений, сроки сева, нормы высева и другие особенности).

Сельскохозяйственное производство испытывает многообразие воздействий погодных условий на произрастание культур. Здесь проявляется комплекс опасных метеорологических условий (табл. 15.1).

Таблица 15.1

Опасные для сельскохозяйственного производства метеорологические условия

Сезон	Явления, условия погоды	Последствия
Зима	Обильные снегопады на незамерзшую почву и последующие низкие температуры Образование ледяной корки	Выпревание озимых (углеводное истощение) Выпревание, вымерзание (обезвоживание и разрушение клеток кристаллами льда)
	Длительные морозы при небольшой высоте снежного покрова или его отсутствии	Вымерзание озимых
Весна	Морозная малоснежная погода	Вымерзание озимых
	Резкое, значительное потепление. Быстрое снеготаяние	Затопление посевов на 10—15 сут — частичное вымокание, на 25 сут и более — полная гибель растений
	Длительная теплая сухая погода	Иссушение почвы, слабое развитие растений. При сильном ветре возможно оголение корневой системы. В южных районах особо опасны пыльные и черные бури

Сезон	Явления, условия погоды	Последствия
Лето	Заморозки	Частичная или полная гибель овощных, повреждения садовых культур
	Сильные ветры с ливнями	Полегание злаковых, повреждение других культур
	Град	Может привести к гибели практически всех сельскохозяйственных культур
	Суховеи, пыльные бури	Высушивание и снос деятельного слоя почвы. Полное уничтожение растений
	Засуха	Гибель растений на огромных территориях. Резкое снижение продуктивности в животноводстве. Опасность значительных лесных пожаров
	Продолжительные дожди, сильный ветер	Полегание зерновых
Осень	Заморозки	Частичная или массовая порча сельскохозяйственных культур
	Резкое похолодание с дождями и мокрым снегом	Задержка или срыв уборки урожая. Возможны значительные потери при уборке

Урожай озимых и яровых сельскохозяйственных культур складывается под влиянием всех метеорологических условий, начиная с зимнего периода. Снегозапасы, а значит и влагозапасы на весну определяют биологическую продуктивность растений на первых фазах развития. Достаточное количество осадков весной усиливает процессы наращивания продуктивной массы при необходимом достатке солнечной радиации и суммарных температур воздуха и почвы.

Благоприятные условия произрастания сельскохозяйственных культур могут быть нарушены главным образом избыточным тепловым режимом и недостатком влаги. Влагозапасы на обширных территориях страны формируются и распределяются крайне неравномерно. Нередко обилие дождей в летне-осенний период вызывает потери урожая. Однако по масштабам потерь¹ печальное первенство остается за засухой. В годы засух урожайность снижается до 20—25 %, а в годы жестоких засух (примерно один раз в 100 лет) до 40 % и более.

¹ По данным ООН, в 2000 г. пострадали от засухи в глобальном масштабе более 100 млн. человек.

Для характеристики засух используется гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК):

$$\text{ГТК} = (\sum_{i=1}^n \text{ОС}(T > 10^\circ \text{C})) / (\sum_{i=1}^n T > 10^\circ \text{C} : 10), \quad (15.1)$$

где $\sum_{i=1}^n \text{ОС}(T > 10^\circ \text{C})$ — суммарное количество осадков за вегетационный период по всем n случаям при температуре воздуха выше 10°C ; $\sum_{i=1}^n T > 10^\circ \text{C}$ — сумма температур за тот же период.

Принята следующая характеристика засух по значению ГТК:

$< 0,4$ — признак очень сильной засухи,

$0,4\text{—}0,5$ — сильная засуха,

$> 0,6$ — средняя засуха.

По данным о влажности почвы оценку засушливости устанавливают по формуле Н. В. Бова:

$$K = 10(W + H) / \sum_{i=1}^n T, \quad (15.2)$$

где W — запас продуктивной влаги в 100-сантиметровом слое почвы весной (мм); H — количество осадков, выпавших с весны до момента расчета (мм); $\sum_{i=1}^n T$ — сумма температур от даты перехода температуры воздуха через 0°C весной.

В зависимости от времени наступления различают три типа засух: весеннюю, летнюю и осеннюю. Наиболее опасна весенняя, развивающаяся на фоне недостаточного увлажнения почвы осадками в осенне-зимний период. Анализ засух на территории СССР за последние 100 лет представлен в табл. 15.2.

Поскольку предсказуемость погодных условий на длительные сроки низкая, задача прогнозирования, в том числе и засух, остается еще не решенной, несмотря на крайнюю необходимость таких прогнозов для народного хозяйства.

В переходные сезоны особую роль играют заморозки. Интенсивность заморозков в воздухе и на почве определяется не только адвективным понижением температуры и радиационными потерями тепла, но и особенностями местности (низины, открытые северным ветрам долины и т. п.).

В периоды ранних весенних и поздних осенних заморозков температура воздуха может понизиться до -7 , -8°C .

Засухи на территории СССР

Характер засухи	Снижение урожайности зерновых, %	Повторяемость засухи	Год
Исключительно жестокая	30—40	1 раз в 100 лет	1975
Жестокая	20—30	1 раз в 10—15 лет	1963, 1965, 1981
Сильная	10—20	1 раз в 5—7 лет	1954, 1955, 1957, 1967, 1968, 1972, 1979, 1980
Средняя	5—7	1 раз в 4 года	1951, 1964, 1969, 1974, 1982

Защитные мероприятия направлены на снижение эффективного излучения почвы, т.е. потерь тепла верхним слоем почвы, что в свою очередь и вызывает понижение температуры слоя воздуха, непосредственно прилегающего к поверхности почвы.

Различают два вида защиты от заморозков: биологический и агротехнический. Биологический означает выведение селекционным путем заморозкоустойчивых сортов полевых и садовых растений. Агротехническая защита разделяется на три типа: сохранение тепла, перемешивание воздуха и дополнительный обогрев. Отсюда наиболее распространенными способами защиты являются: укрытие пленкой, утепление грунта, дождевание (дождевальные системы), вентиляция (использование авиационных двигателей), дымление — образование дымовых завес.

Наиболее надежным способом защиты в зарубежной сельскохозяйственной (фермерской) практике считается дождевание. В ряде стран (Англия, Германия, США и др.) имеются многоцелевые дождевальные системы. Они используются для различных целей: вегетационных, противозаморозковых, удобрительных поливов, борьбы с болезнями и вредителями сельскохозяйственных культур. Возможность того или иного изменения такой системы зависит от ожидаемых условий погоды. Теоретически установлено (Р. Е. Кибардин, Е. П. Олефир, В. С. Шкреба), что мера (интенсивность) противозаморозкового дождевания (J_d мм/мин) зависит от температуры, влажности воздуха и скорости ветра (рис. 15.1).

Применительно к региональным и экономическим условиям в России используются различные способы защиты от заморозков. Комплексная схема мероприятий по борьбе с заморозками была разработана в ГГО (рис. 15.2).

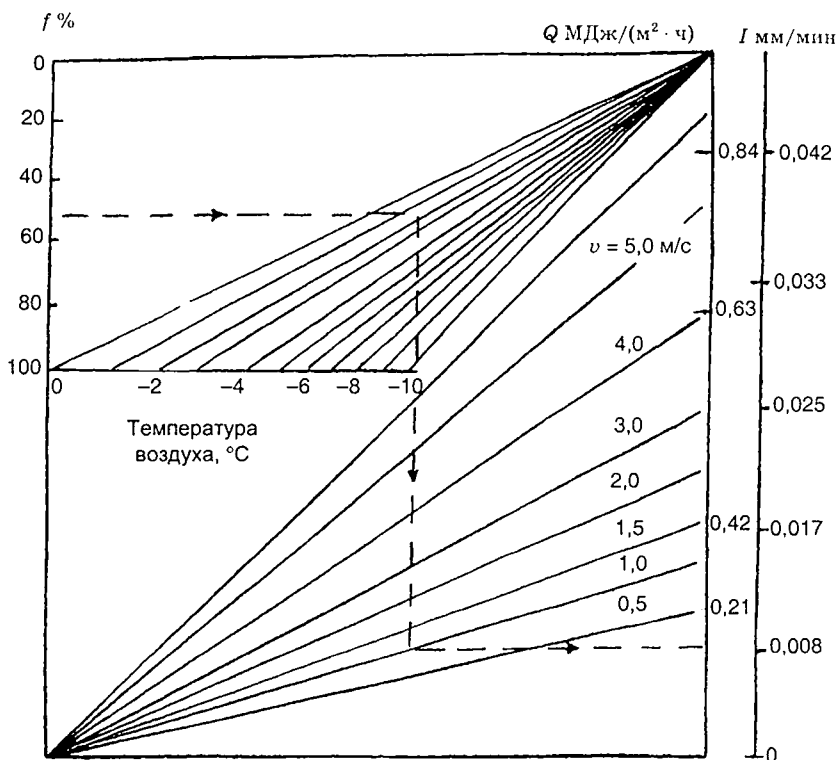


Рис. 15.1. Номограмма для определения интенсивности противозаморозкового дождя в зависимости от метеорологических условий.
 v — скорость ветра, Q — потери тепла при заморозках, I — интенсивность дождя.

15.2. Потери в сельскохозяйственном производстве по метеорологическим причинам

В экономике страны около 59 % суммарных метеорологических потерь приходится на сельское хозяйство. Из них 60 % составляют непредотвращенные потери по причине специфики сельскохозяйственного производства и слабой эффективности защитных мер. Примерно 50 % из общих суммарных потерь вызываются засухами (потери непредотвратимые). В целом удастся предотвратить 40 % потерь из их общей суммы.

На территории России прослеживается весь спектр как благоприятных, так и неблагоприятных условий погоды для сельскохозяйственного производства. Отметим одно важное обстоятельство.

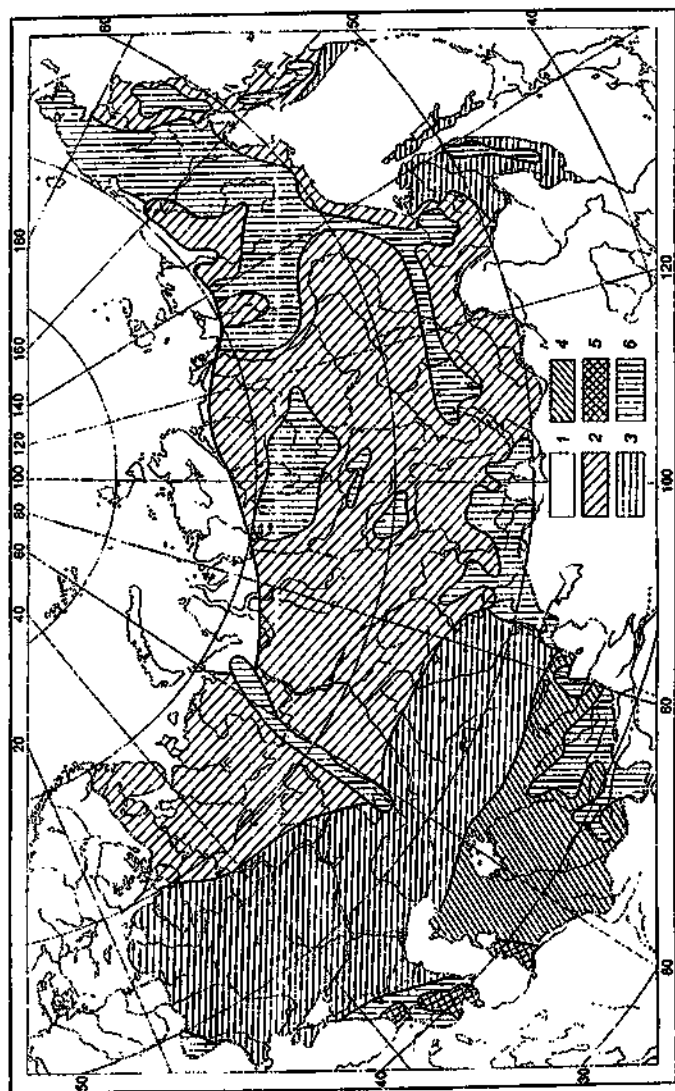


Рис. 15.2. Схематическая карта комплекса мероприятий по борьбе с заморозками в различных климатических областях России и стран СНГ.

1 — закрытый и утепленный грунт; 2 — строгий учет микроклимата, защита от холодных ветров, сея машинных морозоустойчивых сортов и сортов разной скорелелости, уборка зерновых до 1—5/IX, при летних заморозках интенсивное дымление; 3 — учет микроклимата, укрытие всходов, дымление; 4 — орошение, интенсивное дымление; 5 — для субтропических культур строгий учет микроклимата, специальная агротехника, укрытия, открытый обогрев; 6 — горные районы (характеристика не приводится).

В оперативной сельскохозяйственной практике потребитель выделяет два вида фактически наступившей погоды: опасную и благоприятную. Первый — в случае неблагоприятной погоды — требует мер защиты как при удачных прогнозах наличия, так и при ошибках-пропусках. Второй — осуществление благоприятной погоды для данного вида хозяйственной деятельности. В этом случае в соответствии с прогнозом принимаются меры, ориентированные на более эффективное использование отведенного погодного времени. В отличие от других видов производства в сельском хозяйстве реализация фактора времени диктуется жизненной необходимостью. В сущности, это фактор жизнеобеспечения населения. Здесь скрываются потери от слабой организации дела и недостаточной агротехнологии. Однако эти потери за счет метеорологического фактора условно принимаются равными нулю ($s_{22} = 0$).

Текущие условия погоды и ее многолетний режим оказывают влияние на биологическую часть природы, открытую постоянному воздействию. По причине такой специфики сельское хозяйство несет максимальные потери из всех отраслей экономики. Это наиболее слабо защищенная отрасль во всех странах мира. Значительная часть потерь в сельском хозяйстве относится к потенциально не предотвратимым ($L_{\text{нп}}$)¹.

Воздействие неблагоприятных условий погоды в России сказывается прежде всего на возделывании полей, выращивании и уборке хлебов, овощей, технических культур, фруктов, на разведении и содержании скота. По каждому району выделяется свой комплекс воздействующих, ущербных агрометеорологических условий. Так, по материалам обследования Ленинградской области, выполненного лабораторией экономических исследований ГТО, установлено, что наибольшие потери отмечаются вследствие избыточного увлажнения, заморозков и засух. Аналогичные оценки имеются по другим регионам страны. Засухи вызывают наиболее опасные масштабы потерь. Так, в 1963, 1965 и 1972 гг. недобор зерна по отношению к линии тренда составил около 25—30 млн. т, а в 1975 г. — более 50 млн. т.

Значительные убытки несет сельское хозяйство от поздних весенних и ранних осенних заморозков. Если в период весенних заморозков не принимаются необходимые меры защиты овощных культур по единичному заморозку на площади 10 га, то совхозы несут убытки на сумму в 2000 руб. (1980-е годы) или около 20 000 руб. в настоящий период (2000-е годы). По оценкам предшествующих лет (в РСФСР насчитывалось около 11 тыс. совхозов и около 13 тыс. колхозов), „пропуск” только одного заморозка (в разные периоды по разным регио-

¹ На Украине в 2002—2003 гг. из-за продолжительных морозов, последующей засухи и массового нападения саранчи погибло около 50 % урожая зерновых.

нам) обходится, без учета 5 % недобора урожая, в общую сумму около 480 млн. рублей. Конечно, это лишь приближенные оценки метеорологических потерь по причине только одного явления. Если бы использовались не методические, а инерционные прогнозы, приведенную сумму убытков следовало бы увеличить примерно в пять раз.

При понижении температуры воздуха до -2 , -3 °C погибает около 85 % цветков семечковых культур. Полная гибель возможна при температуре -3 °C продолжительностью 4—5 ч. Злаковые и бобовые культуры погибают в период цветения при температуре -2 , -3 °C, а при температуре -8 , -10 °C в период всходов.

Погодозависимый характер сельского хозяйства особенно проявляется в южных регионах России. Здесь возникают все известные опасные гидрометеорологические явления, вызывающие значительный ущерб. Так, обобщенные потери в сельском хозяйстве Северо-Кавказского региона, вызванные опасными гидрометеорологическими явлениями, за 1995—1999 гг. достигали около 12,2 млрд. руб. (табл. 15.3).

Особая роль придается метеорологическим условиям в период уборки хлебов, что связано с выбором технологии уборочных работ. В периоды повышенной влажности воздуха и почвы и склонности культур к полеганию используется отдельный способ уборки. Раздельный способ уборки используется и в тех случаях, когда невызревшим хлебам угрожают ранние осенние заморозки. С наступлением полной спелости уборку выполняют прямым комбайнированием. В зависимости от влажности зерна (в %) потери урожая при его уборке комбайном заметно меняются (рис. 15.3).

Таблица 15.3

**Ущерб от различных опасных гидрометеорологических явлений.
По А. А. Коршунову**

Вид ОЯ	Суммарный ущерб за 5 лет, тыс. руб.
Засухи	6 884 519,3
Заморозки	1 376 316,4
Сильный ветер	99 406,7
Град	813 175,6
Сильный дождь	596 979,5
Наводнения	479 100,8
Ледяная корка на поверхности почвы	443 808,2
Пыльные бури	398 296,7
Сильный снегопад	173 238,9
Σ	121 775 400,1

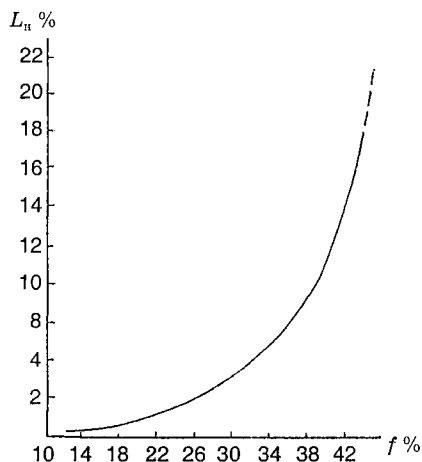


Рис. 15.3. Зависимость потерь урожая пшеницы L_n от недомолота при различной влажности зерна f .

Сложные метеорологические условия иногда складываются в климатической зоне оленеводства. Особенно тяжело переносится оледенение верхнего слоя снега. Это явление в тундре расценивается как стихийное бедствие. Возникает угроза не только бескормицы, но и массового травматизма и даже гибели животных.¹

Неблагоприятные условия погоды причиняют ущерб отгонному животноводству в горных районах Северного Кавказа, Алтая и ряде других регионов страны.

Задача развития сельскохозяйственного производства требует не только крупных капиталовложений, но и более эффективного использования современной науки.

Наряду с такими областями знаний, как агробиология, агрохимия, агротехника, селекция и другие, особая роль в получении высокого урожая и в конечном счете качественной сельскохозяйственной продукции принадлежит оптимальному учету текущей и ожидаемой погоды. Это проявляется в умении в полном соответствии с текущей погодой и особенностями климата:

- выбрать более приемлемую для данного региона, климатической зоны устойчивую к непогоде и урожайную сельскохозяйственную культуру данного вида;
- поддерживать плодородие почвы и необходимую технологию ее обработки;
- вовремя вносить достаточную подкормку, отвечающую сезонным изменениям погоды;

¹ 14 ноября 2002 г. в Ямало-Ненецком округе после мокрого снега и последующего понижения температуры воздуха образовалась ледяная корка. Сотни оленей оказались на грани гибели.

— проводить современные агротехнические мероприятия сева, посадки, обработки садовых плантаций;

— защищать (по мере экономических возможностей) сельскохозяйственные культуры от заморозков, града, полегания, болезней и вредителей;

— предотвращать потери сельскохозяйственной продукции при уборке, транспортировке и хранении.

Итак, вся сельскохозяйственная продукция той или иной урожайности есть результат не только современной агротехники, но и степени воздействия текущей погоды и характерного климата и их учета.

Все продовольственные, технические и кормовые культуры образуют национальное богатство землепользования, оказывающее определяющее влияние на устойчивое развитие общества. Вот почему важно не только практическое применение достижений агрометеорологии, но и умение взвешенно с экономической точки зрения оценивать принимаемые агрометеорологические решения, обеспечивающие максимум их полезности.

15.3. Прогнозы для сельскохозяйственного производства и их экономическая полезность

15.3.1. Агрометеорологические прогнозы

В настоящее время в нашей стране составляется несколько видов агрометеорологических прогнозов.

Дадим краткий перечень основных из них и приведем некоторые примеры оценки их экономической полезности.

Прогнозы агрометеорологических условий

1. Прогноз состояния озимых культур в период перезимовки, их состояния к началу вегетации. Позволяет заблаговременно определить площадь подсева или пересева в оптимальные сроки.

2. Прогноз запасов продуктивной влаги в почве к началу сева яровых культур. На основании данного прогноза заблаговременно определяются нормы высева и технология сева, устанавливаются дозы подкормки и решаются другие агротехнические мероприятия.

3. Прогноз теплообеспечения вегетационного периода, что позволяет выбрать скороспелые или теплолюбивые культуры.

4. Прогноз влагообеспечения на вторую половину периода вегетации используется в целях выбора весенней подкормки яровых культур.

Фенологические прогнозы

1. Прогноз оптимальных сроков начала весенних полевых работ. Для каждой почвенно-климатической зоны известны оптимальные сроки сева яровых и озимых культур. Они несколько отличаются от климатических вследствие постоянно меняющихся из года в год конкретных агрометеорологических условий.

2. Прогнозы сроков наступления основных фаз развития сельскохозяйственных культур.

3. Прогноз сроков созревания зерновых.

4. Прогноз сроков цветения плодовых насаждений.

Все агрометеорологические прогнозы, составляемые в текущем году, носят одноразовый характер, поскольку рассчитаны на относительно продолжительный отрезок времени. Соответственно принимаемое потребителем хозяйственное решение требует одноразового действия. Оценка экономической полезности агрометеорологических прогнозов отличается от той, которая используется применительно к повседневным оперативным метеорологическим прогнозам.

Успехи сельскохозяйственного производства в значительной мере зависят от правильного учета текущих и ожидаемых состояний погоды. За весь период физиологического развития растений учитывается ряд агрометеорологических и метеорологических прогнозов.

Используются следующие метеорологические прогнозы. Краткосрочные прогнозы заморозков, обложных осадков, сильного ветра, града и др. Среднесрочные прогнозы изменений температуры воздуха и осадков на 3—10 дней. Долгосрочные прогнозы засухи, суховеев, устойчивой дождливой погоды и т. п. Их экономическая полезность обусловлена защитой сельскохозяйственных культур от заморозка, высыхания почвы, продолжительных дождей и других опасных условий погоды.

15.3.2. Экономическая полезность агрометеорологических прогнозов

Для оценки экономического эффекта одиночного агрометеорологического прогноза используется формула вида

$$\Delta_a = \beta \cdot S(\Delta Y \cdot C - 3), \quad (15.3)$$

где β — коэффициент долевого участия; S — площадь, на которой достигнуто повышение урожайности, га; ΔY — прибавка урожая

благодаря внесению удобрений, поливу и другим мероприятиям, проведенным в соответствии с прогнозом, т/га; $Ц$ — закупочная цена на данную культуру, определяемая по соответствующему прейскуранту, руб/т; $З$ — затраты на проведение указанных мероприятий плюс затраты на уборку дополнительной продукции, руб/га.

Как следует из формулы (15.3), экономический эффект определяется прибавкой урожая на площади S , закупочной ценой $Ц$ и затратами $З$ на текущие мероприятия. Очевидно, что выражение (15.3) используется для оправдавшегося единичного прогноза в текущем году. В формуле не содержится сведений о стоимости разработки агрометеорологического прогноза $З_{\text{пр}}$. Предполагается, что эта величина пренебрежимо мала по сравнению с выгодой реализации данного единичного прогноза ($\Delta Y \cdot Ц - З$).

Разработаны различные модификации формулы (15.3) для оценки единичного экономического эффекта одноразового агрометеорологического прогноза. Рассмотрим некоторые из них.

1. Экономический эффект прогноза оптимального срока посева озимых. Формула, разработанная в УкрНИГМИ, записывается так:

$$\mathcal{E}_a = \beta((P_{\phi} - P_{\pi})/100)YS(Ц - З), \quad (15.4)$$

где $\beta = 0,5$; P_{ϕ} — недобор урожая за счет отклонения фактических сроков посева от оптимальных, %; P_{π} — то же при прогностических сроках посева, %; Y — средняя урожайность, т/га; $Ц$ — закупочная цена, руб/т; $З$ — затраты на посев, руб.

2. Экономический эффект прогноза перезимовки озимых.

Прогноз конечного состояния озимых позволяет выбрать оптимальные сроки их пересева. Экономический эффект определяется по формуле

$$\mathcal{E}_a = \beta N(S(Ц(Y_{\text{онт}} - Y_{\kappa}) + \Delta H) - З_{\text{пр}}), \quad (15.5)$$

где $\beta = 0,5$; $N = 1$; S — рекомендуемая площадь посева, га; $Ц$ — закупочная цена, руб/т; $Y_{\text{онт}}$ и Y_{κ} — урожайность зерновых при оптимальных и климатических сроках посева, т/га; ΔH — изменение стоимости работ при пересеве озимых при климатических и оптимальных сроках пересева, руб.; $З_{\text{пр}}$ — затраты на прогноз.

Оценка экономической полезности метеорологических прогнозов устанавливается согласно экономико-метеорологической модели, изложенной в главе 14.

3. Экономическая эффективность агрометеорологических прогнозов урожайности зерновых культур.

Согласно данным И. Г. Грушка и А. М. Фридмана, чистый доход или прибыль $D(S)$ при возделывании сельхозкультур на площади $S = S_1 + S_2 + \dots + S_N$ рассчитывается по формуле

$$D(S) = \sum_{i=1}^n Y_i (K_i - C_i) S_i, \quad (15.6)$$

где Y_i — урожайность i -й культуры, ц/га; K_i — закупочная стоимость продукции, руб/ц; C_i — затраты на производство единицы урожая, руб/ц; S_i — площадь под i -й культурой, га.

Задача сводится к тому, чтобы на основании агрометеорологического прогноза урожайности Y_i выбрать оптимальные площади посевов S'_i и получить максимально возможный чистый доход $D'(S)$, т. е.

$$D'(S) = \max [Y_{ин} (K_i - C'_i) S'_i]. \quad (15.7)$$

Здесь C'_i — ожидаемые затраты на производство 1 ц зерна (руб/ц), определяемые эмпирическим уравнением

$$C'_i = (a_i / Y_{ин}) + b_i, \quad (15.8)$$

где a_i (руб/га) и b_i (руб/ц) — постоянные величины при заданных сельскохозяйственных культурах и зонах выращивания.

Прогноз урожайности отдельных видов культур, естественно, поставит вопрос об изменении (сокращении или расширении) посевной площади S'_i . Это в свою очередь повлечет изменение урожайности $Y_{ин}$. В итоге необходимо найти такую структуру посевных площадей, которая обеспечивает максимум $D'(S)$. Разность ΔD между доходами $D'(S)$ при оптимальных посевных площадях S'_i и $D(S)$ при стандартных посевных площадях S_i без учета изменения посевной площади составляет приращение продукции — экономический эффект агрометеорологической информации.

Вопросы оптимального использования метеорологических и агрометеорологических прогнозов в сельском хозяйстве, как и в других отраслях народного хозяйства, рассматривались в главе 10. Основная роль при этом, как указывает А. П. Федосеев, принадлежит исходной матрице урожайности.

Метеорологические условия — постоянно действующий фактор, оказывающий влияние на животноводство. По степени влияния на сельскохозяйственных животных важное место занимает температура воздуха. Особенно неблагоприятно сказывается на них переохладение и перегрев. Так, при понижении температуры воздуха до

–10 °С удой молока у отдельных пород коров падает на 15 %. Наибольшее увеличение веса скота наблюдается при температуре воздуха 16—21 °С и прекращается совсем при 35 °С и выше.

До настоящего времени еще не до конца разработаны методы оценки экономической эффективности прогнозов погоды для животноводства. Однако даже грубые расчеты показывают, что специализированные прогнозы в этой отрасли сельского хозяйства способствуют правильной организации зоотехнических мероприятий, повышению рентабельности ведения животноводства, получению дополнительной продукции и снижению ее стоимости.

Для отгонно-пастбищного животноводства огромное значение имеют агрометеорологические прогнозы надземной массы травостоя. Они позволяют рассчитать кормозапас и скотоемкость на данной территории. Если известна продуктивность пастбищ хозяйства, то можно оценить складывающуюся ситуацию и принять меры, не допускающие падежа скота и снижения его продуктивности.

Долгосрочные прогнозы с перспективой на год и больше позволяют лучше организовать пастбищеобороты и выпас скота в лугопастбищном хозяйстве. Плановое использование естественной кормовой базы с учетом погодных условий является основой управления всеми процессами в пастбищном животноводстве с большой экономической эффективностью.

15.3.3. Экономическая полезность метеорологических прогнозов

Рассмотрим некоторые частные методы оценки экономической полезности метеорологических прогнозов в сельскохозяйственном производстве.

1. Экономический эффект прогноза заморозков для овощеводческих совхозов. Рассматриваются весенние заморозки в период посадки и выращивания овощных культур.

Ценность информации о весенних заморозках определяется всеми прогнозами о заморозках в весенний период, т.е. как прогнозами наличия заморозка, так и прогнозами его отсутствия. Отдельные случаи удачных и неудачных прогнозов заморозков (это касается и других прогнозов явлений и условий погоды) не дают основания для заключения в целом об экономической полезности прогноза заморозков. Все прогнозы, составленные для данного потребителя за весь заморозкоопасный период и включающие как оправдавшиеся случаи, так и не оправдавшиеся (ошибки-пропуски и ошибки-страховки), должны приниматься в расчет как обязательное условие оценки экономической полезности прогнозов.

Отработка эффективной технологии использования прогноза заморозков в сельскохозяйственном производстве возможна при наличии достаточно полной информации об их экономическом эффекте.

Рассмотрим далее методику оценки экономического эффекта прогноза весенних заморозков.

Пусть на площади S овощеводческого совхоза предполагается высадить рассаду капусты или иной овощной культуры. На 1 га обычно высаживается 50 тыс. штук рассады капусты. Стоимость выращивания 1000 штук рассады в закрытых условиях составляет C_1 , а стоимость работ по посадке на 1 га C_2 .

Общие затраты (руб/га) на посадку будут равны

$$H = C_1 + C_2. \quad (15.9)$$

Экономическая полезность прогнозов заморозков состоит в том, что такие прогнозы постоянно предотвращают потери в течение всего периода посадочных работ. Поскольку посадочная площадь в ходе работ постоянно растет, в случае заморозков будут меняться и потери овощесовхоза: от небольших в первые дни посадки до значительных в последние. Поэтому при оценке потерь необходимо исходить из средней площади посадки ($\bar{S} = 0,5S$) всего периода посадочных работ.

В тех случаях, когда прогнозами заморозков не предусматривался, но фактически наблюдался, потери будут определяться степенью повреждения рассады на площади $\bar{S}$. Минимальные повреждения (5 % площади и менее) не учитываются, а средние и максимальные потери (от 10 до 50 %) принимаются в расчет. Потери потребителя в этом случае определяются по формуле

$$s_{12} = \bar{K}H\bar{S}, \quad (15.10)$$

где $\bar{K}$ — средняя степень повреждения рассады за весь заморозкоопасный период. Принимается $\bar{K} = 0,3$.

Заморозки вынуждают вести дополнительные полевые работы, нарушают агротехнические сроки ведения работ с данным видом овощной культуры, что в итоге сказывается на продуктивности и урожайности овощных в целом. Недобор урожая S_y рекомендуется учитывать в объеме 5 %. В итоге общие потери, вызванные ошибками-пропусками, определяются следующим образом:

$$s_{12} = L = \bar{K}H\bar{S} + S_y. \quad (15.11)$$

Затраты на защитные мероприятия (дымление, обогрев, дождевание и т. п.) есть величина $s_{11} = s_{21} = C$.

Недобор урожая S_y зависит от частоты непредусмотренных заморозков (или непринятых мер защиты по факту успешных прогнозов). Следовательно, потери S_y пропорциональны условным вероятностям вида ($q' = n_{ij}/n_{i0}$). На этом основании:

$$(S_y)_m = S_y(n_{12}/n_{10}) \quad (15.12)$$

и

$$(S_y)_{nn} = S_y(n_{12}^{nn}/n_{10}). \quad (15.13)$$

Величина s_{22} будет равна нулю, так как заморозок не прогнозировался и фактически не наблюдался.

В итоге матрица потерь потребителя записывается уже установленными величинами:

$$s_{ij} = \left| \begin{array}{c|c|c} & d(\Pi) & \bar{d}(\bar{\Pi}) \\ \hline \Phi & s_{11} & s_{12} \\ \hline \bar{\Phi} & s_{21} & s_{22} \end{array} \right|_{\varepsilon=0}. \quad (15.14)$$

Заметим, что в ситуации $d(\Pi) \sim \Phi$ непредотвращенные потери вида $L_{\Pi} = \varepsilon(\bar{K}HS) = 0$, так как все возможные потери предотвращаются кардинальными мерами защиты ($\varepsilon = 0$).

В итоге матрица потерь потребителя будет определяться значениями элементов: $s_{11} = s_{21} = C$, $s_{12} = L$.

В случае применения мер защиты потери полностью исключаются.

Установив далее таблицу сопряженности прогнозов заморозков (за весь заморозкоопасный период) и выбрав в качестве базового варианта инерционные или климатологические прогнозы, находим в том и другом случае систематические потери $\bar{R}_{kj}$ и соответственно минимальные из средних потерь $\bar{R}_m$, $\bar{R}_{ин}$, $\bar{R}_{кл.1}$ и $\bar{R}_{кл.2}$, если потребитель работает в режиме доверия прогнозам.

Оценка экономического эффекта (14.13) и экономической эффективности (14.14) требует знания стоимости разработки прогностической информации $Z_{ин}$.

2. Экономический эффект прогноза заморозков для садовых культур. Потребитель располагает необходимыми кардинальными мерами защиты стоимостью $s_{11} = s_{21} = C$. Прямые потери $s_{12} = L$ определяются при следующих условиях: S — площадь садовых куль-

тур, га; $У$ — средняя урожайность, кг/га; $Ц$ — закупочная цена плодовой продукции, руб/кг; $Н$ — себестоимость плодовой продукции, включая материальные и трудовые расходы в рублях на агротехнические мероприятия, связанные с подготовкой и уходом за садами; k — коэффициент недобора урожая вследствие повреждения сада заморозками во время цветения.

Потери определяются по формуле

$$s_{12} = kSH(Ц + Н). \quad (15.15)$$

Сберсжисные материальные средства есть величина

$$\Delta \bar{R} = p_{цн} (\bar{R}_{к.л.2} - \bar{R}_{онт}). \quad (15.16)$$

Экономический эффект $\mathcal{E}$ и экономическая эффективность P определяются по известным формулам (14.13) и (14.14).

Согласно исследованиям, выполненным во ВНИИСХМ, установлена экономическая полезность некоторых видов прогнозов и рекомендаций в сельском хозяйстве (табл. 15.3).

Таблица 15.3

Сравнительная эффективность некоторых видов гидрометинформации в 1980-е годы

Вид информации	Экономический эффект	
	млн. руб. (1983 г.)	%
Прогнозы сроков сева сельскохозяйственных культур	32,0	19,3
Рекомендации по хлопководству	31,7	19,1
Предупреждения о заморозках и низких температурах	23,0	13,9
Рекомендации по картофелеводству	14,9	9,1
Прогноз состояния озимых на начало весны	13,1	7,9
Прогноз созревания кормовых, чая, овощей, сои	9,2	5,5
Прогнозы и рекомендации по травам и пастбищам	9,0	5,4
Рекомендации по уборке сельскохозяйственных культур	8,7	5,2
Рекомендации по применению минеральных удобрений	6,7	4,0

Окончание табл. 15.3

Вид информации	Экономический эффект	
	млн. руб. (1983 г.)	%
Гидрометинформация по животноводству	5,2	3,1
Прогноз запасов влаги на весну, рекомендации по поливам	4,7	2,9
Гидрометинформация по шелководству	4,5	2,7
Прогноз сроков цветения садов, виноградников	3,2	1,9
Всего	165,9	100

Глава 16

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

16.1. Энергетические системы

Энергетическая система России разделена на ряд региональных (федерального и муниципального значения) энергосистем (например, АО „Мосэнерго“, АО „Ленэнерго“, АО „Омскэнерго“ и др.). Общее руководство осуществляет РАО „ЕЭС России“. Каждая энергосистема имеет свою специфику по энергоисточникам, масштабам обеспечения промышленности и жилищно-коммунального хозяйства, автономности и другим условиям экономического характера.

Постоянно изучается влияние погодных и гидрометеорологических условий на производственную деятельность той или иной энергосистемы. Известно, что режим выработки электроэнергии, в частности, на ГЭС зависит от гидрологического режима (уровня воды в водохранилище, водозапаса, расхода воды, ледовитости, продолжительности периода ледостава и др.)

Режим потребления *электроэнергии* по отдельным экономическим районам и городам в значительной мере зависит от температуры наружного воздуха и естественной освещенности. Установлено, что изменение средней суточной температуры воздуха на 1 °С сопровождается изменением генерирующей мощности в Единой энергетической системе на 1 млн кВт (в ЕЭС бывшего СССР). Соответственно меняется и расход условного топлива¹ (или возрастает, или уменьшается на 7 тыс. т в сутки). Вместе с тем увеличение облачности до сплошной или уменьшение от сплошной до небольшой сопровождаются соответственно увеличением или уменьшением потребления электроэнергии на ЕТР примерно на 5 %, что эквивалентно 1 млн кВт.

Погода оказывает значительное влияние на транспортировку электроэнергии. Это связано с опасными гололедно-ветровыми нагрузками на линии электропередачи (провода и несущие опоры), особенно в южных и горных районах России.

На электроэнергетическую систему кроме температуры воздействуют грозы и ветер, в том числе и шквальный. Температура воздуха и скорость ветра оказывают значительное влияние на выра-

¹ За единицу *условного топлива* принимается 1 кг топлива с теплотой сгорания 7000 ккал/кг (или $7 \cdot 10^6 \cdot 4,1868 \text{ Дж/кг} = 2,9308 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг} = 29,3 \text{ МДж/кг}$).

ботку *тепловой энергии*, т. е. на работу ТЭЦ, ГРЭС (государственная районная электростанция).

Погода и сопутствующие ей опасные явления оказывают самое непосредственное влияние на объекты *нефте- и газопромыслов* во все сезоны не только в районе подключающих скважин, но и по пути транспортировки по нефте- и газопроводам.

Зимой при понижении температуры на 1 °С потребление газа коммунально-бытовыми хозяйствами возрастает на 1 %.

Прогноз температуры воздуха по территории позволяет регулировать подачу газа, т. е. своевременно перестраивать потоки природного газа по газотранспортным системам.

При резком понижении температуры воздуха нормальное газоснабжение обеспечивается за счет дополнительного отбора газа из подземных газохранилищ, перевода ряда предприятий на резервные виды топлива и перераспределения потоков газа. Своевременное перераспределение потоков газа требует прогноза температуры воздуха на двое-три суток (газ движется со скоростью 50 км/ч).

Также сильна зависимость от погоды объектов *угольной, сланцевой и торфяной промышленности*. Так, в угольных карьерах наибольшую опасность вызывают инверсии внутрикарьерной температуры, что создает загазованность карьера оксидом углерода (СО).

Нормальное функционирование каждой из перечисленных систем зависит от умелого использования гидрометеорологической информации и прогнозов погоды в особенности. Многообразие видов работ в каждой системе, их производственная специфика и постоянное осуществление работ на открытом воздухе (нефте- и газодобыча, открытые угольные разрезы, передача электроэнергии — ЛЭП и др.) требуют избирательного *специализированного метеорологического обеспечения*. Необходимая информация, полностью детализированная, предусматривается в соответствующих договорах, заключаемых между поставщиком и потребителем. Промежуточным звеном здесь выступают местные (региональные) метеоагентства УГМС. Особое значение придается прогнозам метеорологических величин и явлений погоды, необходимым для эффективного управления данным видом производства.

Энергетика использует все виды метеорологической информации (исходную, прогностическую и климатологическую)¹. Исходная информация используется для оценки текущего функционирования системы и необходимости корректив. Прогностическая — в

¹ Дополнительные сведения об используемой в энергетике гидрометеорологической информации приведены в учебном пособии Л. А. Хандожко „Метеорологическое обеспечение народного хозяйства” (Гидрометеиздат, 1981).

целях заблаговременного предотвращения потерь на основе оптимального использования прогнозов. Климатологическая (режимная) информация находит применение в решении задач планирования производства и строительства объектов. Потребителями используется климатологическая информация самого различного назначения. Это не только планирование объемов выработки энергоресурсов, но и учет нормативных метеорологических величин при создании техники, технологии, оборудования и т. п.

На основе гидрометеорологической информации служба энергетических режимов Единой энергосистемы России планирует график работ энергосистемы на каждый день, декаду, месяц и год. Для этой цели используется Бюллетень температурного режима, разрабатываемый во ВНИИГМИ—МЦД. Особое внимание уделяется оперативному метеорологическому обеспечению высоковольтной сети данного региона.

В холодный период года необходим прогноз гололедно-ветровых нагрузок, а в летний — грозовых условий погоды.

Отложение на проводах гололеда и изморози, сопровождаемое сильным ветром, может привести к обрыву проводов и поломке опор. Это необходимо учитывать в случаях выпадения мокрого снега с последующим резким понижением температуры, что может быть связано с прохождением холодного фронта.

Большое значение имеет заблаговременное предупреждение о грозах. Это позволяет заметно снизить потери путем перехода на грозовой режим работы, введения в действие предусмотренных мер защиты.

В повседневной работе по добыче и поставке нефти и газа постоянно используются прогнозы на сутки, трое суток и месяц. Прежде всего учитывается температурный режим: повышение температуры воздуха выше 30 °С, что может вызывать деформацию трубопроводов; резкие изменения температуры с переходом в зимний период через 0 °С — нарушения режимов выработки и транспортировки.

Нефтепромысел на море требует постоянного учета скорости и направления ветра, температуры воздуха и воды, а также опасных явлений — гроз, туманов.

Учет прогностической информации реализуется в виде нормативных действий, предусмотренных производственным регламентом. Все действия потребителя рассматриваются как результат оптимальных погодо-хозяйственных решений (см. гл. 12).

Предприятия горной промышленности используют прогнозы различной продолжительности (суточные, трехсуточные, период-

ные, на месяц) в целях не только оперативного снижения потерь, но и оптимального планирования производственного процесса.

Специализированное метеорологическое обеспечение позволяет более полно учитывать требования потребителей, их специфику, что отражается на количестве договоров. Так, в 1998 году количество договоров с различными отраслями энергетики и их распределение (согласно исследованиям М. В. Петровой) приведены в табл. 16.1.

Таблица 16.1

Число договоров и их средняя стоимость

Потребитель	Число договоров, %	Средняя стоимость, договора, тыс. руб.
ТЭЦ	112 (46,3)	20,0
Электроэнергетика	68 (28,1)	85,4
Транспортировка нефти и газа	32 (13,2)	24,4
Нефтегазодобыча	25 (10,2)	50,8
Угледобывающая промышленность	5 (2,2)	4,8

Практическое значение специализированного метеорологического обеспечения очевидно по характеру распределения растущих заявок (спроса) к определенным видам метеорологической информации (табл. 16.2).

Таблица 16.2

**Распределение заявок по ТЭК и видам продукции (%), 1998 г.
(согласно М. В. Петровой)**

Отрасль экономики (ТЭК)	Вид информационной продукции		
	прогнозы	текущая информация	климатическая
Гидроэлектростанции	37,6	13,2	7,2
Теплоэлектростанции	8,4	0	1,2
Атомные электростанции	1,2	0	0
Ветровые электростанции	0	0	0
Прочие электростанции	0	0	0
Газодобывающая промышленность	10,8	0	0
Нефтедобывающая промышленность	3,6	1,2	2,4
Угольная промышленность	1,2	1,2	0
Другие	6,0	2,4	2,4
ТЭК в целом	68,8	18,0	13,2

Основной объем информационной гидрометеорологической продукции поступает на гидроэлектростанции, ТЭЦ и на предприятия газодобывающей промышленности. Характеристика используемой информации в электроэнергетике и ТЭЦ приведена в приложении 6.

16.2. Оптимальное использование метеорологической информации в теплоэнергетике

16.2.1. Теплоэнергетика.

Зависимость расхода тепла от метеорологических условий.

Функция тепловых потерь

Особое место в ТЭК занимает теплоэнергетика. Значение ее в энергетическом балансе страны постоянно растет.

Система централизованного теплоснабжения состоит из трех основных компонентов: теплоисточника (ТЭЦ, ГРЭС и др.), тепловой сети и потребителей (систем отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и технологических систем). Примерно 80 % вырабатываемого тепла приходится на жилищно-коммунальный и общественный сектор, остальная часть используется в сфере материального производства.

Наиболее мощные ТЭЦ сосредоточены в Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске и других крупных промышленных центрах страны. Так, в Санкт-Петербурге тепловая мощность Северо-Западной ТЭЦ составляет 1460 Гкал/ч. Мощность современных ТЭЦ достигает 2—4 Ткал/ч.¹

В крупных городах страны постоянно растут внутренние энергетические потребности за счет роста промышленности и населения.

Теплоэнергетика в России является крупнейшим потребителем органического топлива. На его долю приходится 46 % от общего потребления всех видов топлива.

Значительная часть тепла в городах страны вырабатывается предприятиями, входящими в РАО „ЕЭС России”. Другая часть теплоснабжения приходится на организации, входящие в государственную систему ГУП ТЭК.

Масштабность проблемы теплоснабжения и огромная социальная ответственность требуют разработки *стратегии оптимального*

¹ Ткал/ч — теракалорий в час (тера = 10^{12}).

теплоснабжения в России в условиях рыночной экономики в целях перехода к экономически эффективному теплоснабжению.

Количество тепловой энергии, вырабатываемой на ТЭЦ в целях централизованного отопления, зависит от температуры наружного воздуха и скорости ветра. Чем ниже температура воздуха и выше скорость ветра, тем больше требуется количества тепла, подаваемого в теплосеть, чтобы обеспечить комфортные условия проживания и работы в коммунальных и общественных зданиях.

Наиболее полно метеорологические условия при выборе режима отопления учитываются комплексным показателем теплотерь зданий, предложенным Л. Е. Анапольской и Л. С. Гандиным. Эффективная температура записывается в виде

$$t_s = t - \delta_0 \frac{R}{R_0} [A(\gamma, v) - 1](t_n - t) + \delta_0 \varepsilon_0 RI + Rv, \quad (16.1)$$

где t — температура наружного воздуха, °C; t_n — температура воздуха внутри помещения (принимается равной 18 °C); δ_0 — относительная площадь окон; ε_0 — коэффициент пропускания солнечной радиации, падающей на остекленные части поверхности ограждения; R — термическое сопротивление ограждений; R_0 — термическое сопротивление окон; γ — коэффициент воздухопроницаемости; I — суммарная радиация; v — коэффициент, характеризующий мощность отопительной системы на единицу площади ограждения; A — функция γ и v .

Если исключить учет радиационного теплообмена, то можно получить более простое выражение для эффективной температуры:

$$t_s = t - m(A - 1)(t_n - t), \quad (16.2)$$

где $m(A - 1)$ есть функция скорости ветра (рис. 16.1).

Допускается приближенное выражение эффективной температуры как температурно-ветрового фактора режима расхода тепла:

$$t_s = t - \alpha v(t_n - t), \quad (16.3)$$

где α — коэффициент пропорциональности ($\alpha = 0,02$ с/м); v — скорость ветра, м/с.

В качестве теплоносителя используется горячая вода. Температура прямой воды t' , поступающей в систему теплоснабжения, может быть установлена в соответствии с температурным графиком

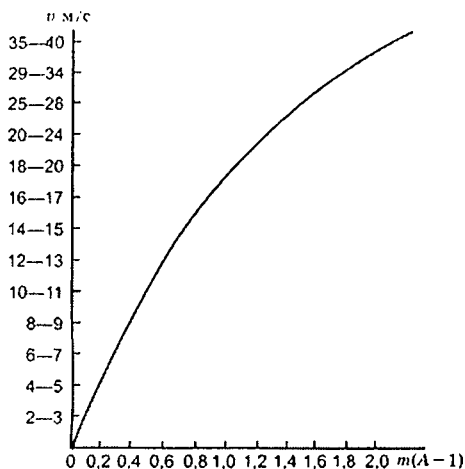


Рис. 16.1. Зависимость величины $m(A - 1)$ от скорости ветра v при $m = 0,45$, $\gamma = 0,24$ с/м, $t_n = 18^\circ\text{C}$. По Л. Е. Анапольской и Л. С. Гандину.

(рис. 16.2) в пределах $95\text{—}150^\circ\text{C}$. Температура обратной воды равна $50\text{—}70^\circ\text{C}$. Регулирование температурного режима в системе отопления зависит от ожидаемой температуры наружного воздуха t . Каждый источник теплоснабжения (ТЭЦ, ГРЭС и др.) имеет свой температурный график. Дополнительно (графически) учитывается ожидаемая скорость ветра. Режим работы теплоисточника (ТЭЦ) задается один или два раза в сутки.

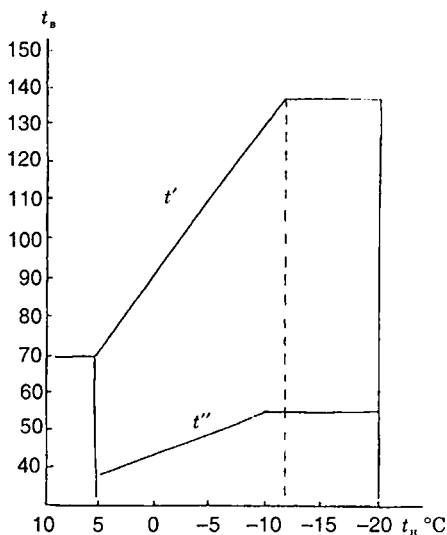


Рис. 16.2. Температурный график отпуска тепла.

Для этого используются прогнозируемая (II) среднесуточная температура воздуха ($\bar{t}_{\text{нр}}$) в данном пункте или прогнозируемая средняя температура воздуха на 12 ч.

Задача ТЭЦ заключается в том, чтобы обеспечить достаточным теплом не только ближайшие, но и окраинные жилые районы, нередко удаленные от теплоисточника на 10 км и более. При любом изменении температуры теплоноситель обеспечивает потребителей теплом в зависимости от их удаленности. Чем больше расстояние трубопроводной передачи тепла, тем больше времени требуется для его „прокачки” в теплосети. Поэтому в крупных городах, а в мегаполисах в особенности, как правило, используются прогнозы среднесуточной температуры воздуха. Наряду с этим учитываются и прогнозы ожидаемой скорости ветра.

Принципиальная основа задания теплового режима в теплосети состоит в том, что необходимое по прогнозу $t_{\text{нр}}$ количество тепла, которое фактически вырабатывается Q_{ϕ} на ТЭЦ, должно соответствовать расчетному значению тепла Q_p , точно отвечающему температуре воздуха t , осуществившейся по истечении периода прогнозирования.

Расход тепла Q_p в отопительной сети определяется в зависимости от температуры наружного воздуха $t = \bar{t}_{\phi}$:

$$Q_p = Q_p^{\tau} \frac{t_n - t}{t_n - t_p}, \quad (16.4)$$

где Q_p^{τ} — расчетная тепловая нагрузка ТЭЦ — тепловая мощность (в Гкал/ч, допускается и в МВт); t_p — расчетная температура воздуха — принимается как средняя из восьми самых холодных пятидневок за 50-летний ряд наблюдений в данном пункте.

Получаемое на ТЭЦ тепло Q_{ϕ} не является идеальной „подстройкой” к наступившей фактической температуре воздуха t . Следовательно, значения Q_{ϕ} и Q_p будут различаться.

Это объясняется рядом причин.

1. ТЭЦ слабо внедряют эффективные методы „подстройки” к оптимальному заданию теплового режима, которое должно обеспечивать минимальные тепловые и стоимостные потери.

2. Прогнозы температуры воздуха, на что ориентируется диспетчер ТЭЦ, не идеальны и могут наблюдаться заметные ошибки ($\Delta t_{\text{нр}} = t_{\text{нр}} - t_{\phi}$).

Обратим внимание еще на одно обстоятельство. В формуле (16.4) рассматриваются только входные температурные условия, определяющие задание режима тепла. Поступающее к потребителю количество тепла будет отличаться даже от Q_p по двум причинам.

1. Тепловые сети могут иметь очень большую протяженность. Так, в Санкт-Петербурге протяженность сетей составляет около 700 км, а в Москве более 2000 км. Это сказывается на обеспечении теплом периферийных зданий.

2. Тепловые сети устаревших конструкций и технологий теплозащиты несут потери тепла. Такие потери называются технологическими (ΔQ_0).

Итак, вырабатываемое на ТЭЦ количество тепла Q_ϕ согласно прогнозу, будет отличаться от необходимого Q_p на величину:

$$\Delta Q = Q_\phi - Q_p. \quad (16.5)$$

Естественно, величина ΔQ является функцией ошибки прогноза среднесуточной температуры воздуха.

При использовании прогнозов $\bar{t}_{np}$ возможны две ситуации. Будем полагать, что потребитель (ТЭЦ) постоянно доверяет прогнозам.

1. В предстоящие сутки или на 12 ч вперед ТЭЦ, согласно прогнозу, ориентируется на более низкую температуру воздуха. Задаются более высокие нагрузки на энергетические установки. В тепловую сеть подается вода с более высокой температурой. В действительности оказалось, что температура воздуха выше прогнозируемой ($\bar{t}_\phi > \bar{t}_{np}$). Ошибка прогноза составила $\Delta \bar{t}_{np} = (\bar{t}_{np} - \bar{t}_\phi) < 0$. В сеть было подано лишнее тепло. Это ситуация перерасхода тепла — *избыточное теплоснабжение*, т. е.

$$Q_{11} = \Delta Q_{11} = Q_{np} - Q_p > 0, \quad (16.6)$$

где $Q_{np} = Q_\phi$.

Последствия этой ситуации — *перерасход топлива* (газа, мазута и др.)

2. ТЭЦ, согласно прогнозу, ориентируется на более высокую температуру, а фактически была более низкая ($\bar{t}_\phi < \bar{t}_{np}$). Теплосеть получает меньше тепла, чем это было необходимо. Это ситуация недодачи тепла — *недостаточное теплоснабжение*. В этом случае

$$Q_{\text{н}} = \Delta Q_{\text{н}} = Q_{\text{нр}} - Q_{\text{р}} < 0. \quad (16.7)$$

Здесь также $Q_{\text{нр}} = Q_{\text{ф}}$.

Последствия этой ситуации более сложные. Возможны следующие потери:

- 1) материальные потери в сфере производства: недодача продукции или иные издержки вследствие недостатка тепловой энергии;
- 2) перерасход электрической энергии на обогрев в коммунальном и общественном секторе;
- 3) использование газа на обогрев с риском пожаров;
- 4) рост простудных заболеваний, потери рабочего времени.

Изменения ΔQ по своей природе носят случайный характер и могут анализироваться с позиции известных законов статистического распределения. Наиболее приемлемым здесь рассматривается *закон нормального распределения*.

Плотность вероятности отклонений $\Delta Q(Q_{\text{н}}, Q_{\text{н}})$ есть величина

$$\varphi(\Delta Q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\Delta Q}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{Q_{\text{нр}} - Q_{\text{р}}}{\sigma_{\Delta Q}} \right)^2 \right], \quad (16.8)$$

где $Q_{\text{нр}} = Q_{\text{ф}}$, $\sigma_{\Delta Q}$ — среднее квадратическое отклонение расхода тепла.

Величина отклонения $\Delta Q_{\text{нр}} = Q_{\text{нр}} - Q_{\text{р}} = Q_{\text{ф}} - Q_{\text{р}}$ находится по формуле

$$\Delta Q_{\text{нр}} = -\frac{Q_{\text{р}}^*}{t_{\text{н}} - t_{\text{р}}} \Delta t_{\text{нр}}. \quad (16.9)$$

Здесь $\Delta t_{\text{нр}} = t_{\text{нр}} - t_{\text{ф}}$ — ошибка прогнозирования.

Соответственно функции интегрального распределения можно записать так:

$$Q_{\text{н}} = \int_{\Delta Q_0}^{\Delta Q_{\text{макс}}^{\text{н}}} \Delta Q_{\text{н}} \varphi(\Delta Q_{\text{н}}) d(\Delta Q_{\text{н}}) \quad (16.10)$$

и

$$Q_{\text{н}} = \int_{\Delta Q_0}^{\Delta Q_{\text{макс}}^{\text{н}}} \Delta Q_{\text{н}} \varphi(\Delta Q_{\text{н}}) d(\Delta Q_{\text{н}}). \quad (16.11)$$

Интегрируя выражения (16.10) и (16.11) с учетом плотности вероятности и зависимости Q от ошибки прогнозирования, получим в итоге функции тепловых потерь:

$$Q_n = \frac{\sigma_{\Delta Q}}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta Q_0 + \frac{Q_p^r}{t_n - t_p} \Delta t_{np}}{\sigma_{\Delta Q}} \right)^2 \right] -$$

$$- Q_p^r \frac{\Delta t_{np}}{t_n - t_p} \left[\frac{1}{2} - \Phi \left(\frac{\Delta Q_0 + \frac{Q_p^r}{t_n - t_p} \Delta t_{np}}{\sigma_{\Delta Q}} \right) \right] \quad (16.12)$$

и

$$Q_n = \frac{\sigma_{\Delta Q}}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta Q_0 - \frac{Q_p^r}{t_n - t_p} \Delta t_{np}}{\sigma_{\Delta Q}} \right)^2 \right] +$$

$$+ Q_p^r \frac{\Delta t_{np}}{t_n - t_p} \left[\frac{1}{2} - \Phi \left(\frac{\Delta Q_0 - \frac{Q_p^r}{t_n - t_p} \Delta t_{np}}{\sigma_{\Delta Q}} \right) \right], \quad (16.13)$$

где $\Phi(t)$ — табулированная функция интеграла вероятности.

Графическое отображение формул (16.12) и (16.13) приведено на рис. 16.3.

В качестве предельной величины ошибок (Δt_{np}), разделяющей области малых и больших ошибок, принимается показатель

$$|\Delta t_{np}| = \frac{(1,5 \div 3,0) \sigma_{\Delta Q}}{Q_p^r} (t_n - t_p). \quad (16.14)$$

На интервале малых значений ошибок (Δt_{np}) (на рис. 16.3 это центральная область), т.е. при экспоненциальном распределении Q_n и Q_p , расчет их выполняется согласно промежуточным функциям вида:

$$\tilde{Q}_n = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}(\lambda + \Theta_{np})^2\right] - \Theta_{np} \left[\frac{1}{2} - \Phi(\lambda + \Theta_{np})\right] \quad (16.15)$$

и

$$\tilde{Q}_n = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}(\lambda - \Theta_{np})^2\right] + \Theta_{np} \left[\frac{1}{2} - \Phi(\lambda - \Theta_{np})\right], \quad (16.16)$$

где $\lambda = \frac{\Delta Q_0}{\sigma_{\Delta Q}}$; $\Theta_{np} = \frac{Q_p^r}{\sigma_{\Delta Q}} \frac{\Delta t_{np}}{t_n - t_p}$.

Значения $\tilde{Q}_n$ и $\tilde{Q}_n$ приведены в табл. 16.3.

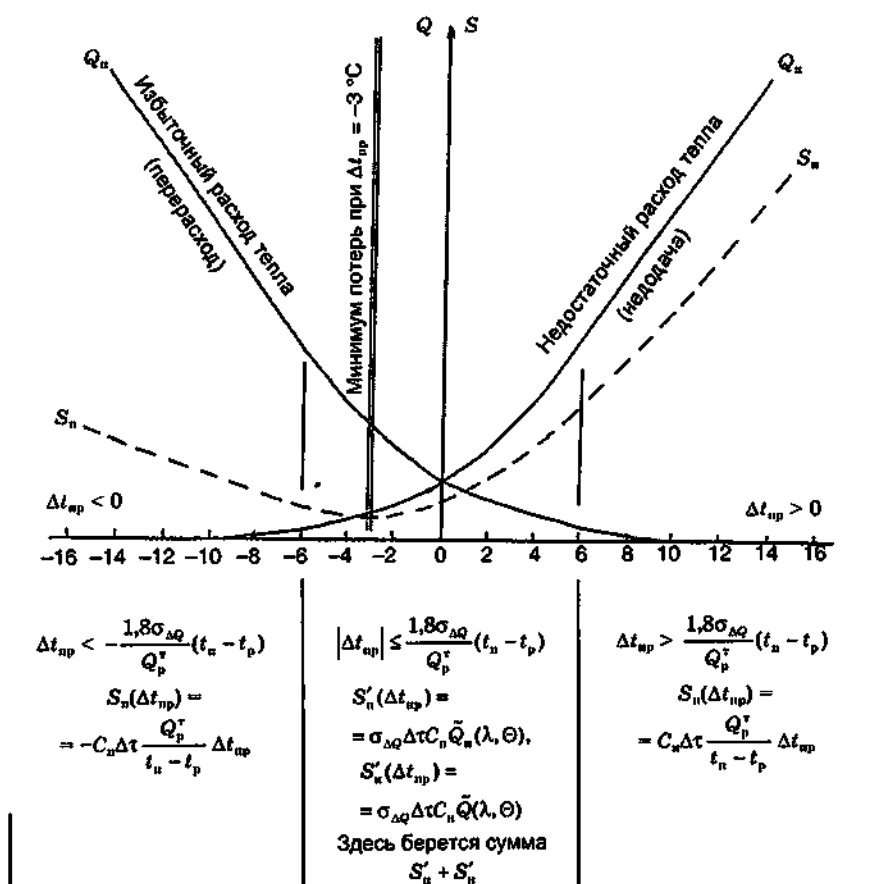


Рис. 16.3. Функции тепловых (Q_n , Q_n) и стоимостных (S_n , S_n) потерь.

Значения $\tilde{Q}_n$ и $\tilde{Q}_H$ в зависимости от относительной ошибки прогноза Θ_{np} и λ

$\tilde{Q}$	λ	Относительная ошибка прогноза Θ_{np}									
		-3	-2	-1	-0,5	0	0,5	1,0	2,0	3,0	
$\tilde{Q}_n$	0,1	3,0	2,0082	1,0820	0,6960	0,3970	0,1622	0,0822	0,0082	0	
	0,5	2,9989	1,9959	1,0436	0,6489	0,3521	0,1626	0,0627	0,0051	0	
	1,0	2,9856	1,9246	0,8989	0,5063	0,2420	0,0961	0,0312	0,0016	0	
	1,5	2,9291	1,7351	0,6606	0,3214	0,1295	0,0426	0,0113	0,0003	0	
	2,0	2,7659	1,3989	0,4007	0,1629	0,0540	0,0144	0,0030	0	0	
$\tilde{Q}_n$	0,1	0	0,0082	0,0822	0,1622	0,3970	0,6960	1,0820	2,0082	3,0	
	0,5	0	0,0051	0,0627	0,1626	0,3521	0,6489	1,0436	1,9959	2,9989	
	1,0	0	0,0016	0,0312	0,0961	0,2420	0,5063	0,8989	1,9246	2,9856	
	1,5	0	0,0003	0,0113	0,0426	0,1295	0,3214	0,6606	1,7351	2,9291	
	2,0	0	0	0,0030	0,0144	0,0540	0,1629	0,4007	1,3989	2,7659	

В случае больших ошибок (Δt_{np}), т. е. при линейном распределении Q_n и Q_n , расчет их выполняется по формулам:

$$Q_n = -\frac{Q_p^r}{t_n - t_p} \Delta t_{np} \quad (16.17)$$

и

$$Q_n = \frac{Q_p^r}{t_n - t_p} \Delta t_{np}. \quad (16.18)$$

16.2.2. Функция стоимостных потерь. Матрица потерь

При известных значениях перерасхода Q_n или недодачи Q_n тепла функция, выражающая стоимостное измерение тепловых расходов, записывается в виде

$$S(\Delta t_{np}) = \tau(C_n Q_n + C_n Q_n), \quad (16.19)$$

где τ — период, на который прогнозируется средняя температура воздуха (6, 12 или 24 ч) — период действия прогноза; C_n — стоимость выработки единицы тепловой энергии (стоимость в рублях 1 Гкал); C_n — масштаб потерь при недодаче тепла — потери на производстве, в коммунальном хозяйстве (перерасход электрической энергии и бытового газа на отопление), потери рабочего времени и другие.

Значения C_n колеблются в пределах 100÷160 рублей за 1 Гкал.

Сложность расчета C_n заменяется условием $C_n = 3 \div 5 C_n$.

Примерный расчет функции потерь $S(\Delta t_{np})$ приведен в табл. 16.4, в которой дается последовательная оценка величин Θ_{np} , $\tilde{Q}$, S и $S(\Delta t_{np})$. Анализ функции потерь показывает, что минимум потерь приходится на $\Delta t_{np} = -3$ °С. Это значение ошибки принимается в качестве *оптимизационной поправки* к ожидаемой средней температуре воздуха на заданный период. В данном примере для ТЭЦ-9 города Перми использовалась среднесуточная температура воздуха.

Дискретное выражение функции стоимостных потерь позволяет представить ее в табличном виде — отобразить матрицей потерь. По главной диагонали матрицы $d(\Pi)_j \sim \Phi_i$ выстраиваются значения $S(\Delta t_{np})$ при $\Delta t_{np} = 0$ (потребитель ориентируется на данную температуру воздуха, которая фактически наблюдалась) (табл. 16.5). Справа от главной диагонали потери $S(\Delta t_{np})$ являются результатом ис-

Расчет тепловых и стоимостных потерь для ТЭЦ-9 (Пермь, 1999—2002 гг.)

Параметр	Ошибка прогноза $\Delta t_{\text{пр}}$											
	Перерасход тепла						Недодача тепла					
	-15	-12	-9	-6	-3	0	3	6	9	12	15	
$\Theta_{\text{пр}}$	—	—	-2,34	-1,56	-0,78	0	—	—	—	—	—	
$\bar{Q}_{\text{н}}$ Гкал/ч	—	—	2,24	1,51	0,79	0,31	0,09	0,03	0	0	0	
$Q_{\text{н}}$ Гкал/ч	477,0	381,6	269,0	181,4	94,9	37,2	10,8	3,60	0	0	0	
$S_{\text{н}}$ тыс. руб.	1774,4	1419,6	1000,7	674,8	353,0	138,4	40,2	13,4	0	0	0	
$\Theta_{\text{пр}}$	—	—	—	—	—	0	0,78	1,56	2,34	—	—	
$\bar{Q}_{\text{н}}$ Гкал/ч	0	0	0	0,03	0,09	0,31	0,79	1,51	2,24	—	—	
$Q_{\text{н}}$ Гкал/ч	0	0	0	3,60	10,8	37,2	94,9	181,4	269,0	381,6	477,0	
$S_{\text{н}}$ тыс. руб.	0	0	0	40,2	120,5	415,2	1059,1	2024,4	3002,0	4258,7	5323,3	
$S(\Delta t_{\text{пр}})$ тыс. руб.	1774,4	1419,6	1000,7	715,0	473,5	553,6	1099,3	2037,8	3002,0	4258,7	5323,3	

Матрица потерь ТЭЦ-9 (тыс. руб.) (Пермь, 1999—2002 гг.)

Фактиче- ски было, Ф _i	Потребитель ориентируется на прогноз, П _j														
	-30, -28	-27, -25	-24, -22	-21, -19	-18, -16	-15, -13	-12, -10	-9, -7	-6, -4	-3, -1	0, 2	3, 5	6, 8	≥9—11	
-30, -28	553,6	1099,3	2037,8	3002,0	4258,7	5323,3									
-27, -25	473,5	553,6	1099,3	2037,8	3002,0	4258,7	5323,3								
-24, -22	715,0	473,5	553,6	1099,3	2037,8	3002,0	4258,7	5323,3							
-21, -19	1000,7	715,0	473,5	553,6	1099,3	2037,8	3002,0	4258,7	5323,3						
-18, -16	1419,6	1000,7	715,0	473,5	553,6	1099,3	2037,8	3002,0	4258,7	5323,3					
-15, -13	1774,4	1419,6	1000,7	715,0	473,5	553,6	1099,3	2037,8	3002,0	4258,7	5323,3				
-12, -10		1774,4	1419,6	1000,7	715,0	473,5	553,6	1099,3	2037,8	3002,0	4258,7	5323,3			
-9, -7			1774,4	1419,6	1000,7	715,0	473,5	553,6	1099,3	2037,8	3002,0	4258,7	5323,3		
-6, -4				1774,4	1419,6	1000,7	715,0	473,5	553,6	1099,3	2037,8	3002,0	4258,7	5323,3	
-3, -1					1774,4	1419,6	1000,7	715,0	473,5	553,6	1099,3	2037,8	3002,0	4258,7	
0, 2						1774,4	1419,6	1000,7	715,0	473,5	553,6	1099,3	2037,8	3002,0	
3, 5							1774,4	1419,6	1000,7	715,0	473,5	553,6	1099,3	2037,8	
6, 8								1774,4	1419,6	1000,7	715,0	473,5	553,6	1099,3	
≥9—11									1774,4	1419,6	1000,7	715,0	473,5	553,6	

пользования прогнозов-пропусков ($\bar{t}_\phi < \bar{t}_{\text{пр}}$). Потери, представленные слева от главной диагонали, вызваны перерасходом топлива вследствие ошибок-страховок ($\bar{t}_\phi > \bar{t}_{\text{пр}}$). Величины $S(\Delta t_{\text{пр}})$ являются положительными — потребитель (ТЭЦ) несет потери по всей области реализации прогнозов. Однако здесь принципиальное значение имеет достижение области минимальных потерь.

16.2.3. Матрица систематических потерь.

Оценка экономической полезности прогнозов температуры воздуха для ТЭЦ

В случае многофазового прогноза P_j и соответствующих действий потребителя d_k на основании формулы (11.21) устанавливается полный набор возможных систематических потерь. Матрица систематических потерь k -го порядка позволяет определить средние потери на ТЭЦ при использовании как методических ($\bar{R}_m$), так и инерционных ($\bar{R}_{\text{ин}}$) прогнозов. Тем самым устанавливается величина сбереженных материальных ценностей $\Delta \bar{R} = \bar{R}_{\text{ин}} - R_m$ и как итог — экономический эффект $\mathcal{E}$ и экономическая эффективность P прогнозов температуры воздуха. Оценка выполняется в двух вариантах: при стратегии доверия прогнозам S_m и оптимальной стратегии $S_{\text{опт}}$.

16.2.4. Оценка ресурсосбережения в теплоэнергетике

Ресурсосбережение в данной системе энергетики рассматривается как снижение расхода топлива на ТЭЦ. Это достигается в ситуациях избыточного теплоснабжения. Ошибки-страховки, содержащиеся в методических прогнозах, значительно меньше подобных ошибок при использовании текущей погоды.

Величины снижения потерь при избыточном теплоснабжении (Q_n) и штрафных расходов при недодаче тепла (Q_n) рассчитываются по формулам

$$\Delta L_n = k_1 \Delta \bar{R}_{\text{ин}}^{\text{опт}} n_n + k_3 \Delta \bar{R}_{\text{ин}}^{\text{опт}} n_n^*,$$

$$\Delta L_n = k_2 \Delta \bar{R}_{\text{ин}}^{\text{опт}}, \quad (16.20)$$

где $k_1 = \frac{n_n}{n_n + n_{\text{н}}}$, $k_2 = \frac{n_n}{n_n + n_{\text{н}}}$, $k_3 = n_n^* / n_{i=j} = 1$ (по главной диагонали в матрице сопряженности за m лет); n_n^* — число удачных прогнозов.

Количество сэкономленной тепловой энергии при известной стоимости выработки 1 Гкал составляет:

$$\Delta E_n = \frac{\Delta L_n}{C_n}. \quad (16.21)$$

Сэкономленное количество топлива определяется с учетом расхода топлива γ на выработку единицы тепловой энергии (кг у.т./Гкал). Отсюда

$$\Delta M_n = \Delta E_n \gamma. \quad (16.22)$$

При расчетах, выполняемых за ряд лет (m), экономия топлива за один отопительный сезон есть величина

$$\Delta \tilde{M}_n = \frac{1}{m} \Delta M_n. \quad (16.23)$$

Общий алгоритм расчета ресурсосбережения приведен на рис. 16.4.

16.3. Оптимальное использование метеорологической информации на других предприятиях ТЭК

Опасными явлениями погоды для электроэнергетики являются грозы, гололед и ветер (гололедно-ветровая нагрузка), налипание и замерзание мокрого снега. Защитные меры при прогнозе отложения гололеда толщиной более 5 мм включают организацию специальных бригад, оснащенных техникой для предотвращения и быстрой ликвидации аварийных ситуаций. Частью защитного комплекса является подача тока высокого напряжения на участки с наиболее опасным отложением гололеда (плавка льда). Организация и проведение подобных защитных мер являются дорогостоящим мероприятием.

Ошибки пропуска гололедных явлений приводят к большим потерям. Как отмечал А. И. Бедрицкий в одной из работ, 1 февраля 1997 г. в Республике Адыгея из-за отсутствия наблюдений в предгорных и горных районах не удалось с достаточной заблаговременностью предсказать сильные гололедные отложения и налипание мокрого снега. Энергетиками не были проведены предупредительные плавки льда на линиях электропередачи (ЛЭП). В результате было разрушено 12 опор ЛЭП, прекратилось энергоснабжение горо-

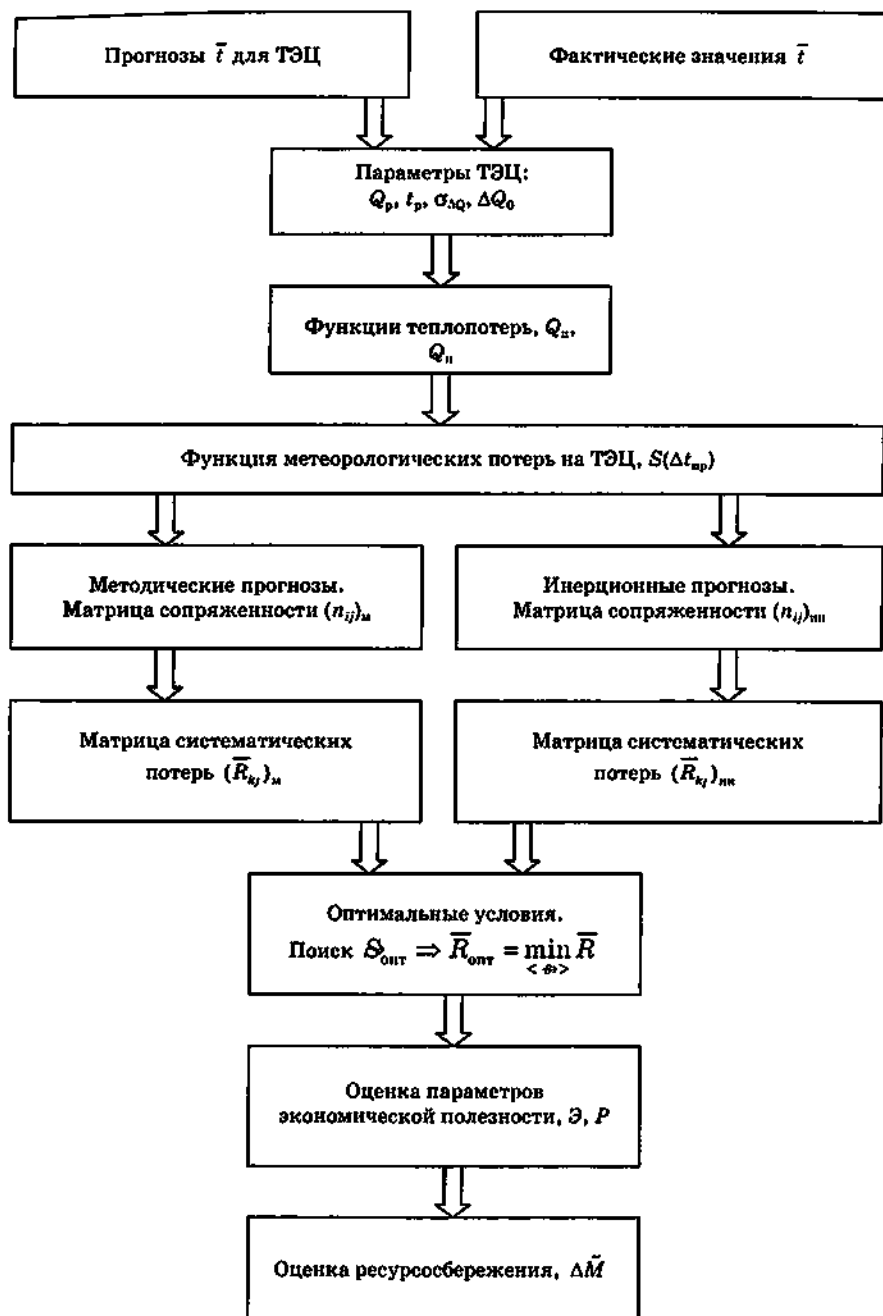


Рис. 16.4. Алгоритм расчета ресурсосбережения на ТЭЦ.

да Сочи, городское хозяйство было парализовано. Причиненный ущерб в Адыгее был оценен в 525 млрд. руб. (по оценкам до деноминации), в Сочи в 120 млрд. руб. При наличии необходимой наблюдательной сети это стихийное явление можно было спрогнозировать и избежать огромных потерь в экономике.

В случае ошибок-пропусков обнаруживаются два вида потерь, образующих общие непредотвращенные потери:

$$S_{12} = S'_{12} + S''_{12}, \quad (16.24)$$

где S'_{12} — потери непосредственно в электросистеме; S''_{12} — потери на производстве, в организациях сельского хозяйства и на ряде других объектов — потребителей электроэнергии.

Величина S''_{12} на данном объекте определяется по формуле

$$S''_{12} = W\tau a, \quad (16.25)$$

где W — количество энергии (кВт), недополученной потребителем; τ — время перерыва электроснабжения, ч; a — удельный убыток (руб/(кВт · ч)) (табл. 16.6).

Таблица 16.6

Удельный убыток (руб/(кВт · ч)) по некоторым отраслям народного хозяйства при различной длительности перерывов τ , 1980-е годы

Отрасль хозяйства	Средний ожидаемый убыток S''_{12}			
	$\tau < 20$ ч	$\tau > 20$ ч	$\tau < 3$ ч	$\tau > 3$ ч
Городское жилищно-коммунальное хозяйство	2,7	4,55		
Сельское хозяйство с учетом производственных процессов	0,8	2,2		
Сельский жилищно-коммунальный сектор	0,88	2,95		
Промышленность			0,9	0,46
Строительство			0,96	0,76
Транспорт			0,26	0,50

Устанавливается суммарное значение S''_{12} по всем объектам-потребителям.

При известной величине S_{11} — затрат на предотвращение повреждений (плавка льда, его механическое удаление) — разработка матрицы потерь по данному АО „энерго” не представляет сложности.¹

¹ В „Практикуме” [11] приведен пример по АО „Ростовэнерго”.

В теплую часть года работу электросетей лимитируют грозы. С приближением грозы сеть переводится на грозовой режим работ. Это и есть предупредительная мера, которая предусматривает ограничение электронагрузок на подстанции, перевод на более безопасный режим работы ряда приборов и механизмов и др.

Экономическая полезность прогнозов погоды устанавливается в системе добычи полезных ископаемых (уголь, нефть, газ и др.). В открытых карьерах (разрезах) могут образоваться такие метеорологические условия, при которых возникает туман, переходящий в смог с опасной концентрацией СО на глубоких горизонтах.

Простои вскрышных поездов на угольных разработках достигают 20 % календарного времени. В значительной мере они связаны с метеорологическими причинами. В случае туманов и загазованности работа в карьере останавливается полностью. Весь обслуживающий персонал поднимается „наверх”. Это чрезвычайно дорогостоящая защитная мера. Простой в работе в течение 460 ч Коркинского карьера вблизи Челябинска из-за тумана и загазованности (ноябрь 1967 г.) нанес убыток около 1,5 млн. руб. Активные защитные меры (теплотроны, реактивные двигатели и др.) пока не дают желаемых результатов.

Экономически выгодное природопользование возможно только при условии, что в хозяйственной деятельности учитываются прогнозы и гидрометеорологическая информация.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ НА ТРАНСПОРТЕ

В единую транспортную систему входят следующие виды транспорта: железнодорожный, автомобильный, морской, речной, воздушный и трубопроводный. Все виды транспорта, выполняющие транспортировку продукции, относятся к сфере материального производства.

Каждый вид транспорта отличается спецификой работы. При определении зависимости вида транспорта от условий погоды выделяют такие особенности транспорта, как скорость, грузо- или пассажировместимость, маневренность, автономность и степень обеспечения укрытием. *Скорость* транспортного объекта V (км/ч) является одним из важных свойств перемещения грузов или пассажиров.

Грузоподъемность транспортного объекта, как и пассажировместимость, определяют провозную способность: грузооборот и пассажироперевозки. Приведенные две характеристики — скорость и грузоподъемность — важнейшие свойства транспорта, определяющие товарооборот.

Мобильность транспортной системы — один из основных показателей эффективности экономики.

Маневренность (αV) транспортного объекта — способность двигаться в любом направлении. Коэффициент $\alpha = 1$ отражает максимальную маневренность (по всем 16 румбам). Такой маневренностью обладают авиация и морской флот. Для речного флота $\alpha = 2/16$, аналогичная оценка допускается и для железнодорожного транспорта, полностью „привязанного” к железнодорожным путям. Для автомобильного транспорта допускается $\alpha = 3/16$.

Автономность — способность данного вида транспорта обеспечить себя (техническое и энергетическое обеспечение) без связи с базой. Наибольшей автономностью обладает морской транспорт.

Степень *обеспечения* укрытия от опасных гидрометеорологических явлений. Максимальную степень укрытия по пути движения имеет автомобильный транспорт. Приведенные характеристики транспорта отражают его постоянную зависимость от условий погоды.

Основная задача специализированного метеорологического обеспечения транспорта состоит в том, чтобы обеспечить *безопасность, регулярность и экономичность*.

17.1. Железнодорожный транспорт

В транспортной системе страны железнодорожный транспорт занимает ведущее место. В конце XX в. на его долю приходилось более 60 % суммарного грузооборота. В 1996 г. по железной дороге было перевезено 80% материализованного продукта.

Железнодорожный транспорт — это современная разветвленная отрасль народного хозяйства, которая позволяет наиболее эффективно устанавливать связь со всеми субъектами Российской Федерации. Конечно, еще огромные территории страны на Севере, в Сибири, на Дальнем Востоке не имеют достаточно разветвленной сети железных дорог.

К основным функциям железнодорожного транспорта относятся: формирование подвижного состава — грузовых и пассажирских поездов — и перевозка по железной дороге.

На железнодорожных узлах осуществляется централизованное управление всеми службами. Основными службами являются:

- служба движения — осуществляет перевозку пассажиров и грузов;

- служба пути и сооружений — обеспечивает рабочее и надежное состояние путей и инженерных сооружений;

- служба сигнализации и связи — обеспечивает бесперебойную телефонную связь и радиосвязь на дороге, работу автоблокировки и диспетчерской централизации;

- служба электрификации — обеспечивает движение поездов на электрической тяге;

- локомотивная служба — обеспечивает перевозку с помощью электровозов и тепловозов;

- вагонная служба — обеспечивает работу вагонного парка;

- грузовая служба — обеспечивает погрузо-разгрузочные работы.

Главная задача всех служб — обеспечить безопасное и бесперебойное движение. Однако выполнение этих специфических задач каждой службой возможно только при оптимальном использовании гидрометеорологической информации.

К неблагоприятным условиям погоды для железнодорожного транспорта относятся: снегопады, метели, мокрый снег с последующим резким понижением температуры, гололед и зернистая изморозь, опасные низкие температуры (-25°C и ниже), жара (25°C и выше), приводящая к повышению температуры рельсов и их деформации, сильный ветер (≥ 15 м/с), дожди и ливни (30–50 мм и более за сутки).

Внедрение в практику железнодорожного транспорта все новых элементов автоматического и электронного оборудования только

увеличивает его зависимость от погоды, повышает чувствительность технических систем к изменениям метеорологических величин.

Прогностическая информация разрабатывается на геофизических станциях (ГФС), подчиненных Министерству транспорта. Основной информацией являются штормовые предупреждения и оперативные прогнозы о снегопадах и метелях.

Экономический эффект использования метеорологических прогнозов для данного вида транспорта достигается за счет снижения простоев, увеличения грузооборота, сохранения графика перевозок и улучшения других показателей работы.

Можно принять следующую общую схему построения матрицы потерь с учетом специфики конкретных работ на железнодорожном транспорте. Так, зимой основной прогностической информацией для железнодорожного узла будут предупреждения о снегопадах, метелях, гололедах и туманах.

Наибольшие осложнения в работе железнодорожного узла вызывают общие метели. В случае кардинальных мер защиты величины $s_{11} = s_{12}$ представляют собой средние затраты на заблаговременное введение в действие защитных мер (снегоочистительной техники, пневматических систем на стрелочных переводах). Сюда же входит и оплата обслуживания мер защиты. Прямые потери s_{21} определяются последствиями простоя железнодорожного транспорта на всех участках работ.

Разработка производственного регламента, определяющего выбор оптимального решения, основана на принципах расчета средних (байесовских) потерь $\bar{R}$. По известным матрицам потерь $\|s_{ij}\|$ и сопряженности методических и инерционных прогнозов $\|n_{ij}\|$ определяются средние потери $\bar{R}_m$ и $\bar{R}_{ин}$, что позволяет в итоге оценить экономический эффект $\mathcal{E}$ и метеорологическую эффективность P (см. формулы (14.13) и (14.14)).

17.2. Автомобильный транспорт

Наиболее сложные погодные условия для автомобильного транспорта складываются зимой и в переходные сезоны, особенно в горных регионах.

Специализированное метеорологическое обеспечение зависит от специфики работы автотранспорта. На этом основании, согласно договору, в прогнозах определяются необходимые потребителю метеорологические величины и явления погоды. Так, в горных рай-

онах, в открытых горных разрезах автотранспорту необходимы прогнозы ливневых осадков, гололеда, мокрого снега, снегопадов, туманов, схода снежных лавин.

Сложные условия работы автотранспорта складываются в крупных городах при малейших снижениях сцепных качеств дорожного покрытия. Этому способствуют дожди, гололеды, снеготаносы да к тому же при низкой видимости.

Примерный перечень критериев ОЯ приведен в табл. 17.1.

Таблица 17.1

Таблица критериев ОЯ для автотранспорта

Явление	Критерии ОЯ	Вид ущерба и защитные меры
Метель (пыльная буря)	Скорость ветра ≥ 15 м/с, видимость ≤ 200 м, продолжительность ≥ 3 ч	Простой автотранспорта. Закрытие трасс
Туман	Видимость ≤ 200 м, продолжительность ≥ 3 ч	Задержка рейсов. Закрытие трасс
Осадки (снегопады)	Количество осадков ≥ 30 мм, продолжительность ≤ 3 ч	Ухудшение видимости, задержка рейсов, расчистка трасс
Гололедные явления (гололедица)	Продолжительность ≥ 3 ч	Задержка рейсов. Посыпка дорог

Автотранспортные объединения, предприятия, коммерческие фирмы получают штормовые предупреждения и текущие суточные оперативные прогнозы. На этом основании они выбирают оптимальные погодо-хозяйственные решения, требующие упреждающих защитных мероприятий.

Экономический эффект использования прогнозов автотранспортом в пределах города устанавливается следующим образом. Снижение скорости движения автомобильного транспорта при снегопадах вызывает рост стоимости перевозки грузов. Средние потери автотранспортных предприятий (объединений или фирм, выполняющих арендные работы) от сильных снегопадов, в случае если меры защиты не принимались, определяются по формуле (12.7) (см. п. 12.2.1). Применительно к задержкам городского автотранспорта в условиях снегопада его потери приближенно определяются по формуле

$$L = 0,25F\bar{s}, \quad (17.1)$$

где F — средний объем перевозок, можно допустить равным 3000 т/ч (1980-е годы); $\tilde{s}$ — средняя себестоимость перевозок, равная примерно 300 руб/(т · км) (2000-е годы).

Отсюда

$$L = s_{12} = 225\,000 \text{ руб}/(\text{км} \cdot \text{ч}). \quad (17.2)$$

Стоимость защитных мер $s_{11} = s_{21} = C$ устанавливается исходя из затрат на расчистку дорог снегоочистительной техникой. Работа снегоочистительной машины в течение 1 ч обходится примерно в 300÷500 руб. Для очистки 100 км дорог по нормативам необходимо 6—10 машин. Тогда величина s_{11} (стоимость уборки 1 км за 1 ч) составит

$$s_{11} = \frac{300 \cdot 6}{100} = 18 \text{ руб}/(\text{км} \cdot \text{ч}). \quad (17.3)$$

Отсюда примерная матрица потерь, обусловленная приведенными данными, будет иметь вид

$$s_{ij} = \begin{pmatrix} d(n) & d(\Pi) \\ \Phi & 0,018 & 225 \\ \bar{\Phi} & 0,018 & 0 \end{pmatrix} \frac{\text{тыс. руб}/(\text{км} \cdot \text{ч})}{\text{Прогноз}}. \quad (17.4)$$

По известной матрице сопряженности методических прогнозов снегопадов и метелей и аналогичной матрице сопряженности инерционных прогнозов определяются все необходимые показатели экономической полезности (см. гл. 14).

17.3. Морской и речной транспорт

Специализированное гидрометеорологическое обеспечение охватывает все морские организации: морской транспорт (торговые суда различного назначения); морские порты, рыболовный флот; нефтепромысел в зоне шельфа и в открытом море и другие морские операции и работы.

Основная информационная продукция для всех морских организаций — прогнозы состояния водной поверхности и условий погоды. Главные составляющие прогноза: волнение, ветер, видимость, а в холодную часть года — ледовые условия.

Руководство морскими объектами (суда, порты, причальные линии), как и организации в целом (объединения, фирмы и т. п.), вырабатывает как оперативные, так и стратегические решения с обязательным учетом прогнозов разной продолжительности. Экономическая полезность использования прогнозов будет различна для разных видов морских и речных работ. Как и любая другая отрасль народного хозяйства, морские и речные организации несут потери, вызванные опасными и неблагоприятными гидрометеорологическими условиями. Знания максимально возможных (L), предотвращенных (L_n) и непредотвращенных ($L_{\text{н}}$) потерь позволяют использовать известный алгоритм оценки показателей экономической полезности гидрометеорологических прогнозов в этой области экономики.

Обратимся далее к сведениям о потерях в различных морских организациях.

Морские порты как стационарные объекты испытывают нарастающую агрессивность гидрометеорологических условий. В зависимости от региона все больше увеличивается концентрация опасных гидрометеорологических процессов. А это в свою очередь требует более строгих расчетов и детализации ожидаемой погоды на сутки и на 3—7 дней.

Анализ данных, поступающих в Росгидромет, показывает, что все еще сохраняется значительная доля непредотвращенных потерь в организациях морского флота за счет недостаточного учета океанологической и гидрометеорологической информации. Эта величина ($L_{\text{н}}$) достигает 68 % от максимально возможных потерь. Только около 20 % потерь удастся предотвратить (рис. 17.1). По ряду портов России прямые потери, связанные с сильным ветром и волнением (при $V_{\text{шт}} \geq 15$ м/с), представлены в табл. 17.2.

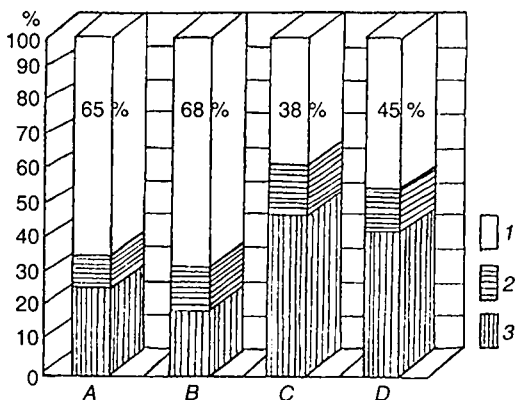


Рис. 17.1. Потери в различных отраслях экономики.

По А. И. Бедрицкому.

1 — непредотвратимые убытки, 2 — потенциально предотвратимые убытки, 3 — убытки, которые удастся предотвратить. А — сельское хозяйство, В — морской флот, С — строительство, D — авиация.

Максимальные потери (тыс. руб./случай) в морских портах при сильном ветре и отсутствии мер защиты

Морской порт	Потери $L = L_{\text{макс}}$	Год
Амдерма	210,5	1985
Владивосток	35÷50	1990
Камчатское рыбопромышленное объединение (холодное полугодие)	168,5	1980
Санкт-Петербург (холодное полугодие)	165,0	1988
Санкт-Петербург, Финский залив (суда на подводных крыльях)	81,0	1983

Примечание. Приближенная переоценка стоимостных потерь на 2000-е годы осуществляется посредством умножения на коэффициент $a = 10$.

В некоторых портах России довольно часто отмечаются такие особо опасные явления, как штормовые ветры. В Мурманском порту — ураганный ветер со снежными зарядами и сильным волнением на акватории залива; в Певеке — местный сильный ветер „южак”; в Новороссийске — разрушительной силы местный ветер — „бора”, вызывающий опасную высоту волн в Цемесской бухте и обледенение судов, находящихся в порту.

В портах примерно 50 % рабочего времени отводится так называемому стояночному времени, причем около 30 % времени простоя обусловлено неблагоприятными гидрометеорологическими условиями. Согласно разработкам ЦНИИМФ, себестоимость содержания судов в портах вследствие только простоя по причине плохой видимости или сильного ветра определяется по формуле

$$R = \bar{C} \tau p m, \quad (17.5)$$

где $\bar{C}$ — средняя стоимость судодуток из-за простоя судов во время сильного ветра (ОЯ) или тумана в порту, а также на ближайших обширных участках маршрута следования (тыс. руб./сут); τ — продолжительность неблагоприятных гидрометеорологических условий; p — вероятность тумана, сильного ветра или иных неблагоприятных условий погоды; m — количество судов, находящихся в порту.

Такие потери, в сущности, отражают стоимость мер защиты ($s_{11} = C$). Матрица потерь для судов, простаивающих после загрузки вследствие опасных гидрометеорологических условий, представля-

ет собой следующее. Простой судна есть мера защиты ($s_{11} = s_{21} = C$). Пренебрежение мерами защиты грозит судну в открытом море в условиях шторма прямыми потерями ($L = L_{\text{рем}}$ (макс)) — стоимостью затрат на ремонт.

В период простоя во время опасных штормовых условий судно несет потери дохода $G(t)$, пропорциональные времени простоя t .

При разработке матрицы потерь (второго порядка) для конкретной морской организации или определенного вида морских операций, работ необходимо установить известные ее составляющие:

$$s_{12} = L, \quad s_{12}(1 - \varepsilon) = L_{\text{н}} \quad \text{и} \quad \varepsilon s_{12} = L_{\text{н}}.$$

В итоге, следуя приведенным допущениям, матрица потерь принимает вид

$$s_{ij} = \left(\begin{array}{c|c|c} & d(\Pi) & d(\overline{\Pi}) \\ \hline \Phi & s_{11} = C - \text{защитная мера,} \\ & \text{стоимость простоя; } \varepsilon G(t), \varepsilon L & s_{12} = L_{\text{рем}}(\text{макс}) + G(t) \\ \hline \overline{\Phi} & s_{21} = C - \text{стоимость напрасно} \\ & \text{принятых мер защиты; } \varepsilon G(t') & s_{22} = 0 \end{array} \right) \quad (17.6)$$

В матрице (17.6) величины $G(t)$ и $G(t')$ отражают издержки, вызванные потерей дохода за различные периоды простоя t и t' , причем $t > t'$.

Потери, которые несут суда в порту в период погрузо-разгрузочных работ из-за опасно высоких скоростей ветра, связаны с простоем погрузо-разгрузочных механизмов, остановкой работ по доставке грузов и проведением мероприятий по обеспечению безопасности в порту. Матрица потерь при этом имеет достаточно простое выражение вида

$$\begin{pmatrix} C + \varepsilon L & L \\ C & 0 \end{pmatrix}.$$

Значительные потери несут суда при транспортировке грузов в открытой части моря. Ураганные ветры и опасная высота волн, достигающая 10 м и более — причины потери скорости, управляемости и остойчивости судов. В этом случае судам сообщаются рекомендации, по какому направлению выходить из области штормового циклона. Зона штормового волнения зависит от стадии развития циклона (табл. 17.3).

Высота волн в зависимости от стадии развития циклона

Стадия развития циклона	Высота волн, м	Размер зоны штормового волнения, мили
Стадия волны	3—4	300 × 200
Молодой циклон	5—7	500 × 350
Развитой циклон (с максимальными градиентами давления)	8—12	1000 × 700
Окклюдированный циклон	4—5	2000 × 700

Потери по гидрометеорологическим причинам могут исчисляться, например, стоимостью ремонта судов. Средняя стоимость ремонта крупнотоннажного судна составляет примерно 5 % его текущей стоимости.

Согласно А. Г. Морозовой, средние многолетние потери (потери ходового времени), вызванные туманом на трассах, составляют около 2 % общего ходового времени. Так, суммарный ущерб судов Балтийского пароходства (1970—1980-е годы) по причине ограничения видимости составлял около 350 тыс. руб. в год.

Аналогичные издержки несут ледокольные и транспортные суда на трассах Северного морского пути, в зонах устьевых портов Арктики, особенно в суровые зимы.

Ряд прогностических подразделений России осуществляет проводку судов через Северную Атлантику, в Тихоокеанском регионе, на других акваториях Мирового океана. Прогноз оптимального пути следования судов корректируется каждые несколько часов в зависимости от сложности синоптической и гидросиноптической ситуации.

В основу численного метода расчета оптимального пути следования положены уравнения движения судна с учетом волнения и течения:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= V \sin \Psi + V_{\tau} \sin \Psi_{\tau} \\ \frac{dy}{dt} &= V \cos \Psi + V_{\tau} \cos \Psi_{\tau} \end{aligned} \right\}, \quad (17.7)$$

где x, y — декартовы координаты; t — время; V — скорость судна; V_{τ} — скорость течения; Ψ — направление движения судна; Ψ_{τ} — направление течения.

На определенном отрезке времени δt от начала выхода в открытое море рассчитывается несколько маршрутов (рис. 17.2). Выбирается оптимальный маршрут, на котором обеспечивается переход за время δt наибольшей части пути. Аналогичные операции выполняются на последующих отрезках времени. Устанавливается маршрут, на котором минимизируется время перехода, осуществляется постоянная корректировка маршрута на основании фактической, прогностической метеорологической и океанологической информации. Суда постоянно выполняют рекомендации, поступающие из прогностических центров. Этим определяется и безопасность, и экономичность пути следования. В качестве меры эффекта следования по оптимальному пути принимается величина

$$g_{i0}(w) = \tau_i - \tau_0, \quad (17.8)$$

где τ_i — время, затраченное на переход по стандартному пути следования (климатический путь, ортодромия — кратчайшее расстояние по дуге большого круга); τ_0 — время, затраченное на переход по оптимальному пути следования; w — мера перевода затраченного времени в денежное измерение.

В итоге экономический эффект выбора оптимальных путей следования за счет гидрометеорологических прогнозов определяется следующим образом:

$$\Xi = \beta N \{[(\tau_i - \tau_0) + g_{i0}] - \Xi_{\text{ин}}\}, \quad (17.9)$$

где $\beta = \bar{\beta} = 0,3$; N — общее число проводок; g_{i0} — единичный дополнительный доход при выполнении одного оптимального пути следования (тыс. руб.); $\tau_i - \tau_0$ — выражается в судо-сутках (тыс. руб.); $\Xi_{\text{ин}}$ — затраты на разработку прогностическим подразделением оптимального пути следования, выполненную численно на ЭВМ.

В практике морских операций в арктических портах используются так называемые ледовые причалы. Некоторые из них в течение зимы образуются естественным путем вдоль береговой черты,



Рис. 17.2. Схема построения оптимального маршрута судна.

другие — это искусственно намороженные до дна льдины длиной сотни метров и поверху отсыпанные грунтом. Такие ледовые сооружения позволяют пришвартоваться крупнотоннажным судам. Это сокращает время обработки судов — исключается потеря на перевалку грузов с судов на площадки, а затем на берег. Экономический эффект при таком использовании гидрометеорологических условий значительный. Подобные гидротехнические сооружения из льда практикуются в отдаленных пунктах арктического побережья, в Магадане и в других районах на северо-востоке страны. Затраченные сотни тысяч рублей на сооружение ледового причала многократно окупаются за одну навигацию.

Речной транспорт типа река — море охватывает основные водные магистрали, обеспечивает массовую перевозку грузов: полезных ископаемых, оборудования различного назначения, зерна и иной продукции и продуктов. Десятки крупных речных портов страны, как и суда, осуществляющие маршрутные перевозки, получают специализированное гидрометеорологическое обеспечение, которое подлежит оценке экономической полезности.

Здесь используется основной подход, приведенный в главе 14. Основная задача многих потребителей сводится прежде всего к разработке матриц потерь. Причем разработка их относится и к метеорологическим, и к гидрологическим прогнозам. Специфика производственной деятельности и нормативные пороговые гидрометеорологические условия позволяют установить элементы матрицы потерь.

В портах, расположенных в устьях северных рек, в зимне-весенний период навигации практикуется такая важная операция, как околка льда. Этот вид работ осуществляется ледоколами или мощными буксирами при *выносном ветре*. Прогноз его позволяет произвести сброс льда в море, что обеспечивает последующую нормальную работу порта. Без сброса льда работу по проводке судов осуществляют m буксиров со стоимостью судодуток, равной C . После сброса льда проводку судов могут выполнить m' буксиров меньшей мощности со стоимостью судодуток, равной C' . Экономия средств буксировки судов составит

$$G_6 = Cm - C'm'. \quad (17.10)$$

Экономия на транспортном флоте определяется сокращением времени погрузо-разгрузочных операций и других видов обработки судов.

Прогнозы погоды широко используются для судов пассажирского речного транспорта.

Например, разрабатываются прогнозы скорости ветра для судов на подводных крыльях типа „Метеор”, курсирующих в восточной части Финского залива на маршрутах Санкт-Петербург — Кронштадт, Санкт-Петербург — Петродворец и других направлениях.

Матрица потерь разрабатывается согласно следующим условиям.

1. Суточное содержание судна типа „Метеор” s (руб/судо-сутки) и суточные коммерческие издержки s' (руб/ч) при условии неблагоприятной погоды ($\Pi \sim \Phi$) и простоя судна. Продолжительность работы судна в течение суток τ ($\tau \leq 12$ ч). Отсюда общие оправданные затраты на меры защиты n судов будут исчисляться величиной

$$s_{11} = n(\tau s + 12s'). \quad (17.11)$$

2. В случае ошибки-страховки ($\Pi \sim \bar{\Phi}$) потребитель теряет за счет простоя не более 25 %. Следовательно,

$$s_{21} = 0,25s_{11}. \quad (17.12)$$

3. Величина s_{12} определяется через стоимость самого судна. Так, стоимость судна типа „Метеор” в 1983 г., согласно данным Северо-Западного речного пароходства, составила 400 тыс. руб. Максимальные потери s_{12} допускаются в виде 20 % стоимости судна.

В зависимости от специфики работ на реках и озерах разработка матрицы потерь может включать иные статьи расходов и потерь.

17.4. Гражданская авиация

Оценка экономического эффекта авиационных прогнозов выполняется по формуле

$$\mathcal{E} = \beta[K(\bar{R}_{\text{ин}}^* - \bar{R}_{\text{м}}^*) - \mathcal{Z}_{\text{ин}}N], \quad (17.13)$$

где $\beta = 0,3$; K — число обслуженных воздушных судов данного типа за выбранный для оценки период времени; $\bar{R}_{\text{ин}}^*$ — средние потери потребителя с учетом получаемой выгоды при использовании инерционных прогнозов; $\bar{R}_{\text{м}}^*$ — средние потери потребителя с учетом выгоды при использовании оперативных методических прогнозов; N — общее число прогнозов; $\mathcal{Z}_{\text{ин}}$ — стоимость единицы прогностической информации.

Средние потери с учетом уточнения байесовского подхода определяются следующим образом:

$$\bar{R}_m^* = \frac{1}{n_{01} + n_{12}} [n_{11}^* (s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon)) + n_{21}^* s_{21} + n_{12}^* s_{12}] \quad (17.14)$$

и

$$\bar{R}_{ин}^* = \frac{1}{n_{01}^{ин} + n_{12}^{ин}} [(n_{11}^*)_{ин} (s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon)) + (n_{21}^*)_{ин} s_{21} + (n_{12}^*)_{ин} s_{12}], \quad (17.15)$$

где n_{11}^* и $(n_{11}^*)_{ин}$ — число правильных (оправданных) задержек рейсов соответственно при методических и инерционных прогнозах; n_{21}^* и $(n_{21}^*)_{ин}$ — число ошибочных (неоправданных) задержек рейсов соответственно при методических и инерционных прогнозах; n_{12}^* и $(n_{12}^*)_{ин}$ — число возвратов самолетов при использовании соответственно методических и инерционных прогнозов.

В приведенных формулах (17.14) и (17.15) величина s_{11} есть *простой самолета*, отражающий *потерю дохода*. В то же время это вынужденная мера, позволившая предотвратить возврат s_{12} . Такая мера защиты является кардинальной ($\varepsilon = 0$). Поэтому первая составляющая в формулах (17.14) и (17.15) может оказаться отрицательной, что указывает на выгоду реализации оправданных задержек.

Иначе величина $n_{11}^* (s_{11} - s_{12}) < 0$ есть отрицательные потери или выгода простая, задержки рейса.

Если бы потребитель (ГА) использовал инерционные прогнозы, то число оправданных и неоправданных задержек и число возвратов самолетов определялось бы достаточно просто:

$$(n_{11}^*)_{ин} = n_{11}^* \frac{n_{11}^{ин}}{n_{11}}, \quad (17.16)$$

$$(n_{21}^*)_{ин} = n_{21}^* \frac{n_{21}^{ин}}{n_{21}}, \quad (17.17)$$

$$(n_{12}^*)_{ин} = n_{12}^* \frac{n_{12}^{ин}}{n_{12}}. \quad (17.18)$$

В тех случаях, когда по прогнозу ожидается благоприятная погода по маршруту полета ($\bar{П}$) и она действительно наблюдалась ($\bar{\Phi}$), рейсы выполняются по расписанию с известной единичной вы-

годой, равной a_{22} . Средняя выгода по всему числу таких рейсов n_{22}^* , отнесенная на один прогноз, будет равна

$$\bar{G}_m = \frac{1}{n_{22}} a_{22} n_{22}^*, \quad (17.19)$$

$$\bar{G}_{nn} = \frac{1}{n_{22}^{nn}} a_{22} n_{22}^* \frac{n_{22}^{nn}}{n_{22}}. \quad (17.20)$$

Отсюда разность вида $\bar{R}_{nn}^* - \bar{R}_m^*$ можно записать иначе:

$$\begin{aligned} \bar{R}_{nn}^* - \bar{R}_m^* &= (\bar{R}_{nn} - \bar{G}_{nn}) - (\bar{R}_m - \bar{G}_m) = \frac{1}{n_{01} + n_{12}} [(s_{11} - s_{12}) \times \\ &\times (n_{11}^* - (n_{11}^*)_{nn}) + s_{21} ((n_{21}^*)_{nn} - n_{21}^*) + s_{12} ((n_{12}^*)_{nn} - n_{12}^*)] + \\ &+ \frac{1}{n_{22}} [a_{22} (n_{22}^* - (n_{22}^*)_{nn})]. \end{aligned} \quad (17.21)$$

Первая квадратная скобка в (17.21) характеризует уменьшение потерь $\Delta \bar{R}^*$, а вторая — приращение выгоды ΔG . Сумма их есть сэкономленные материальные средства за счет использования авиационных прогнозов.

В итоге формулу (17.13) можно записать так:

$$\mathcal{E} = \beta [K (\Delta \bar{R}^* + \Delta G) - \mathcal{Z}_{nn} N]. \quad (17.22)$$

Наряду с этим рассчитывается экономическая эффективность P . Образование ряда авиакомпаний потребует дополнительной прогностической информации по новым авиатрассам.¹

¹ Дополнительные пояснения, статистика экономических характеристик эксплуатации ВС ГА и примеры расчета показателей $\mathcal{E}$, P приведены в учебных пособиях Л. А. Хандожко „Практикум по экономике гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства” и О. Г. Богаткина, Г. Г. Тараканова „Учебный авиационный метеорологический атлас” (Л.: Гидрометеиздат, 1990).

Глава 18

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ПОЛЕЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

18.1. Климатическая информация в теории и практике строительства

В практике современного строительства большое, а нередко и определяющее значение придается учету климатической информации. Уже на стадии проектирования выбираются такие климатические показатели, которые отвечают особенностям строительного объекта и обслуживающих его инженерных систем, несут информацию об его потенциальной надежности и вместе с тем раскрывают ожидаемые затраты. Так, определяя величину метеорологических нагрузок (ветровых, снеговых, тепловых и др.) на различные сооружения или части объекта, проектировщик решает задачу комплексной оптимизации затрат — не допустить чрезмерного обеспечения прочности и опасного предела экономии.

Дадим краткую характеристику строительства и приведем некоторые климатические показатели, используемые в строительстве.

Современная строительная индустрия охватывает широкий спектр строительных объектов. Постоянно возводятся и реконструируются жилые здания, строятся промышленные, производственные и сельскохозяйственные объекты, морские порты, аэропорты; ведется дорожное строительство, а также в области добычи и транспортировки полезных ископаемых.

Современная строительная индустрия широко использует теоретические основы возведения зданий, высотных сооружений и многих других объектов. Методы расчета строительных объектов включают знания математики, механики и науки о сопротивлении материалов, что в целом содержится в *строительной механике*. Это наука о принципах и методах расчета сооружений на прочность, жесткость, *устойчивость и колебания*. Физические процессы и явления, связанные со строительством и эксплуатацией зданий, рассматриваются методами инженерных расчетов, которые являются предметом *строительной физики*. Ее самостоятельным разделом является *строительная климатология*. Это область научных знаний, где изучается совместное влияние температуры воздуха, ветра, осадков и других метеорологических величин и явлений погоды на весь комплекс строительных объектов в различных климатических зонах.

В процессе разработки строительных проектов и непосредственно строительных работ решается ряд задач, в которых обязательным условием является *учет климатической информации*.

К числу таких задач относятся: объемы строительных работ, выбор ограждающих конструкций, прочность и устойчивость зданий и сооружений (их воздухопроницаемость и теплоустойчивость), долговечность строительных объектов и материалов. Все они решаются с привлечением климатической информации в целом и нормативных характеристик в частности.

Можно выделить два вида климатических показателей, которые используются при решении тех или иных задач в строительстве. Первый содержит такие статистические характеристики распределения метеорологических величин, как среднее $\bar{x}$, среднее квадратическое (основное отклонение) δ , коэффициент асимметрии l , эксцесс γ , теоретическое распределение метеорологической величины f .

Наиболее важной климатической составляющей является температура воздуха.

Ко второму виду климатических показателей относятся комплексные показатели, такие как эффективная температура t_e , расчетная температура t_p , суровость погоды по Бодману, Арнольди, Осокину. Ряд других показателей приведен в приложении 7.

Климатические показатели первого и второго вида сведены в *климатические нормативы*, которые представляют собой *допустимые* значения показателя для выполнения определенных проектных и технических расчетов строительных операций. Климатические нормативы, используемые в расчетах, называются *климатическими параметрами*. Наряду с техническими они включены в СНиП.

Строительство как научно-индустриальный процесс предусматривает поэтапное решение строительных задач с учетом климатических нормативов, а в более широком прикладном значении — климатической информации. Она в обязательном порядке учитывается при разработке строительных и отделочных материалов, которые выбираются еще до возведения зданий, сооружений. К ним относятся панельные конструкции, бетон, заполнители на основе пластмасс, теплоизоляционные материалы, облицовочные плиты и многое другое.

Климатическая информация используется при решении задач эксплуатации строительных и дорожных машин (экскаваторов, погрузчиков, путевых машин для укладки рельсов, буровых машин, подъемно-транспортных, кранов и др.), что отражено в нормативных правилах их эксплуатации.

В строительном проектировании используется свыше 600 показателей. Около 140 из них содержатся в издаваемых Гидрометслужбой справочниках и 40 — в строительных нормативах.

Рассмотрим некоторые климатические показатели, используемые в строительстве.

1. Глубина промерзания грунта

$$h = C\sqrt{\sum|t| + 2}, \quad (18.1)$$

где C — коэффициент, зависящий от вида почвы, $\sum|t|$ — абсолютное значение суммы отрицательных температур.

На основании показателя h выполнено районирование промерзания грунта на ЕТР, что позволяет *более экономно* выполнить „нулевой” этап строительных работ.

Расчетная глубина сезонного промерзания грунта у фундаментов определяется по формуле

$$h_{\text{ф}} = m_{\text{т}}h, \quad (18.2)$$

где $m_{\text{т}}$ — коэффициент, учитывающий влияние теплового режима здания на глубину промерзания грунта у фундамента и более точно определяемый для однородных физико-географических условий.

При проектировании и строительстве трубопроводов необходимо знать максимальную глубину промерзания почвы. Особое внимание уделяется северным регионам, где большую часть года почва покрыта снегом.

Наблюдения за температурой почвы на разных глубинах позволяют установить:

1) средние характеристики температурного режима на разных глубинах;

2) вероятностные значения средней месячной температуры почвы на глубинах;

3) среднюю глубину проникновения температуры, равной 0°C , в почву и др.

2. При расчете ограждающих конструкций учитывается величина теплопотерь (в ккал) в единицу времени через единицу площади ограждения

$$\theta = \lambda(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \quad (18.3)$$

где $t_{\text{в}}$ и $t_{\text{н}}$ — соответственно температура воздуха внутри помещения и снаружи, λ — коэффициент теплопроводности.

При оценках теплового режима зданий и затрат тепла на отопление используется расчетная температура наружного воздуха t_p . Это средняя температура холодных пятидневок из 16 % зим. Величину t_p определяют из восьми наиболее холодных зим (согласно К. Ф. Фокину).

Климатический показатель t_p можно рассчитать по формуле В. М. Чаплина

$$t_p = 0,4t_{cx} + 0,6t_{ам}, \quad (18.4)$$

где t_{cx} — температура воздуха в данном пункте за самый холодный период, $t_{ам}$ — абсолютный минимум температуры воздуха.

Учет температурного режима и теплофизических свойств ограждающих конструкций позволяет получить оценку оптимального расхода тепла на отопление с учетом потерь на вентиляцию.

3. Ветровая нагрузка — давление ветра, или скоростной напор, определяется на основании закона кинетической энергии

$$q = \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{\rho v^2}{2g}, \quad (18.5)$$

где ρ — плотность воздуха, кг/м³; g — ускорение свободного падения (9,8 м/с²); v — скорость ветра, м/с.

Принимая $\rho = 1,225$ кг/м³ при $t = 15$ °С и давлении 760 мм рт. ст., получим

$$q = \frac{v^2}{16}. \quad (18.6)$$

Как видим, расчет скоростного напора достаточно чувствителен к ошибкам определения скорости ветра.

Статическая ветровая нагрузка Q (кг/м³), нормальная к поверхности сооружения или к его элементу, определяется по формуле

$$Q = C_x q, \quad (18.7)$$

где C_x — аэродинамический коэффициент (коэффициент лобового сопротивления).

По данному показателю устанавливается *предельная ветровая нагрузка заданной вероятности* на данное сооружение. Расчетная скорость ветра v определяется как максимальная за весь период наблюдений или средняя из годовых максимумов. Однако установлено, что более целесообразно использовать вероятностные показатели ветрового режима. Соответствующая методика была разрабо-

тана Л. С. Гандиным. Ее содержание приведено в монографии М. В. Завариной „Строительная климатология”.

Изменение ветровой нагрузки существенно сказывается на стоимости сооружаемых конструкций. Так, при увеличении ветровой нагрузки на 10 % стоимость высотных сооружений увеличивается на сумму от 4 до 9 тыс. руб. (1980-е годы).

4. Гололедные и гололедно-ветровые нагрузки. При проектировании воздушных линий связи и электропередачи (ЛС, ЛЭП) важно правильно оценить гололедную и гололедно-ветровую нагрузку. Учет их завышенных значений ведет к удорожанию линий, а в случае недооценки возможны аварии — обрыв проводов, поломка опор и мачт, что может принести еще большие потери.

Гололедная нагрузка определяется через вес гололеда P (г/м) по формуле

$$P = \pi b_{\text{н}} (b_{\text{н}} + d) \gamma l, \quad (18.8)$$

где $b_{\text{н}}$ — толщина стенки гололеда, мм; d — диаметр провода, мм; γ — плотность отложения, принимается равной 0,9 г/см³; $l = 100$ см.

Обледенение провода подвергается ветровой нагрузке

$$Q = C_x q D l, \quad (18.9)$$

где C_x — аэродинамический коэффициент, принимаемый равным 1,2; q — скоростной напор ветра, кг/м²; D — диаметр обледеневшего провода; l — длина провода, равная 1 м.

Под воздействием ветра обледеневший провод закручивается. В этом случае диаметр D принимается равным средней геометрической величине из a и c

$$D = \sqrt{ac},$$

где a и c — измеренные соответственно большой и малый диаметры отложения.

Результирующая нагрузка на провод определяется по формуле

$$R = \sqrt{(P + p)^2 + Q^2}, \quad (18.10)$$

где p — вес провода, г.

5. Количество переносимого снега. При известной продолжительности метели τ через единицу пути переносится масса снега

$$m = c v^3 \tau, \quad (18.11)$$

где c — коэффициент пропорциональности, равный 0,00046; v — скорость ветра, м/с.

Если ветер дует под углом α к данному объекту, то объем переносимого снега (в м³/пог.м) составляет величину

$$m = cv^3\tau \sin \alpha. \quad (18.12)$$

Количество переносимого снега может определяться на площади сельскохозяйственных угодий в целях оценки снегозадержания; на участках открытых дорог в сельской местности и на подъездах к стройплощадкам, где возможно скопление снега и образование сугробов; на городских дорогах в целях оценки объема снегоуборочных работ и в ряде других случаев.

6. Снеговая нагрузка как вес снежного покрова на единицу площади определяется в практике строительства различных зданий и сооружений. Запас воды в снежном покрове определяет его вес (кг/м²). Нормативная величина снеговой нагрузки P_n находится по формуле

$$P_n = cP_0, \quad (18.13)$$

где c — коэффициент, зависящий от технических особенностей конструкции покрытия; P_0 — вес снега на единицу горизонтальной поверхности.

Величина P_0 — это нормативная характеристика, определяемая как среднее из годовых максимумов или как вероятностная величина заданной обеспеченности. Норматив P_0 (согласно СНиП) устанавливается по формуле

$$P_0 = \rho H, \quad (18.14)$$

где ρ — плотность снежного покрова, г/см³; H — высота снежного покрова (среднее из ежегодных максимальных высот) на защищенном участке.

В строительной практике принимается расчетная нормативная нагрузка, равная

$$P_p = 1,4P_0. \quad (18.15)$$

Нормативная нагрузка, как следует из формулы (18.14), увеличивается на 40 %. Дополнительно учитывается снос снега с покрытия при снегопаде и сильном ветре.

Правильный учет снеговой нагрузки на чердачные крыши, на покрытия и на другие верхние ограждающие конструкции позволя-

ет избежать чрезмерных финансовых расходов и не допустить разрушения конструкций.

Величины h , θ , Q , R , P_p и другие, известные в практике строительства, являются *расчетными показателями*, обеспечивающими резерв снижения издержек строительства.

7. В хозяйственной практике многие виды работ осуществляются на открытом воздухе. В холодную часть года при морозной и ветреной погоде продолжительность работ сокращается или вовсе приостанавливается. Это в основном относится к строительным наружным работам — укладочным, монтажным и т. п. Для оценки суровости погоды, характерной в данной климатической зоне, используются индекс суровости погоды, индекс жесткости погоды и др.

Индекс суровости погоды по Бодману определяется по формуле

$$B = (1 - 0,04t)(1 + 0,272v), \quad (18.16)$$

где t — температура воздуха, v — скорость ветра.

Для характеристики суровости погоды используется следующая шкала (баллы):

- 1) $B < 1$ — зима несуровая;
- 2) $1 < B < 2$ — зима мало суровая;
- 3) $2 < B < 3$ — умеренно суровая;
- 4) $3 < B < 4$ — суровая;
- 5) $4 < B < 5$ — очень суровая;
- 6) $5 < B < 6$ — жестко суровая;
- 7) $B > 6$ — крайне суровая.

Климатическая оценка характеристик суровости должна использоваться при разработке нормативов регламента работ на открытом воздухе и социальной защиты работающих, которые направлены на создание нормальных условий работы и введение дополнительной оплаты труда, отвечающей суровости погоды.

Аналогичную оценку сложности климатических условий погоды (в баллах) можно выполнить на основании *индекса жесткости погоды* по И. М. Осокину. Для этого используется формула

$$B_0 = (1 - 0,006t)(1 + 0,2v)(1 + 0,006H)K_v A_c, \quad (18.17)$$

где H — высота местности над уровнем моря, K_v — коэффициент, учитывающий влияние относительной влажности воздуха, A_c — коэффициент, учитывающий влияние суточной амплитуды температуры воздуха.

Суровость погоды B_0 (преимущественно зимой) оценивается по шкале (в баллах), во многом совпадающей с выше приведенной шкалой:

- 1) $B_0 < 1$ — зима мягкая;
- 2) $1 < B_0 < 2$ — зима мало суровая;
- 3) $2,1 < B_0 < 3$ — умеренно суровая;
- 4) $3,1 < B_0 < 4$ — суровая;
- 5) $4,1 < B_0 < 5$ — очень суровая;
- 6) $5,1 < B_0 < 7$ — жестко суровая;
- 7) $B_0 > 7$ — крайне суровая.

Приведенные показатели используются в строительной индустрии не только для оценки климатических условий проживания населения, но и для дополнительной оценки затрат при выборе ограждающих конструкций и систем теплоснабжения.

Некоторые погодо-климатические показатели (биометеорологические индексы) приведены в приложении 7.

Обширная область исследований, выполняемых в интересах строительства, приведена на рис. 18.1.

Рассмотрим теперь экономическую полезность использования климатической информации в строительстве.

Оценка экономического эффекта устанавливается на основании *метода приведенных затрат*.

Производственные затраты потребителя складываются из двух основных видов: единовременных затрат — *капитальных вложений* — и текущих затрат — *себестоимости продукции*. С помощью нормативного коэффициента E_n сумма указанных затрат приводится к стандартной единице измерения — году. Такие затраты называются *приведенными* и определяются по формуле

$$\Pi = C + E_n K, \quad (18.18)$$

где C — себестоимость единицы продукции — эксплуатационные затраты, руб/год; K — капитальные вложения в производственные фонды (единовременные затраты) или удельные — отнесенные к объему выпускаемой продукции; E_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Проектирование, строительство и эксплуатация объектов производства должны осуществляться таким образом, чтобы выполнялось условие

$$C + E_n K \rightarrow \min. \quad (18.19)$$

Тем самым представляется возможным рассчитать несколько вариантов решения этой задачи и выбрать тот, который обеспечивает минимум приведенных затрат. В хозяйственной практике, как правило, используют два варианта: один отражает исходные, теку-

щие, базовые условия, а другой — результат приведенных затрат, учитывающий дополнительные или новые производственные или информационные ресурсы.

Базовый вариант отражает прежний уровень организации производства, средств труда, нормативов и информации. В результате уточнения климатических характеристик и нормативов, необходимых в проектировании, получают новые оценки капитальных вложений и уровня себестоимости продукции. Для снижения этих расходов составляющих необходимо привлекать как известные, так и уточненные сведения о климатическом режиме, о нормативных характеристиках климата.

Экономический эффект определяется разностью приведенных затрат за вычетом тех затрат в системе Росгидромета, которые необходимы для получения данного вида климатической информации:

$$\mathcal{E} = \beta[(\Pi_1 - \Pi_2) - \mathcal{Z}_{\text{ин}}], \quad (18.20)$$

где $\mathcal{Z}_{\text{ин}}$ — предпроизводственные затраты на получение новой климатической информации или на уточнение нормативных характеристик; $\beta = \bar{\beta} = 0,3$.

Экономический эффект образуется в сфере потребления климатической информации, т. е. в отраслях народного хозяйства, где она используется в целях совершенствования технологии производства. Для оценки выгоды, которую дает использование климатической информации, необходимо знать следующие экономические показатели потребителя:

1) объем работ при изысканиях, производстве наблюдений и их обработке;

2) объем строительства и восстановления народнохозяйственных объектов;

3) объем перевозок различными видами транспорта;

4) количество вырабатываемой электроэнергии, промышленной и сельскохозяйственной продукции.

Они могут быть выражены как в стоимостном (денежном), так и в натуральном исчислении (ц/га, т/км и т. п.). Для этого используются экономические нормативы.

Экономический эффект складывается из составляющих, в которые входят:

1) сокращение затрат на изыскания при проектировании (за исключением затрат на организацию метеорологических станций, наблюдений и специальной обработки данных);

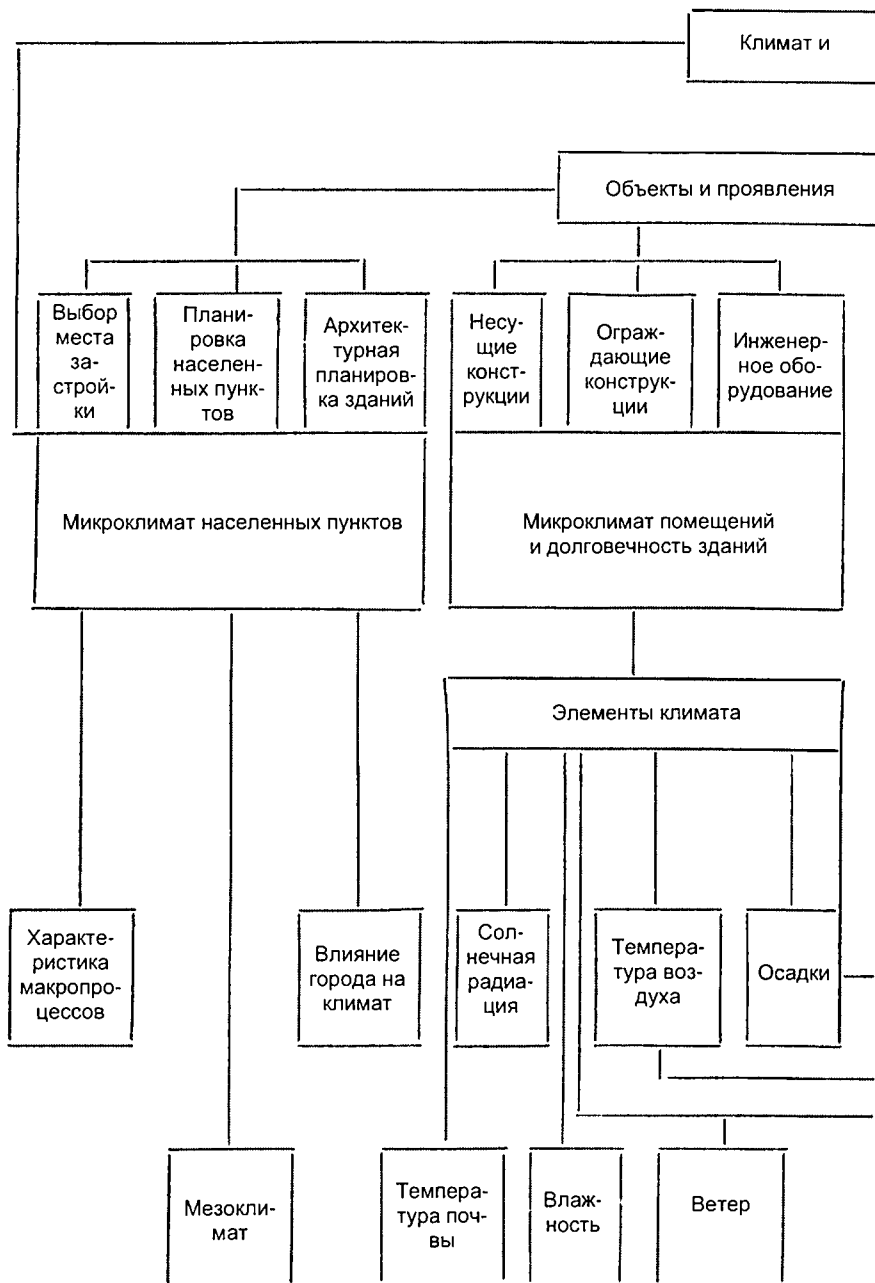
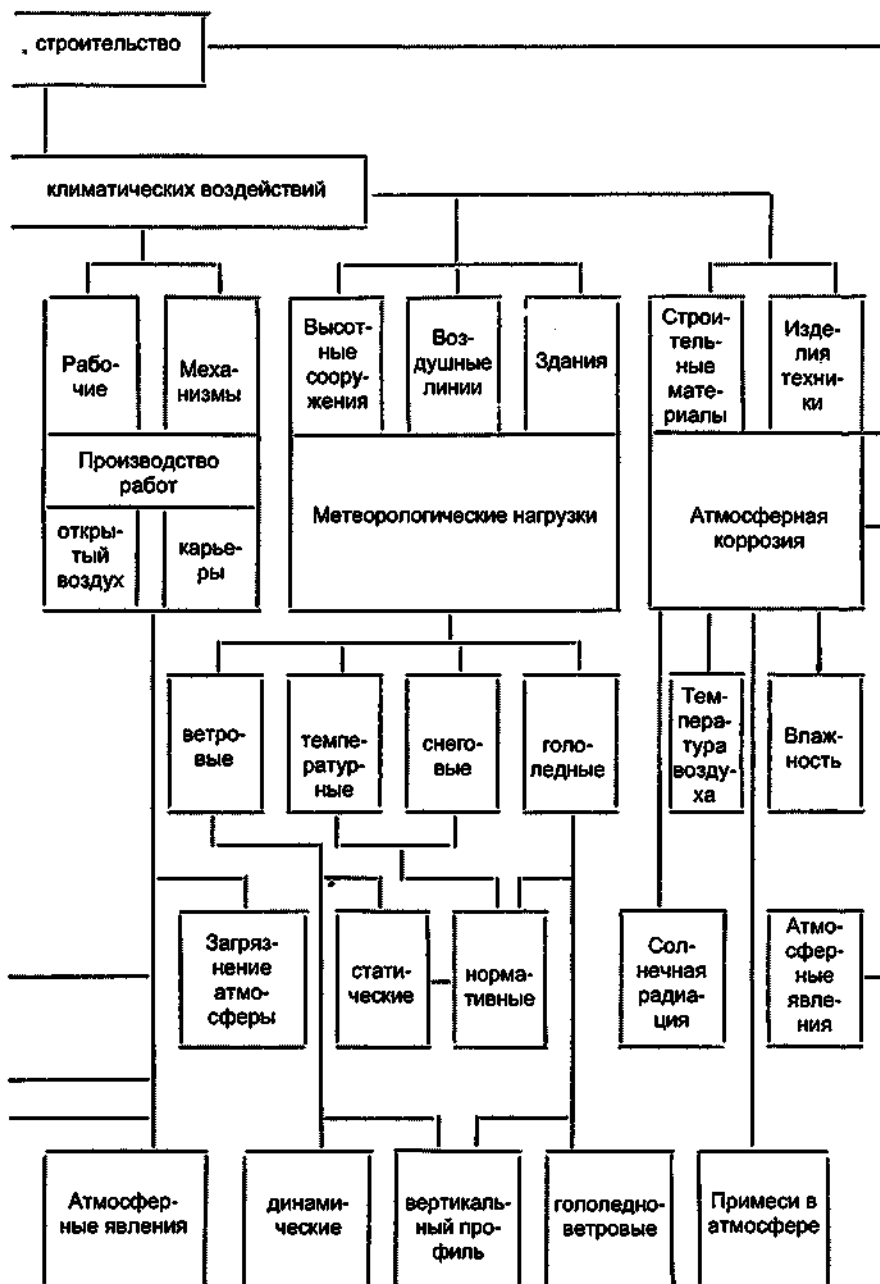


Рис. 18.1. Схема исследований по строительной



климатологии. По М. В. Завариной.

2) сокращение затрат на строительство различных народнохозяйственных объектов — снижение стоимости строительства;

3) сокращение эксплуатационных затрат, которое образуется за счет экономии трудовых ресурсов, времени, а также экономии топлива, электроэнергии и расходных материалов;

4) получение дополнительной продукции в различных отраслях народного хозяйства (электроэнергии, урожая, морепродуктов, полезных ископаемых и др.);

5) предотвращение убытков от неблагоприятных метеорологических условий за счет предупреждений об ОЯ и НГЯ.

Фактический экономический эффект определяется совместно с потребителем после внедрения данного вида метеорологической информации в производство.

Экономический эффект, отнесенный к суммарным предпроизводственным затратам $Z_{\text{ин}}$, показывает экономическую эффективность использования климатической информации

$$P = \frac{\mathcal{E}}{Z_{\text{ин}}}. \quad (18.21)$$

На практике иногда приходится иметь дело с увеличением капитальных затрат в новом варианте, что должно сопровождаться снижением себестоимости. Иначе, проявляются неравенства $K_2 > K_1$ и $C_2 < C_1$ согласно прежнему (C_1, K_1) и новому (C_2, K_2) вариантам. Возможно иное соотношение величин C_1 и C_2 , K_1 и K_2 . Характерная ситуация приведена ниже.

Использование при проектировании ЛЭП неуточненных данных о толщине стенки гололеда позволяет получить приведенные затраты

$$\Pi_1 = C_1 + E_{\text{н}} K_1, \quad (18.22)$$

где C_1 — текущие затраты на содержание электросети, включая потери потребителя-смежника, связанные с недодачей ему электроэнергии при поломке опор; K_1 — капитальные затраты на восстановление разрушенных опор, которые спроектированы на базе неуточненных сведений о толщине отложения гололеда.

Согласно уточненным данным, отражающим более интенсивные гололедно-ветровые нагрузки, необходимы дополнительные капитальные затраты на повышение долговечности ЛЭП. В этом случае приведенные затраты записываются в виде

$$\Pi_2 = C_2 + E_{\text{н}} K_2, \quad (18.23)$$

где C_2 — издержки (потери) в новом варианте, K_2 — дополнительные затраты на уменьшение пролетов между опорами.

Экономический эффект использования уточненных нормативных характеристик для определения дополнительных затрат на содержание объектов определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{доп}} = \beta \{ N [E_{\text{н}} (K_1 - K_2) + C_{\text{а}}] - E_{\text{н}} Z_{\text{шт}} \}, \quad (18.24)$$

где $C_{\text{а}}$ — эксплуатационные издержки, возможные в период аварий и перерывов в работе народнохозяйственных объектов; N — число объектов.

Оценки, выполненные М. В. Завариной, показывают, что экономический эффект использования климатической информации в данной области строительства в 1980-е годы достигал десятков миллионов рублей.

Модификации формулы (18.24) применяются и в других областях хозяйственной практики¹ в зависимости от специфики использования климатической информации.

Коэффициент эффективности затрат E и срок окупаемости T определяются соответственно по формулам:

$$E = \frac{C_1 - C_2}{K_2 - K_1}, \quad (18.25)$$

и

$$T = \frac{1}{E}. \quad (18.26)$$

Для отраслей народного хозяйства в СССР, да и в России сейчас, использовался нормативный срок окупаемости $T_{\text{н}}$, определяемый из нормативных условий $E_{\text{н}}$, т. е. $T_{\text{н}} = 1/E_{\text{н}}$.

18.2. Климатическая информация в сельскохозяйственном производстве

Все производственные и биометеорологические процессы в сельском хозяйстве испытывают постоянное влияние не только текущих метеорологических и гидрологических условий, но и климата. Сельскохозяйственная метеорология включает и агроклиматологию.

¹ Модификации формул оценки экономического эффекта на основе приведенных затрат рассматриваются в книге Л. А. Хандожко „Метеорологическое обеспечение народного хозяйства“.

Агроклиматические исследования (И. А. Гольцберг, Ф. Ф. Давитая, А. И. Руденко, С. А. Сапожникова, Н. Н. Яковлев и др.) охватывают широкий круг проблем сельскохозяйственной метеорологии. Это исследования микроклимата, районирование отдельных культур и их влагооборота, исследование климатических особенностей таких явлений, как засуха, заморозки и многое другое.

Все отрасли агропромышленного комплекса (совхозы, колхозы, сельскохозяйственные производственные объединения и др.) получают необходимую агрометеорологическую и агроклиматическую информацию, а также агрометеорологические оценки, прогнозы и рекомендации.

Использование агроклиматической информации в конечном счете направлено на решение главной задачи — повышение продуктивности сельскохозяйственных культур. Рассмотрим наиболее общую модель решения этой задачи.

Основными факторами биологической продуктивности являются тепло, свет, влага, почвенное плодородие, интенсивность земледелия и биологические особенности культур.

Природой определена энергетическая основа земледелия — солнечная радиация. Ресурсной базой выступает суммарная солнечная радиация.

Для живых организмов наибольшее значение имеет так называемая *физиологическая часть спектра* солнечной радиации. Видимая — собственно физиологическая — часть спектра с $0,39 < \lambda < 0,76$ мкм создает естественную освещенность. Для формирования продуктивной массы растения используют не весь физиологический спектр радиации, а только его часть — *фотосинтетически активную часть радиации* (ФАР) в интервале длин волн¹ $0,38 \div 0,71$ мкм.

В течение вегетационного периода (при температуре воздуха выше 10 °С) приход ФАР составляет: в тундре $10 \div 15$ ккал/см², в лесостепи и степи $35 \div 45$, в субтропиках $75 \div 85$.

Возделывание сельскохозяйственной культуры в данной климатической зоне будет *экономически оправдано*, если ее биологическая продуктивность обеспечивается таким важным климатическим показателем, как ФАР.

Кроме того, сведения о ФАР используются при проведении таких агротехнических мероприятий, как:

— выбор оптимальных сроков посева сельскохозяйственных культур;

¹ Ультрафиолетовая радиация с длиной волн менее 0,29 мкм губительна для всего живого. Эта часть излучения задерживается озоновым слоем, что обеспечивает жизнь на Земле.

— повышение эффективности поливов и применения минеральных удобрений;

— расчет дополнительного освещения в теплицах.

Важнейшие процессы жизнедеятельности растений осуществляются при определенном температурном режиме. Одной из основных характеристик температурного режима является *средняя температура за месяц* (по отдельным районам, пунктам) и ее среднее квадратическое отклонение. Выделяют средние даты весеннего и осеннего перехода температуры воздуха через 0, 5, 10 и 15 °С, а также продолжительность периода между этими датами.

Переход среднесуточной температуры через 0 °С отделяет теплую часть года от холодной. Граница в 5 °С указывает на начало и конец вегетации большинства сельскохозяйственных культур. Активная вегетация растений отмечается в период между весенними и осенними переходами температуры через 10 °С. Одним из основных показателей агроклиматических ресурсов является *теплообеспеченность вегетационного периода*, определяемая суммой активных температур (выше 10 °С) (по Д. И. Шашко, 1967). На основании активных температур разработана классификация климата по теплообеспеченности растений.

Биологически теплая часть лета приходится на период времени с температурой 15 °С и выше. Для каждой сельскохозяйственной культуры, отдельных фаз ее развития, устанавливается *биологический температурный минимум*. Активная температура всегда выше биологического минимума. Вместе с тем выделяют эффективную температуру, которая определяется как активная температура, уменьшенная на величину биологического минимума.

Термические ресурсы территории ограничиваются периодом времени между поздними весенними и ранними осенними заморозками.

Тепловые условия среды охватывают все стороны жизнедеятельности растений.

Температура, при которой фотосинтез¹ достигает 90 % своего максимального значения, является *оптимальной для фотосинтеза*. Однако фотосинтез возможен и при более низкой температуре. Оптимальные условия биологического развития растений находятся между *биологическим минимумом* и *биологическим максимумом*.

Для некоторых видов сельскохозяйственных культур тепловые ресурсы приведены в табл. 18.1.

¹ Фотосинтез — процесс образования растениями сложных органических веществ, необходимых для жизнедеятельности растений. В процессе фотосинтеза растения образуют не только углеводы, но и аминокислоты, белки и пигменты.

Чтобы сформировать урожай пшеницы в 40 ц/га, что составляет 100 т общей сухой биомассы, растения должны усвоить около 20 т СО₂, фотохимически разложить около 7,3 т Н₂О, выделить во внешнюю среду около 13 т О₂ (А. А. Ничипорович).

Тепловые ресурсы, необходимые для выращивания некоторых видов сельскохозяйственных культур в условиях умеренных широт

Сельскохозяйственная культура	Сумма температур воздуха за вегетационный период, °C	Оптимальная температура, °C		Угнетающая или повреждающая растения температура, °C	
		почвы для появления всходов	воздуха для роста растений	при всходах	после всходов до созревания
Яровая пшеница	1700—1900	20—25	20—25	0...-2	35
Рис	2000—4000	20—34	25—30	0...-1,5	40
Кукуруза	1500—3200	21—23	20—30	-2...-6	32
Хлопок	2700—4500	20—30	25—30	2...-1	35
Огурец	1700—2000	26—30	25—28	0...-1	35
Дыня, арбуз	1800—3600	25—35	25—30	5...-1	45

Приведенные характеристики фотосинтеза показывают, что этот биологический процесс определяется прежде всего солнечной радиацией и температурой воздуха (рис. 18.2).

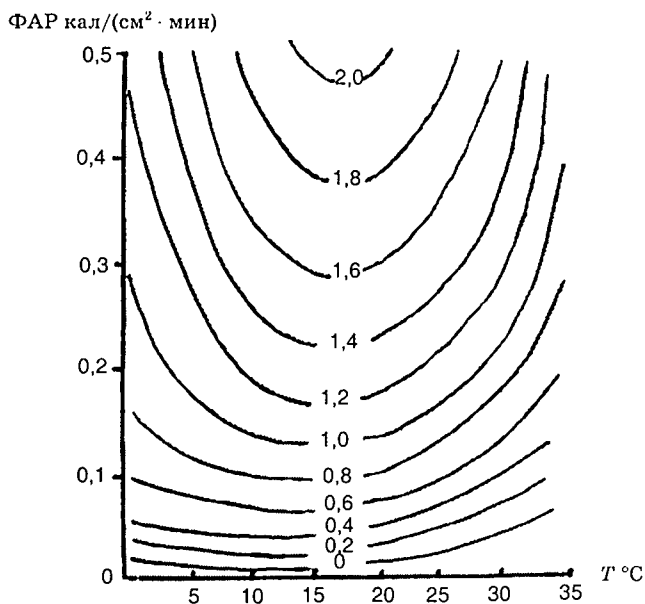


Рис. 18.2. Связь продуктивности фотосинтеза растений с температурой воздуха и солнечной радиацией (кал/(см²·мин)).

Для холодной части года устанавливается *морозостойкость* сельскохозяйственных культур, которая характеризуется критической температурой вымерзания, вызывающей, например, гибель 50 % озимых посевов.

Перезимовка озимых протекает нормально при температуре почвы от -5 до -15 °С. Влияние температуры почвы и высоты снежного покрова приведено в табл. 18.2.

Вторым важным метеорологическим фактором жизни растений является влага. Одним из показателей влагообеспеченности принимается коэффициент увлажнения (по Д. И. Шашко)

$$КУ = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^m d_i}, \quad (18.27)$$

где $\sum_{i=1}^n P_i$ — сумма осадков (мм) за выбранный период; $\sum_{i=1}^m d_i$ — сумма средних суточных значений дефицита влажности.

Предложены и другие показатели атмосферного увлажнения: ГТК (по Г. Т. Селянинову), радиационный индекс сухости (по М. И. Будыко), индекс сухости (по Де-Мартонну), отношение количества осадков к сумме температур за период вегетации ($t \geq 10$ °С) (по С. А. Сапожниковой).

Особое значение имеет влагообеспеченность почвы. В качестве *показателя влагообеспеченности* почвы принимается отношение средних многолетних запасов *продуктивной влаги* (мм) в слое 0—100 см за основной период вегетации к оптимальным запасам влаги, соответствующим 85% наименьшей *влагоемкости почвы*. Максимальное количество влаги, которое способна удержать в себе почва в полевых условиях, называется ее *влагоемкостью* (мм).

Таблица 18.2

Влияние температуры почвы и снежного покрова на перезимовку озимой ржи на Алтае. По А. М. Шульгину

Высота снежного покрова, см	Абсолютный минимум температуры почвы на глубине 3 см, °С	Гибель растений, %
0	-32,0	100
5	-26,0	40
20	-20,8	14
50	-8,0	0

Продуктивная влага (мм) — это ее запасы, измеряемые в данное время по 10-сантиметровым слоям. За счет продуктивной влаги осуществляется накопление растительной массы.

Комплексным показателем, учитывающим совместное влияние тепло- и влагообеспеченности, согласно Д. И. Шашко, является *биоклиматический потенциал*

$$БКП = K_p \frac{\sum_{i=1}^n t_{ак, i}}{\sum_{i=1}^n t_{ак, i}^*}, \quad (18.28)$$

где K_p — коэффициент роста по годовому показателю атмосферного увлажнения; $\sum_{i=1}^n t_{ак, i}$ — сумма средних суточных температур воздуха за период активной вегетации; $\sum_{i=1}^n t_{ак, i}^*$ — базисная сумма средних суточных температур воздуха за период активной вегетации.

В качестве базисной суммы может быть принято значение 3100°C для умеренного пояса в условиях оптимального роста.

Для расчета коэффициента роста K_p может быть использована графическая зависимость, представленная на рис. 18.3.

Таким образом, видно, что агрометеорологические ресурсы — это широкий спектр климатических условий: от отдельных климатических значений метеорологических величин до их комплексных показателей, используемых в сельскохозяйственном производстве.

Наиболее значительными являются суммы активных температур, продолжительность физиологически активной части суток, пороговые условия влагосодержания. На этом основании разраба-

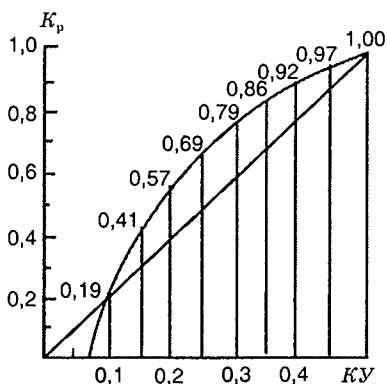


Рис. 18.3. Зависимость коэффициента роста K_p от коэффициента атмосферного увлажнения КУ.

тываются комплексные климатические карты и выполняется агроклиматическое районирование отдельных сельскохозяйственных культур. Тем самым выделяются характерные для региона черты климата, выраженные через комплексные климатические характеристики. Во второй половине XX в. в нашей стране было выполнено большое число исследований по агроклиматическому районированию (Г. Т. Селянинов, П. И. Колосков, Д. И. Шашко, А. М. Шульгин, С. А. Сапожникова, Ф. Ф. Давитая и др.) как по зерновым культурам, так и по отдельным видам сельскохозяйственных культур, таких как сахарная свекла, кукуруза, виноград.

Итак, солнечная радиация, тепло и влага — основные метеорологические характеристики, определяющие биологическую продуктивность растений. Оптимальное размещение сельскохозяйственных культур обеспечивает более высокую урожайность, снижает потери в сельскохозяйственном производстве. Это одно из важных направлений исследований в области экономической метеорологии.

18.3. Климатическая информация в энергетике

Климатическая информация постоянно учитывается при проектировании и строительстве объектов ТЭК. Это относится к системам электро- и теплоснабжения, нефте- и газоснабжения, к предприятиям угольной промышленности и другим источникам энергетики.

Строительство энергоисточников (ГЭС, ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС, АЭС, ПЭС, геотермальных электростанций) требует прежде всего знания таких нормативных климатических сведений, на основании учета которых обеспечивается надежность и долговечность сооружений. Вырабатываемый вид энергии и энергоресурсов отражает начальную производственную функцию энергетического объекта.

Например, работа гидроэлектростанций находится в полной зависимости от гидрологического режима рек, а эффективность передачи получаемой электрической энергии по высоковольтным линиям (ЛЭП с напряжением от 35 до 750 кВ) — от климатических условий региона и от такого климатического показателя, как гололедно-ветровая нагрузка (см. формулу (18.10)). Задача расстановки опор ЛЭП более сложна и требует учета неблагоприятных воздействий сочетаний таких параметров, как температура воздуха, гололед и скорость ветра. Климатические сведения позволяют рассчитать гололедно-ветровую нагрузку и эквивалентную скорость ветра¹ в заданном пункте, смоделировать распределение механических напря-

¹ Под эквивалентной скоростью понимается такая скорость ветра, которая в сочетании с максимальной нормативной толщиной стенки гололеда приводит к нагрузке с заданной повторяемостью.

жений и экстремальные состояния несущих опор (Л. Б. Гарцман, Л. Г. Гончар).

Отсюда следует, что необходим выбор таких расчетных величин, которые обеспечивают сочетание надежности и экономичности сооружаемых электроисточников и систем транспортировки энергии и энергоресурсов.

Каждый из энергоисточников использует климатические нормативы, которые отвечают его производственной специфике. При задании проектной мощности ТЭЦ (Q_p см. п. 16.2.1) обязательным условием выступает учет расчетной температуры воздуха t_p в данном пункте. Транспортировка теплоносителя требует разработки и прокладки тепловых сетей на основе учета глубины промерзания почвы и минимальных значений ее температуры для оценки допустимости полимерных покрытий трубопроводов.

Выбор оптимальных условий прокладки нефтепроводов требует климатической информации о колебаниях температуры грунта на глубине залегания трубопроводов. Неучет этих сведений может привести к гофрированию и разрыву трубопроводов. Аналогичная ситуация складывается и для газопроводов.

На основании климатических сведений устанавливается оптимальный запас топлива на ТЭЦ. Здесь предлагаются различные подходы. Один из них основан на использовании климатологического прогноза (А. С. Монин), другой допускает (О. Ланге) решение задачи программирования оптимального резерва, при котором вероятность дефицита определяется коэффициентом риска

$$p = \frac{C_1}{C_1 + C_2},$$

где C_1 — издержки хранения, C_2 — издержки дефицитности.

Для расчета тепловых потерь зданий используется предложенный Л. С. Гандиным комплексный климатический показатель — *эффективная температура* (см. формулу (16.2)). Наряду с этим А. А. Цвид ввел понятие *эквивалентной температуры*

$$t_{\text{эк}} = t_n(1 + \alpha) - \beta, \quad (18.29)$$

где t_n — температура наружного воздуха, $\alpha = 0,0451v^{1,412}$, $\beta = 0,464v^{1,504}$.

При известной температуре наружного воздуха определяется его *теплосодержание*, что необходимо знать при расчете систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Для определе-

ния теплосодержания воздуха используется повторяемость одновременно наблюдаемых температуры воздуха и относительной влажности f (метод предложен Л. Е. Анапольской, О. Б. Пашиной и Л. Б. Успенской).

Видно, насколько велик диапазон используемых климатических параметров в энергетике. Особое внимание уделяется нормативным климатическим параметрам, представленным в СНиП, поэтому многие из них уточняются на основе более поздних исследований. Наиболее детальная и достоверная климатическая информация требуется для энергетических сооружений первого класса капитальности (надежности). Это прежде всего сооружения атомной энергетики.

18.4. Климатическая информация в других отраслях экономики

Развитие современной техники невозможно без учета климатического фактора, который включается в разработку технических проектов. Это относится к транспортным системам, к стационарным техническим и технологическим объектам, постоянно испытывающим многолетнее воздействие погодных условий, т. е. климата.

Как известно, основными показателями работы техники являются *производительность* (количество продукции, изготавливаемой в единицу времени), *надежность* (сохранение заданных параметров в условиях использования; комплекс показателей качества: безотказность, долговечность, сохраняемость и др.) и *экономичность* (способность оптимально расходовать потребляемое сырье, материалы, топливо и энергию). Эти показатели находятся в прямой (надежность и экономичность) и в косвенной (производительность) зависимости от погодо-климатических условий.

Отсюда следует, что *техническая климатология* охватывает всю современную техногенную сферу.

Климатическая информация находит широкое применение в теплотехнике при создании *искусственного климата* в помещениях с целью обеспечить заданные значения температуры и относительной влажности воздуха, которые не зависят от наружного воздуха, что предусматривает *кондиционирование воздуха* внутри помещения.

Расход энергии для осушения воздуха (конденсация избыточного пара в помещении) определяется на основании *эквивалентной температуры*, как наружной $t_{\text{экр. н}}$, так и внутри помещения $t_{\text{экр. п}}$. Эквива-

лентная температура пропорциональна энтальпии¹, т.е. общему теплосодержанию воздуха внутри помещения. Разность $\Delta Q = 0,24(t_{\text{экр.н}} - t_{\text{экр.п}})$ отвечает величине энергии, необходимой, чтобы наружное состояние воздуха привести к тому, которое желательно для помещения. Энергия может быть отнята или добавлена на единицу массы воздуха (кг).

Для разработки установок по кондиционированию воздуха на производственных объектах необходимы экономические расчеты. Создание „производственного климата” в определенных цехах требует затрат на разработку кондиционеров и их эксплуатацию. Изменения „производственного климата” при производстве химической и текстильной продукции, производстве часов, высокоточных технических устройств, приборов и т. п. вызывают срывы в производственном процессе, простои производства или выпуск некачественной продукции.

Климатическая информация используется и для оценки теплопотребления в системах отопления. Здесь решаются две проблемы. При выборе степени теплоизоляции стен зданий производятся единовременные капиталовложения, что требует учета климата, его экстремальных характеристик. Выбор системы отопления требует знания теплового и ветрового режима местности.

Тем самым решается задача, какое количество тепла потребуется в данном пункте для того, чтобы обеспечить тепловые комфортные условия проживания. Наряду с теплофизическими свойствами ограждения учитывается число „отопительных дней” $N_{\text{от}}$ для общей оценки теплопотребления

$$N_{\text{от}} = \sum_{i=1}^n (18^\circ\text{C} - \bar{t}_i^*), \quad (18.30)$$

где $\bar{t}_i^*$ — среднесуточная температура наружного воздуха ниже предельно допустимой (в Западной Европе $\bar{T}^* \leq 12^\circ\text{C}$, в России $\leq 8^\circ\text{C}$); $t_{\text{н}} = 18^\circ\text{C}$ — температура воздуха внутри помещения; $N_{\text{от}}$ — общее число дней централизованного теплоснабжения.

¹ Энтальпия — сумма внутренней энергии газа и потенциальной энергии экспансии, т.е. работы, произведенной газом при изобарическом расширении до занимаемого объема (С. П. Хромов, Л. И. Мамонтова).

Энтальпия определяется по известной формуле

$\Delta = C_p T = c_v T + RT$.

Формулу (18.30) можно представить иначе

$$N_{\text{от}} = n_{\text{от}}(18^\circ\text{C} - \bar{t}_i^*), \quad (18.31)$$

где $n_{\text{от}}$ — число дней с температурой $\bar{t}_i^*$.

В зависимости от $N_{\text{от}}$ устанавливается региональная классификация теплопотребления зданиями определенного типа.

Однако режим теплообеспечения несколько сложнее и зависит не только от успешности работы ТЭЦ, но и от теплофизических свойств ограждающих конструкций (стен и др.).

Климатическая нормативная информация находит обязательное применение при проектировании и разработке современных технических средств. Надежность и долговечность работы техники (машин, механизмов, измерительных устройств и пр.), работающей в открытых погодных условиях, зависит от правильного учета особенностей климата, в котором эта техника используется. Очевидны существенные различия работы техники в условиях арктического климата или в условиях жаркого влажного или сухого климата. Использование комплекса климатических характеристик в этих целях рассматривается как *климатическая защита техники*. Климатическая защита отражается на стоимости технической продукции. Эти издержки должны быть существенно меньше потерь, возможных при „выходе техники из строя” (поломки, простои, дорогостоящая замена основных деталей и т.п.), что и отражает экономическую полезность использования климатической информации.

Факторами, учитывающимися в климатической защите, являются температура и влажность воздуха, солнечная радиация, примеси в атмосфере (пыль, двуокись серы и др.). Этим определяется выбор материала для изготовления технической продукции, покрытий технических изделий, машин, механизмов; выбор энергоисточников, их работы и многое другое.

Таким образом, в строительстве, сельскохозяйственном производстве, энергетике и других сферах экономики климатическая продукция является постоянно действующим экономическим регулятором в выборе климатически оптимальных хозяйственных решений.

18.5. Климатические ресурсы

Климатическая информация — это особый класс метеорологической информации. По своему содержанию и назначению она исключительно многообразна.

Выделяют две особенности этого класса информации (Г. П. Вимберг, Н. В. Кобышева).

Первая особенность заключается в том, что климатическая информация является результатом статистической обработки массового метеорологического материала. Она может быть выражена в частотной, вероятностной или в иной форме.

Вторая особенность — это однократность предоставления климатической информации потребителю и однократность ее использования в виде отдельных показателей, нормативных характеристик и т.п. Такая информация используется в расчетах один раз до ее обновления.

Можно выделить **третью особенность** климатической информации — это природный ресурс, отражающий воздействие климата на производственные процессы, на социальные и природные условия.

Вся природа, окружающая человека, является ресурсной средой, которая постоянно используется в процессе создания материальных ценностей. Ресурсную нагрузку несут все компоненты среды. На этом основании дано следующее определение (Э. Б. Алаев): „ресурс — энергия, вещество, информация, вырабатываемые вне данной системы и служащие для нее исходным материалом функционирования, развития, существования”.

Различают ресурсы экономические (материальные, финансовые, трудовые) и природные. Природные — это естественные ресурсы, как часть природных условий, которые используются в интересах материальных потребностей. Во всем многообразии видов природных ресурсов (водные, земельные, топливно-энергетические, лесные и другие) выделяется особый вид ресурсов, который сосредоточен в атмосфере.

Это *климат* — как характерное для данной местности длительное проявление погоды. Информация о климате, выраженная через температуру и влажность воздуха, скорость и направление ветра, атмосферное давление, количество осадков и явления погоды, образует комплексное понятие — *климатические ресурсы*.

Наряду с этим в практике используются *погодные ресурсы*, отражающие оперативную информацию о состоянии атмосферы.

Климатические ресурсы представляют собой информацию о таких характеристиках состояния атмосферы, которые выражают ее характерные особенности.

Выделяются климатические, а значит и ресурсные особенности температуры и влажности воздуха, скорости ветра, осадков и других состояний атмосферы. Дается вероятностная оценка градаций метеорологических величин, их средние, экстремальные значения

и изменчивость. Это первичная характеристика климатических ресурсов.

Итак, гидрометеорологическая среда — это не только „сырьевая база” информационной продукции. Она вместе с тем представляет собой постоянно возобновляемую, *вечную ресурсную среду* и выступает как обязательное условие, которое учитывается в хозяйственной практике. Климатические ресурсы — это следствие постоянной генерации известных состояний среды.

Климатические ресурсы — тепловые, ветровые, радиационные, влажностные — образуют комплекс постоянно возобновляемых источников жизнеобеспечения. Как уже отмечалось, первостепенное значение имеют тепловые ресурсы. Тепловой комфорт необходимо обеспечить в жилых и рабочих помещениях, при выполнении строительных работ в различных климатических условиях, в климатотерапии. Обеспечение теплом в период вегетации сельскохозяйственных культур — основной климатический фактор эффективного земледелия.

К возобновляемым источникам энергии относится энергия ветра. В настоящее время ветроэнергетика широко используется во многих странах, в том числе и в России. В мире насчитывается около 130 тысяч ветроустановок общей мощностью свыше 6000 МВт.

Около 30 % ветрового экономического потенциала сосредоточено на Дальнем Востоке, примерно 30—35 % в Западной и Восточной Сибири, 14 % в Северном экономическом районе.

В настоящее время ветроэнергетические установки (ВЭУ) используются в основном индивидуальными потребителями (на фермерских и садоводческих участках, в пунктах вахтовиков, на горных пастбищах, в приютах альпинистов, на метеорологических станциях и радиорелейных постах). Развитие ветроэнергетики в России позволило бы использовать экономический потенциал в 10—20 тыс. МВт, что эквивалентно 12—15 млн. т у.т. в год. Так, цепочка ВЭУ, установленных на дамбе в Санкт-Петербурге, способна выработать столько энергии, сколько выдают два блока ЛАЭС (Я. Б. Данилевич).

ВЭУ, разработанные в России, эксплуатируются во всех регионах страны, а также в Финляндии, Германии, Дании, Японии и в ряде других стран мира.¹

Все больше внимания в хозяйственной практике уделяется использованию солнечной энергии. Это объясняется не только неук-

¹ Энергия и промышленность России, № 3, 2000. По материалам АО НПО „НЕ-ГРАЭЛ”: ВЭУ созданы в Государственном научном центре РФ—ЦНИИ „Электроприбор” (тип „УВЭ-500”). Аналогичные ветровые энергоустановки (типа „Муссон”) разрабатываются в Санкт-Петербурге на базе НПО „ЭлектроСфера”.

лонным истощением традиционных топливно-энергетических ресурсов. Во многих южных регионах страны велика продолжительность прямой солнечной радиации, поступающей к земной поверхности. Открываются реальные перспективы практического использования этого вида энергии.

Однако солнечная радиация неравномерно распределяется по территории страны. Тем не менее уже созданы гелиоустановки (опреснители, холодильники, теплицы и др.), разрабатываются и солнечные электростанции.

Все это требует знания климатических радиационных характеристик местности и прежде всего данных о прямой солнечной радиации — ее интенсивности, энергетической оценке ($\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$), о продолжительности солнечного сияния, данных о рассеянной и суммарной радиации. Учету подлежит и характеристика вариации радиации во времени. На основании этих радиационных характеристик выбирается тип гелиоустановки и рассчитываются его теплотехнические параметры. Эффективность работы гелиоустановки зависит от интенсивности и непрерывной продолжительности солнечного сияния и ряда технических показателей.

В качестве примерной оценки рассмотрим потенциальные климатические ресурсы (тепловые, ветровые и радиационные) по Ленинградской области и Санкт-Петербургу, которые были исследованы Н. В. Кобышевой и М. В. Ключевой.

Важной климатической характеристикой в строительной теплотехнике является продолжительность и температура отопительного периода, а также число градусо-дней за отопительный период¹. Наряду с этим используются квантили температуры воздуха наиболее холодных суток различной обеспеченности и температура наиболее холодной пятидневки — расчетная температура t_p . На рис. 18.4 приведена карта расчетной температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) в холодный период по Ленинградской области. На основании данных, приведенных на карте, выбирается оптимальная расчетная температура воздуха. Экономический эффект практической реализации этого метода по территории бывшего СССР составлял ежегодно более 200 млрд. руб. Использование дополнительно характеристик ветра в целях уточнения инфильтрации воздуха в здание позволяет снизить затраты на отопление, кондиционирование и искусственную вентиляцию на 670 млн. руб. ежегодно по Санкт-Петербургу и Ленинградской области.

¹ Такая климатическая характеристика, как число градусо-дней, введена в 1995 г. специальным Постановлением Министерства строительства России (№ 16 от 11.08.95) в качестве критерия выбора сопротивления ограждающих конструкций.

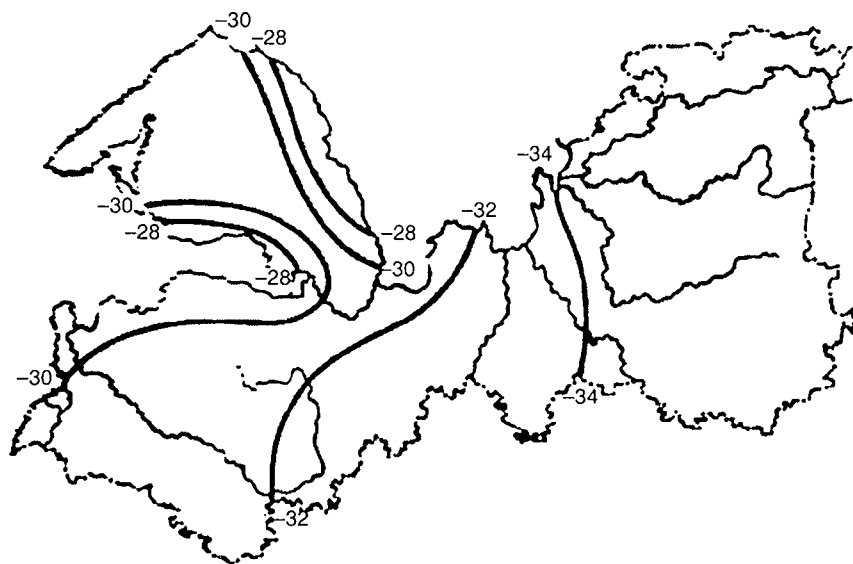


Рис. 18.4. Расчетная температура воздуха (°C) в холодный период для Ленинградской области. По Н. В. Кобышевой.

Среднее число градусо-суток за отопительный период (ГСОП) определяется по формуле

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{н}} - t_{\text{от}}) \tau_{\text{от}}, \quad (18.32)$$

где $\tau_{\text{от}}$ — средняя продолжительность отопительного периода, сут.

Необходимые при этом расходы тепловой энергии (Гкал, ГДж) составят величину

$$Q^* = cV(t_{\text{н}} - t_{\text{от}}) \tau_{\text{от}}, \quad (18.33)$$

где c — удельная тепловая характеристика (ккал/(м³ · °C)), V — объем, м³.

На рис. 18.5 приведено среднее число ГСОП по Санкт-Петербургу. Видно, что минимум теплотерь ($Q_{\text{н}}$, $Q_{\text{п}}$, см. п. 16.2.1) приходится на центральную часть города, где зимой отмечается остров тепла (Л. Т. Матвеев). Зимой при морозной антициклонической погоде отмечаются наибольшие различия в тепловом режиме центра города и его периферии, что оценивается примерно в 350 ГСОП.

Районирование тепловых климатических ресурсов по Ленинградской области позволило выделить четыре характерных района. Так, на севере и северо-востоке области „отопительный день” в теп-

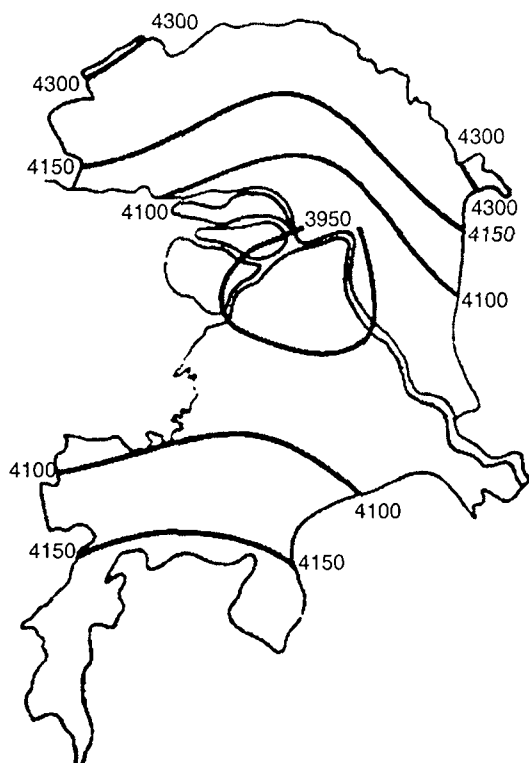


Рис. 18.5. Среднее число ГСОП по Санкт-Петербургу.

лоэнергетике, по оценкам Н. В. Кобышевой и О. Б. Ильиной, стоит около 1 млн. рублей. Во втором и третьем районах, расположенных южнее, „отопительный день” оценивается примерно в 700 тыс. рублей. В четвертом районе — западная часть области — теплотраты на отопление обходятся значительно дешевле.

Известное зональное распределение температурно-ветрового режима по Ленинградской области вызывает неравномерность нагрузки электроисточников и необходимость в отдельные периоды предусмотреть перераспределение электроэнергии по территории¹.

¹ В Ленинградской области работает 6 ГРЭС (Верхняя и Нижняя Подпорожская ГРЭС, Лесогорская, Светогорская, Волховская и Нарвская), сеть ТЭС, Сосновоборская АЭС. Атомная энергетика поставляет в область 60 % энергии, гидроэлектростанции 16—17 %, тепловые электростанции — 23—24 %.

Различные области исследования климата подтверждают все многообразие использования климатических ресурсов. В настоящее время выделяют:

- глобальный климат (макроклимат),
- региональный климат (местный климат),
- локальный климат (климат данного пункта, города),
- микроклимат (части города, участка леса и т. п.),
- климат природных зон (тундры, степей, пустынь и др.),
- климат прибрежных зон,
- климат тайги,
- горный климат (включая мезоклимат долин, склонов и др.),
- климат приземного слоя воздуха,
- климат почвы,
- климат растений (фитоклимат).

Климатические ресурсы обладают известными свойствами: *ограниченностью* (изменчивостью климатических характеристик), *ценой* (денежной оценкой климатической продукции — информации) и *реализацией*, точнее *материализацией* (практическим результативным использованием в конкретной области народного хозяйства).

Климатические ресурсы делятся на группы по отраслевому признаку: агроклиматические ресурсы, энергоклиматические (включая топливно-климатические), ресурсы для строительства и другие. Вместе с этим используется и территориальный признак: региональные климатические ресурсы, местные, локальные, микроклиматические ресурсы и другие.

Климатические ресурсы входят в комплексную оценку природных ресурсов страны. Общим показателем климатических ресурсов является климатический потенциал.

Количественное описание климатического потенциала является довольно сложной задачей.

Н. В. Кобышева и О. Б. Ильина определили специализированные показатели для отдельных отраслей производства (табл. 18.3).

Для более полной характеристики климатических ресурсов вводятся понятия — *потенциальные климатические ресурсы* (ПКР) и *региональные климатические ресурсы* (РКР). ПКР содержат общие, известные климатические ресурсы, которые используются на практике. РКР — только часть потенциала, которая используется в конкретной области хозяйственной деятельности.

Все климатические характеристики (температура, ветер, осадки и т. п.), специализированные климатические показатели (см. табл. 18.3), комплексные климатические показатели (гидротермиче-

Таблица 18.3

Специализированные показатели основных групп климатических ресурсов для технических систем и человека. По Н. В. Кобышевой и О. Б. Ильиной

Группа	Подгруппа (разновидность)	Специализированные показатели
Энергетический комплекс	Ветроэнергетическая	Средний куб скорости ветра, повторяемость энергетических затиший и ветров разрушительной силы
	Гелиоэнергетическая	Суммы прямой и суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность
	Гидроэнергетическая (ГЭС)	Месячная сумма осадков, повторяемость периодов без осадков или с осадками менее 5 мм
	Тепловая энергетика (ТЭС)	Квантили температуры воздуха и энтальпии
	Атомная энергетика (АЭС)	Температура воздуха и скорость ветра, возможные раз в 10 000 лет, повторяемость смерчей
	Передача энергии	Среднее число дней с обледенением гололедного станка за год, квантиль максимальной скорости ветра
Строительство	Тепловой режим зданий	Среднее число градусо-дней, температура наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92), скорость ветра (обеспеченностью 0,80), сумма суммарной солнечной радиации за год, приходящей на вертикальную поверхность при средних условиях облачности, или дефицит тепла (восточная стена) при учете всей приходящей радиации
	Нагрузки и воздействия	Расчетные значения скорости ветра, гололедно-изморозевые отложения, вес снежного покрова, возможные раз в 20 лет
	Водоснабжение и канализация	Средняя интенсивность осадков за 20 мин, среднее число дождей за год, средняя интенсивность снеготаяния, сумма осадков за год, глубина промерзания почвы
	Производство строительных работ	Число дней со скоростью ветра > 10 м/с при отрицательной температуре воздуха, число дней со скоростью ветра ≥ 12 и ≥ 15 м/с

Группа	Подгруппа (разновидность)	Специализированные показатели
Сухопутный транспорт	Автомобильный транспорт	Повторяемость гололедицы на дорогах, опасных явлений погоды
	Железнодорожный транспорт	Повторяемость опасных явлений погоды, средний прирост снежного покрова за сутки
Коммунальное хозяйство	Магистральный трубопровод	Наибольшая декадная высота снежного покрова за год, максимальная глубина промерзания почвы и протаивания вечной мерзлоты
	Отопление	Продолжительность и средняя температура отопительного периода, суммы суммарной солнечной радиации на вертикальную поверхность за год при средних условиях облачности с учетом застройки
	Снего- и водоборьба	Средняя интенсивность снеготаяния осадков за 20 мин, максимальный и средний из максимальных суточных приросты высоты снежного покрова
	Функционирование производства и санитарно-технических предприятий	Среднее значение энтальпии теплого и холодного периода, минимальная и максимальная температура воздуха

ский коэффициент Селянинова, индекс суровости по Осокину, эквивалентно-эффективная температура по Русакову и др.) выражены в различных единицах измерения. Это затрудняет их сопоставление.

Возникла необходимость выразить все, любой сложности климатические параметры в условных единицах. Исходные климатические ресурсы (температура, ветер, число градусо-дней, комплексные показатели и др.) переводятся в безразмерный вид: нормируются и переводятся в баллы.

Согласно Н. В. Кобышевой и О. Б. Ильиной, *положительные климатические ресурсы*, отражающие благоприятные влияния климата, определяются по формуле

$$X_{\text{пл}} = 10 \frac{x - x_{\text{мин}}}{x_{\text{макс}} - x_{\text{мин}}}, \quad (18.34)$$

где x — значение климатической характеристики, показателя и др. в принятых единицах измерения (°С, мм/12 ч, кДж, кг/м² и др.)

Для отрицательных климатических ресурсов, вызывающих неблагоприятные (ущербные) последствия в хозяйственной и иной практике, используется формула

$$X_{\text{от}} = 10 - 10 \frac{x - x_{\text{мин}}}{x_{\text{макс}} - x_{\text{мин}}}. \quad (18.35)$$

За 10 баллов принимается абсолютное максимальное значение ресурсной характеристики:

а) при положительных ресурсах 10 баллов — максимальное значение, 0 баллов — минимальное;

б) при отрицательных ресурсах 10 баллов — минимальное значение, 0 баллов — максимальное.

Переведенные в баллы ресурсные характеристики суммируются по пункту или территории. Затем балльная оценка переводится в относительные значения (относительно суммы) и выражается в 1000 условных единиц. Тем самым устанавливаются *условные климатические единицы (УКЕ)*

$$УКЕ = \frac{\text{балл}}{\sum_{i=1}^n \text{балл}} \cdot 1000, \quad (18.36)$$

где n — общее число рассчитанных значений ресурсной характеристики в баллах.

Величина ПКР по территории (или пункту) устанавливается как сумма *УКЕ* по ряду i -х потребителей, отраслей, использующих климатическую информацию

$$ПКР = \sum_{i=1}^m (УКЕ)_i. \quad (18.37)$$

На рис. 18.6 приведены картированные значения ПКР по Ленинградской области для таких отраслей, как энергетика, строительство, транспорт и коммунальное хозяйство. Наибольший потенциал климатических ресурсов сосредоточен в западных районах области.

Аналогичные оценки выполнены в ГГО по всей России. На рис. 18.7 приведена ресурсная оценка климата для транспорта. Выделены области, где климатические ресурсы для данной отрасли экономики имеют высокую степень полезности (7,1—8,0), а также регионы с неблагоприятными для транспорта климатическими условиями.

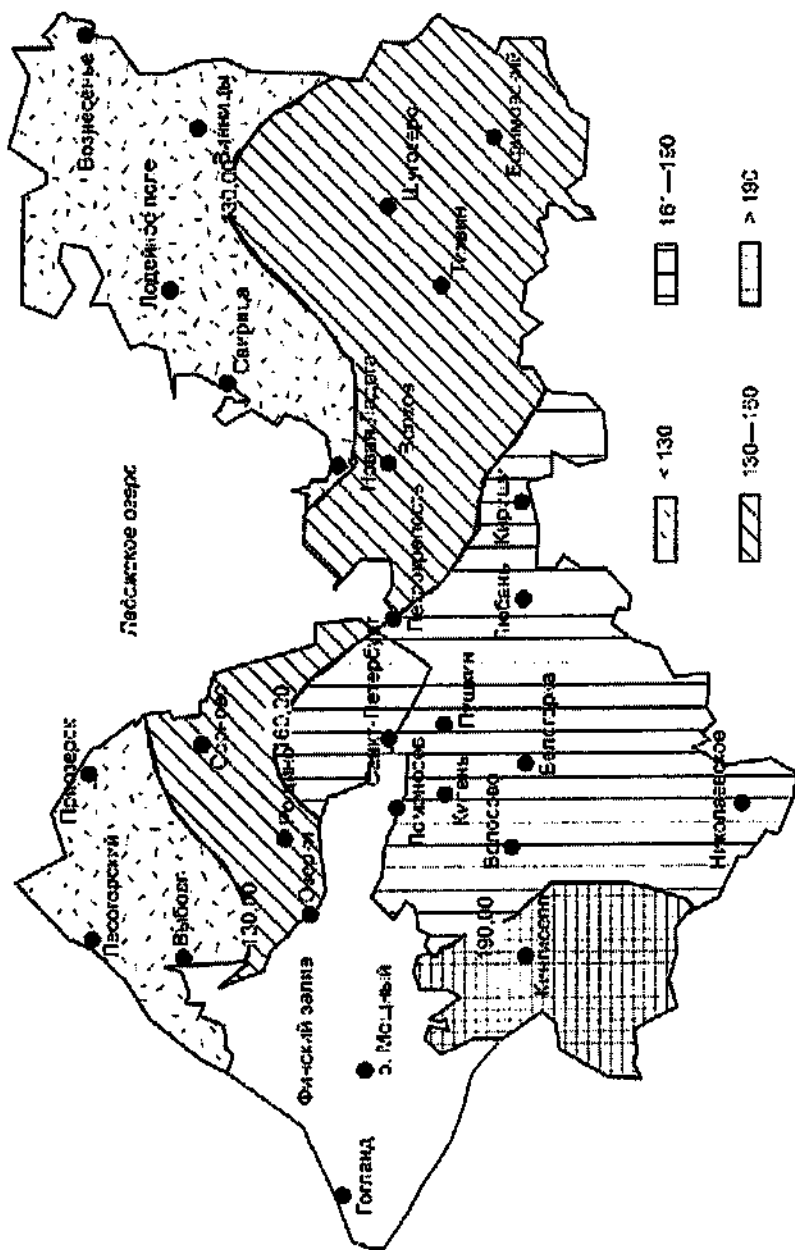


Рис. 18.6. Климатические ресурсы Ленинградской области в условных климатических единицах.
По Н. В. Кобышевой и О. В. Ильиной.

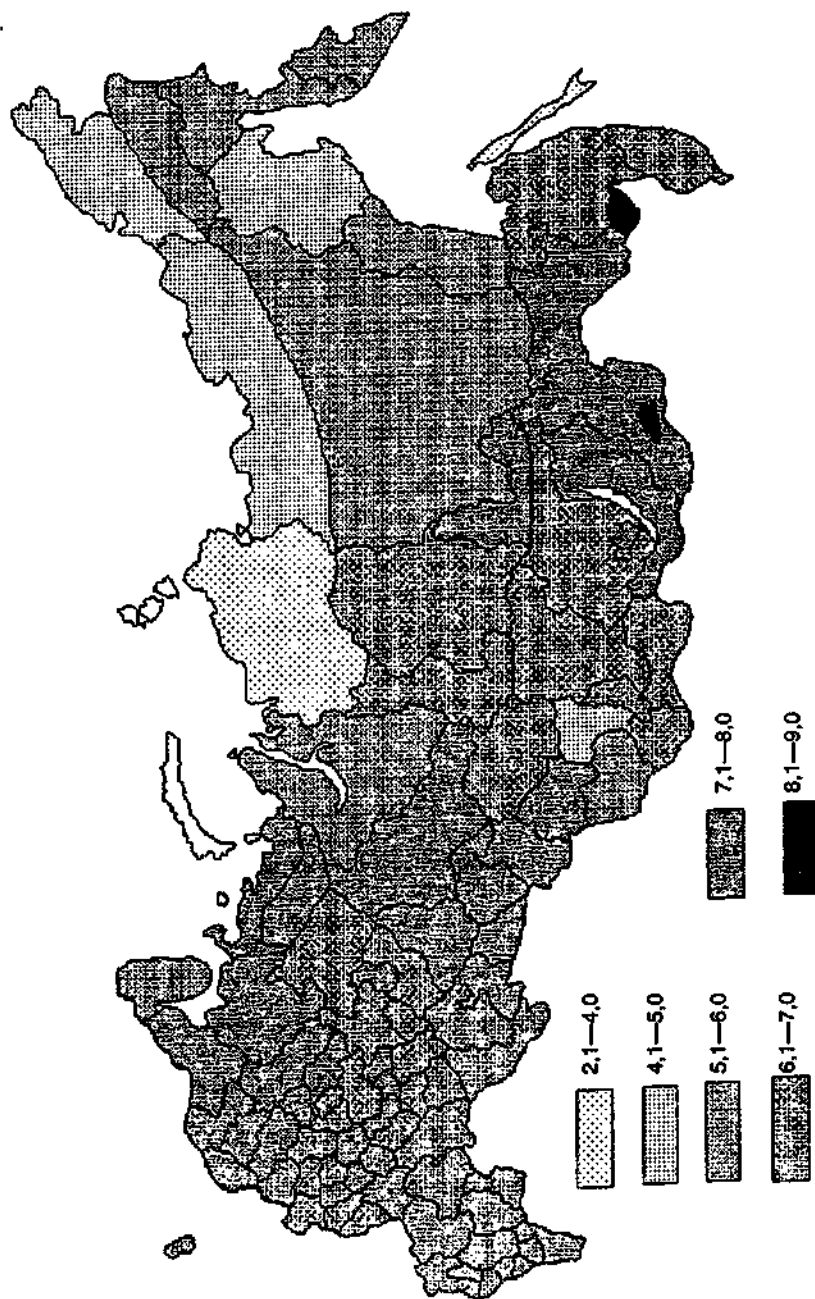


Рис. 18.7. Климатические ресурсы для транспорта по России в баллах. По Н. В. Кобышовой и О. Б. Ильиной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние десятилетия — в годы нарастающей неустойчивости погоды и климата — метеорологическая информация, а в более широком смысле — гидрометеорологическая, приобретает все большее экономическое значение в хозяйственной практике. Использование знаний о погоде и климате позволяет снижать или предотвращать метеорологические потери. Вместе с тем погода и климат остаются факторами, благоприятствующими жизнедеятельности человека.

Такого рода оценки рассматриваются в экономической метеорологии, что позволяет потребителю выбрать оптимальные погодохозяйственные решения и стратегии. Оптимизация метеорологической информации в рамках байесовского подхода рассматривается как наиболее эффективный метод минимизации метеорологического риска. Тем самым открывается возможность оценки экономической полезности метеорологической продукции и прогнозов погоды в особенности.

Метеорологическая информация как ресурсное богатство неисчерпаема. Государственный статус ее постоянно растет. Она все более эффективно включается в планы развития экономики как всего государства, так и отдельных его регионов и отраслей.

Развитие экономической метеорологии и ее практических приложений требует дальнейших исследований в этой области знания. Так, необходима разработка функций потерь, в большей мере отражающих отраслевую специфику потребителя. Известно, что многие потребители используют прогнозы в режиме простой альтернативы. Требуется постепенный перевод регламента погодохозяйственных решений (действий) из простой альтернативы в более высокую дискретность, что позволит повысить эффективность использования метеорологических прогнозов. Необходимы отраслевые разработки, апробации и внедрения частных методов выбора оптимальных решений и стратегий.

Это только те задачи, которые достаточно очевидны и отражаются в учебнике.

Все они бесспорно посильны растущим кадрам при освоении основных положений, приведенных в учебнике.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Влияние погоды на строительные работы

Явление	Влияние
Дождь	1. Уменьшается доступность рабочих мест и усложняется передвижение 2. Портятся отдельные поверхности 3. Задерживается просушка зданий 4. Затрудняется выполнение земляных работ. 5. Задерживаются бетонирование, кирпичная кладка и вообще все наружные работы 6. Портятся неукрытые материалы 7. Создается дискомфорт для рабочих 8. Увеличивается опасность на строительных площадках
Дождь в сочетании с сильным ветром	1. Увеличивается проникновение дождя 2. Уменьшаются защитные свойства горизонтальных покрытий 3. Увеличивается опасность на строительных площадках
Сильный ветер	1. Увеличивается опасность при установке стальных конструкций и строительных лесов, затрудняются кровельные, отделочные и иные подобные работы 2. Ограничивается или полностью исключается работа подъемных кранов, работа в люльках и т. д. 3. Затрудняется кладка стен, особенно при наружном покрытии и нестандартных конструкциях 4. Разбрасываются неупакованные материалы 5. Подвергаются опасности разрушения временные заграждения
Низкие положительные и отрицательные температуры	1. Затрудняются использование растворов извести, бетонирование, кирпичная кладка и т. д. 2. Замедляется или приостанавливается уплотнение бетона 3. Замерзает грунт, что затрудняет выполнение связанных с ним работ, в частности бетонирование

Явление	Влияние
Низкие положительные и отрицательные температуры в сочетании с сильным ветром	4. Замедляются земляные работы
	5. Задерживаются покраска, штукатурка и т. д.
	6. Задерживаются или прекращаются работы по перевозке механического оборудования
	7. Замерзают незащищенные водопроводные трубы и повреждаются другие объекты обслуживания
	8. Замерзают материалы, сложенные в штабель
	9. Нарушается снабжение материалами
	10. Возрастают транспортные затруднения
	11. Создаются дискомфорт и затруднения для строительных рабочих
	12. Рабочие площадки, стальные конструкции и др. покрываются инеем
	1. Увеличиваются вероятность замерзания и интенсивность указанных выше эффектов 1—12
	1. Создаются затруднения при перевозке рабочих, оборудования и материалов
	2. Заносятся хранящиеся вне помещений материалы
	3. Увеличиваются дискомфорт и опасность для рабочих
Снег	4. Затрудняются все виды наружных работ
	5. Появляется дополнительная нагрузка на горизонтальные поверхности
Снег в сочетании с сильным ветром	1. Вызывается перенос снега, который может нарушить внешние связи

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Опасные метеорологические явления и их критерии

Название	Определение	Критерии
Очень сильный ветер		Средняя скорость ветра не менее 20 м/с, на побережье морей и в горных районах не менее 25 м/с. Мгновенная скорость ветра (порыв) не менее 25 м/с, на побережье морей и в горных районах не менее 30 м/с
Шквал	Резкое кратковременное усиление ветра	Мгновенная скорость ветра более 25 м/с в течение не менее 1 мин
Смерч	Сильный маломасштабный атмосферный вихрь в виде столба или воронки, направленный от облака к земной поверхности	
Сильный ливень	Сильный ливневый дождь	Количество жидких осадков не менее 30 мм за период не более 1 ч
Очень сильный дождь	Значительные жидкие и смешанные осадки (дождь, ливневый дождь, мокрый снег, дождь со снегом)	Количество осадков не менее 50 мм за период не более 12 ч
Очень сильный снег	Значительные твердые осадки (снег, ливневый снег и др.)	Количество осадков не менее 20 мм за период не более 12 ч
Продолжительный сильный дождь	Дождь непрерывный (с перерывами не более 1 ч) в течение нескольких суток	Количество осадков не менее 120 мм за период не менее 2 сут
Крупный град		Диаметр градин более 20 мм
Сильная метель	Общая или низовая метель при сильном ветре, вызывающая значительное ухудшение видимости	Средняя скорость ветра не менее 15 м/с, МДВ не более 500 м
Сильная пыльная буря	Перенос пыли или песка при сильном ветре, вызывающий значительное ухудшение видимости	Средняя скорость ветра не менее 15 м/с, МДВ не более 500 м

Название	Определение	Критерии
Сильный туман	Туман со значительным ухудшением видимости	МДВ не более 50 м
Гололедно-изморозевое отложение	Сильное отложение на проводах гололедного станка	Диаметр (мм) не менее: гололеда 20 сложного отложения 35 мокрого снега 35 изморози 50
Чрезвычайная пожарная опасность	Показатель пожарной опасности не ниже 5-го класса	Сумма значений температуры воздуха за бездождный период не менее 10 000 °С
Сильная жара	Высокая максимальная температура воздуха в течение продолжительного времени	Максимальная температура воздуха не менее 35 °С в течение более 5 сут
Сильный мороз	Низкая минимальная температура воздуха в течение продолжительного времени	Минимальная температура не менее -35 °С в течение не менее 5 сут

Опасные агрометеорологические явления и их критерии

Заморозки	Понижение минимальной температуры воздуха или поверхности почвы до отрицательных значений в период с устойчивой средней суточной температурой воздуха 5 °С и выше	Температура воздуха или поверхности почвы -2 °С и ниже ¹
Переувлажнение почвы	Избыточное увлажнение почвы в течение длительного времени в вегетационный период	Содержание влаги в слое почвы 0—20 см превышает значение капиллярной влагоемкости почвы ² в течение 20 сут подряд и более
Засуха атмосферная	Комплекс факторов: длительное отсутствие эффективных осадков, высокая температура и низкая влажность воздуха в вегетационный период	В течение не менее 30 сут сумма осадков не более 5 мм, максимальная температура воздуха выше 25 °С (в южных районах выше 30 °С), относительная влажность воздуха не более 30 %, дефицит насыщения воздуха не менее 40 гПа

¹ При наличии экономически значимых площадей под культурами.

² При отсутствии данных рассчитывают как среднее значение полной и наименьшей влагоемкости.

Название	Определение	Критерии
Засуха почвенная	Низкий запас продуктивной влаги в почве в течение длительного времени в вегетационный период	В течение не менее 20 сут подряд запас продуктивной влаги в слое 0—20 см не более 5 мм и/или не более 25 мм в слое 0—100 см
Суховой	Ветер при высокой температуре и низкой влажности воздуха в период цветения, налива, созревания зерновых культур	В течение 3 сут подряд скорость ветра не менее 8 м/с, температура воздуха выше 25 °С, относительная влажность воздуха не более 30 % хотя бы в один из сроков наблюдений, дефицит влажности воздуха не менее 40 гПа в 15 ч

Опасные гидрологические явления и их критерии

Высокий уровень воды	Уровень воды при половодьях, паводках, заторах и зажорах, вызывающий затопление пониженных участков местности, сельскохозяйственных полей, автомобильных и железных дорог	Для каждого поста устанавливает УГМС (ЦГМС)
Низкий уровень воды (низкая межень)	Уровень воды ниже проектных отметок водозаборных сооружений и оросительных систем, предельных навигационных уровней на судоходных реках и водоемах в течение не менее 10 сут	То же
Раннее ледообразование	Экстремально раннее появление плавучего льда и образование ледостава на судоходных реках, озерах	Дата раннего ледообразования повторяемостью не чаще 1 раза в 10 лет; устанавливается УГМС (ЦГМС)
Особые ледовые явления	Навалы льда на берегу около гидротехнических, портовых и других сооружений, образующиеся при заторах и в результате дрейфа льда; массовые образования внутриводного льда вблизи ГЭС и водопроводов; промерзание до дна водоемов и водотоков	Устанавливает УГМС (ЦГМС) по степени разрушения и размерам ущерба повторяемостью не чаще 1 раза в 10 лет

Название	Определение	Критерии
Наледные явления	Образование наледи в руслах и поймах рек, угрожающее населенным пунктам, народнохозяйственным объектам и затрудняющее движение транспорта	Устанавливает УГМС (ЦГМС) в зависимости от эксплуатационных характеристик объектов
Очень большие расходы воды	Расходы воды (естественные, сбросные через гидроузлы или при прорыве плотин), нарушающие нормальные условия эксплуатации гидротехнических сооружений и хозяйственных объектов	Расходы воды (обеспеченностью не более 10 %); определяются УГМС (ЦГМС)
Очень малые расходы воды	Расходы воды (естественные, сбросные через гидроузлы), нарушающие нормальные условия эксплуатации гидротехнических сооружений и хозяйственных объектов	Расходы воды (обеспеченностью не менее 90 %); определяются УГМС (ЦГМС)
Сель	Кратковременный паводок большой разрушительной силы с очень большим содержанием минеральных частиц и обломков горных пород в бассейнах небольших горных рек и сухих логов со значительными уклонами тальвега	—
Лавина ¹	Быстрое, внезапно возникающее движение снега по крутым склонам гор, представляющее угрозу жизни людей и причиняющее ущерб объектам экономики	—

Опасные морские гидрометеорологические явления и их критерии

Цунами ²	Морские волны, возникающие при подводных и прибрежных землетрясениях и приводящие к катастрофическим последствиям

¹ Места появления ОЯ *сель*, *лавина* и последствия их прохождения устанавливаются специалистами УГМС (ЦГМС) вне зависимости от интенсивности и площади охвата этими явлениями.

² Места наблюдений за ОЯ „цунами” устанавливают специалисты УГМС (ЦГМС) вне зависимости от интенсивности и площади охвата этими явлениями.

Название	Определение	Критерии
Шторм на море	Сильный ветер в открытом море	Средняя скорость ветра не менее 20 м/с и порывы не менее 25 м/с
Ураган на море	Чрезвычайно сильный ветер в открытом море	Средняя скорость ветра не менее 30 м/с и порывы не менее 35 м/с
Водяной смерч	Атмосферный вихрь в виде вращающегося воздушного столба или воронки, наблюдаемый над поверхностью моря	Скорость ветра не менее 20 м/с
Сильное волнение	Высокие ветровые волны и волны зыби	Высота волн не менее 4 м в прибрежной зоне, не менее 6 м в открытом море, не менее 8 м в открытом океане
Обледенение судов	Быстрое образование корки плотного льда на корпусе, палубе и надстройках судна при замерзании брызг воды	Интенсивность нарастания льда не менее 2 см/ч
Штормовой нагон	Сильное повышение уровня моря в прибрежной зоне моря или морском устье реки под воздействием нагонного ветра	Для каждого пункта устанавливает УГМС
Штормовой сгон	Сильное понижение уровня моря в прибрежной зоне моря или морском устье реки под воздействием сгонного ветра	То же
Сильный тягун в морском порту ¹	Резонансные длинноволновые колебания массы воды в портовых акваториях	Горизонтальное перемещение судов не менее 1 м
Интенсивный дрейф льда	Опасный дрейф скоростью более 1 км/ч ледяных полей размером более 20 м и толщиной более 10 см в прибрежной зоне моря	Устанавливает УГМС по степени опасности, зонам проявления и возможному ущербу

¹ Перечень портов, в которых следует вести наблюдения за ОЯ „сильный тягун”, а также зоны проявления ОЯ „сильное сжатие льдов” устанавливают специалисты УГМС.

Название	Определение	Критерии
Раннее появление льда	Необычно раннее появление плавающего льда и припая относительно средних многолетних сроков	Дата раннего появления льда; устанавливается УГМС
Сильное сжатие льдов ¹	Сжатие льдов в море, препятствующее безопасному проходу судов на трассах ледового плавания	Степень сжатия льдов 3 балла и более
Сильное проникновение морских вод в устье реки	Проникновение соленых (соленостью более 1 %) морских вод в устье реки на значительное расстояние, создающее угрозу нормальному водоснабжению	Устанавливает УГМС для конкретных устьев рек

¹ Перечень портов, в которых следует вести наблюдения за ОЯ „сильный тягун”, а также зоны проявления ОЯ „сильное сжатие льдов” устанавливают специалисты УГМС.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Сводная таблица критериев (мер, коэффициентов) успешности прогнозов погоды

Критерий (название, автор)	Формула	Характеристика критерия
Критерий независимости: χ^2 — критерий Пирсона. Мера наличия связи	$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{(n_{ij} - n_{ij}^{ca})^2}{n_{ij}^{ca}}$	Применительно к моделям (таблицам сопряженности) ($n = m$) > 2. Оценка независимости (проверка гипотезы H_0). Пределы изменения: $[0, \infty]$.
Меры тесноты связи — зависимости признаков $\Pi_j \sim \Phi_i$		
Коэффициент корреляции r , коэффициент Бравайса—Пирсона r^2 — мера обусловленности переменных	$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma_x \sigma_y}; \quad x = \Pi; \quad y = \Phi;$ $\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{N}}.$	Условная величина линейной связи признаков $\Pi_j \sim \Phi_i$. Здесь ($n = m$) > 2. Пределы изменения (нормировка): $[1, -1]$. r^2 — мера однонаправленной коррелированности.
Корреляционное отношение η	$\eta = \sqrt{\frac{\sigma^2(Y_x)}{\sigma_y^2}}$	Условная величина нелинейной связи признаков $\Pi_j \sim \Phi_i$. Здесь ($n = m$) > 2. Пределы изменения (нормировка): $[1, -1]$.
Коэффициент качественной корреляции r_k	$r_k = \frac{n_{11}n_{22} - n_{12}n_{21}}{\sqrt{n_{10}n_{20}n_{01}n_{02}}}$	Мера сопряженности дихотомических признаков $\Pi_j \sim \Phi_i$ при $n = m = 2$. Пределы изменения (нормировка): $[1, -1]$.
Коэффициент тетраэрической корреляции r_t	$r_t = \sin \left(\frac{\pi \sqrt{n_{11}n_{22}} - \sqrt{n_{12}n_{21}}}{2 \sqrt{n_{11}n_{22}} + \sqrt{n_{12}n_{21}}} \right)$	Мера связи между дихотомическими признаками $\Pi_j \sim \Phi_i$ при $n = m = 2$. Пределы изменения (нормировка): $[1, -1]$.
Меры связи, основанные на χ^2		
Мера сопряженности ϕ	$\phi = \left(\frac{\chi^2}{N} \right)^{1/2}$	Применительно к таблицам сопряженности при ($n = m$) > 2. Пределы изменения (нормировка): $[0, \infty]$.

Критерий (название, автор)	Формула	Характеристика критерия
Мера сопряженности C	$C = \left(\frac{\chi^2}{\chi^2 + N} \right)^{1/2}$	Применительно к таблицам сопряженности. Пределы изменения (нормировка): $[0, \infty]$. φ всегда больше C .
Коэффициент сопряженности K (по Чупрову)	$K = \left(\frac{\chi^2/N}{\sqrt{(\kappa_1 - 1)(\kappa_2 - 1)}} \right)^{1/2}$	При $(n = m) \geq 2$, $(n \neq m > 2)$. Пределы изменения (нормировка): $[0, 1]$. При $n = m = 2$ $K = V$.
Мера сопряженности Крамера — V	$V = \left(\frac{\chi^2}{N \cdot \min[(\kappa_1 - 1)(\kappa_2 - 1)]} \right)^{1/2}$	Аналогично K — альтернатива независимости. Пределы изменения (нормировка): $[0, 1]$.
Коэффициент сходства: $A = r_k$	$A = r_k$	
Критерии (показатели) успешности альтернативных прогнозов ($n = m = 2$)		
Отношение преобладаний Θ	$\Theta = \frac{n_{11} n_{22}}{n_{12} n_{21}}$	Мера преимущества удачных прогнозов. Пределы изменения: $[0, \infty]$.
Отношение преобладаний Ψ	$\Psi = \frac{(n_{11} + 0,5)(n_{22} + 0,5)}{(n_{12} + 0,5)(n_{21} + 0,5)}$	Аналогично Θ . Пределы изменения: $[0, \infty]$. ($\Psi = 1$ — связь отсутствует).
Коэффициент связи Юла — $Q_{Ю}$	$Q_{Ю} = \frac{n_{11} n_{22} - n_{12} n_{21}}{n_{11} n_{22} + n_{12} n_{21}}$	Пределы изменения: $[1, -1]$.
Надежность прогнозов: H (по Н. А. Багрову)	$H = \frac{p - p_{сл}}{1 - p_{сл}}$	Мера преимущества методических прогнозов относительно случайных. Пределы изменения: $[1, -1]$.
Точность прогнозов: Q (по А. М. Обухову)	$Q = 1 - \left(\frac{n_{12}}{n_{10}} + \frac{n_{21}}{n_{20}} \right)$	Относительная доля удачных прогнозов. Пределы изменения: $[1, -1]$.
Критерий успешности Хайдке — S	$S = \frac{N_0 - E}{N - E}$	Мера преимущества методических прогнозов относительно стандартных. Пределы изменения: $[0, 1]$.

Критерий (название, автор)	Формула	Характеристика критерия
Показатели успешности прогнозов		
Общая оправданность — p	$p = \frac{n_{11} + n_{22}}{N}$	Доля успешных (удачных) прогнозов. Пределы изменения: [0, 1].
Предупрежденность опасного условия (явления) погоды $q(\Phi)$	$q(\Phi) = \frac{n_{11}}{n_{10}}$	Доля удачности прогнозов наличия явления. Пределы изменения: [0, 1].
Мера чувствительности редких явлений λ^*	$\lambda^* = \frac{q_{11}}{p_{10}}$	Чувствительность модели (метода) к редким явлениям погоды. Пределы изменения: [0, 1].
Коэффициент совместимости признаков $\Pi_j \sim \Phi_i \lambda_0$	$\lambda_0 = 1 + \frac{1 - n_{10}/N}{n_{01}/N} \left(\frac{n_{11}}{n_{10}} - \frac{n_{21}}{n_{20}} \right)$	Превосходство условной вероятности признака над безусловной. Пределы изменения: $0 \leq \lambda_0 < 1$ — Π есть антипризнак Φ , $\lambda_0 > 1$ — Π есть признак Φ .
Показатель взвешенной оправданности по Л. А. Хандожко p_x	$p_x = \frac{1}{N} \left[n_{11} \left(1 - \frac{n_{12}}{n_{10}} \right) + n_{22} \left(1 - \frac{n_{21}}{n_{20}} \right) \right]$	Мера оправданности, учитывающая „веса” ошибок-пропусков и ошибок-страховок. Пределы изменения: [0, 1].
Адекватность прогнозов по Л. А. Хандожко A_x	$\begin{aligned} A_x &= 0,5 \left[\left(\frac{n_{11}}{n_{01}} + \frac{n_{22}}{n_{02}} \right) - \left(\frac{n_{21}}{n_{10}} + \frac{n_{12}}{n_{20}} \right) \right] = \\ &= 0,5 \left[\left(\frac{n_{11}}{n_{10}} + \frac{n_{22}}{n_{20}} \right) - \left(\frac{n_{12}}{n_{02}} + \frac{n_{21}}{n_{01}} \right) \right] \end{aligned}$	Учитывается условный (по прогнозу) успех и безусловная (по факту) ошибочность. Пределы изменения: [1, -1].

Критерий (название, автор)	Формула	Характеристика критерия
Меры снижения ошибочности прогнозирования		
Мера Гутмана λ	$\lambda = \frac{(\sum_{j=1}^m n_{j\text{макс}} - n_{i0\text{макс}}) + (\sum_{i=1}^n n_{i\text{макс}} - n_{0j\text{макс}})}{2N - n_{i0\text{макс}} - n_{0j\text{макс}}}$	Мера двусторонней взаимной связи признаков $\Pi_j \sim \Phi_i$. Пределы изменения: $[1, -1]$. Эффективнее для модели $(n = m) > 2$
Мера Гудмэна—Крускала τ	$\tau = \frac{\sum_i \sum_j [(N n_{ij} - n_{i0} n_{0j})^2 / n_{0j}] + \sum_j \sum_i [(N n_{ij} - n_{i0} n_{0j})^2 / n_{i0}]}{2N^3 - N(\sum_i n_{i0}^2 + \sum_j n_{0j}^2)}$	Аналогично λ . Пределы изменения: $[1, -1]$.
Информационная мера успешности		
Информационное отношение ν	$\nu = 1 - \frac{H(\Pi)}{H(\Phi)}$	Мера устранения неопределенности климатологического прогноза за счет методического. Пределы изменения: $[0, 1]$.
Ранговые меры связи		
Мера Гудмэна и Крускала γ	$\gamma = \frac{S' - D}{S' + D}$	Вероятностная оценка соотношения правильного и неправильного порядков. Пределы изменения: $[1, -1]$.
Мера Кендалла τ_k	$\tau_k = \frac{2(S' - D)}{\sqrt{(S' + D + T_a)(S' + D + T_b)}}$	Мера ранговой корреляции. Пределы изменения: $[2, -2]$.
Мера Сомерса d_s	$d_s = \frac{S' - D}{S' + D + T_s}$	Аналогично τ_k . Пределы изменения: $[1, -1]$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Потери (убытки) некоторых потребителей и стоимость защитных мер

Отраслевые и ведомственные народнохозяйственные организации	Возможные по- тери (s_{12}) при одном непреду- смотренном яв- лении, тыс. руб.	Стоимость защитных мер ($s_{11} + s_{21}$), тыс. руб.
<i>Сельское хозяйство</i>		
Брянская обл.; 18 совхозов (заморозки, 1983—1987 гг.)	28,04	10,07
Новосибирская обл.; совхоз „Морской” (за- морозки, 1986—1988 гг.)	4,63	1,20
Вильнюс. Овощеводческое хозяйство Виль- нюсского РАПО (заморозки 1987—1988 гг.)	11,70	1,12
Молдавская ССР. Колхоз Свердлова Слабо- дзейского района (заморозки, 1988 г.)	18,40	2,50
Архангельск. Совхоз „Беломорский” (замо- розки, 1984—1986 гг.)	21,00	1,28
Ленинград. СПО „Детскосельское” (ряд сов- хозов) (заморозки при $S = 2000$ га, 1976, 1978—1983 гг.)	174,0	15,0
Среднее Поволжье (заморозки) ($S = 560$ га)	19,60	1,00
Новосибирская обл. Совхоз „Обский” (замо- розки, 1973 г.)	45,3	0,05
Киров. Совхоз „Красногорский” (заморозки, 1984—1987 гг.)	49,06	4,8
<i>Морской флот</i>		
Рига. Морской торговый и рыбный порт (ве- тер — ОЯ, 1985 г.)	200,0	16,0
Рига. Морской рыбный порт ($V_{шт} \geq 12$ м/с, 1984—1985 гг.)	30,0	8,0
Амдерма. Морской порт (ветер — ОЯ, 1985 г.)	210,5	14,4
Лиепая. Морской рыбный порт ($V_{шт} \geq 12$ м/с, 1985—1986 гг.)	90,2	7,7
Клайпеда. Морской рыбный порт ($V_{шт} \geq 15$ м/с, 1984—1985 гг.)	64,0	9,4
Камчатка. Межколхозное рыболовецкое объединение (ветер — ОЯ)	168,5	18,2
Рыбачье. Иссык-Кульское пароходство ($V_{шт} \geq 10$ м/с, 1976—1978 гг.)	3,2	0,20

Отраслевые и ведомственные народнохозяйственные организации	Возможные потери (s_{12}) при одном непредусмотренном явлении, тыс. руб.	Стоимость защитных мер ($s_{11} = s_{21}$), тыс. руб.
Ленинград. Севзапрыбпром ($V_{шт} \geq 10$ м/с, 1982—1983 гг.)	38,0	4,0
Таллин. Морской торговый порт (осадки $\geq 0,3$ мм, 1985 г.)	13,0	2,3
Амдерма. Транспортные операции в Обской и Тазовской губе ($V_{шт} \geq 8$ м/с, 1985 г.)	210,5	14,4
Ленинград. Финский залив. Суда на подводных крыльях ($V_{шт} \geq 12$ м/с, 1983 г.)	81,0	8,1
Владивосток. Морской порт ($V_{шт} \geq 15$ м/с, 1991 г.)	50,0 35,1	15,0 0,8
Беринговоморская экспедиция (ветер — ОЯ, 1980 г.)	639,0	182,0
<i>Строительные организации</i>		
Воркута. Печоршахтострой, 1985 г.:		
а) метели	99,2	32,2
б) очень низкие температуры	75,5	27,9
Белорусская ССР, строительная организация (ветер — ОЯ, 1980 г.)	60,0	26,7
Москва. Строительная организация, 247 СУ ($V_{шт} \geq 15$ м/с, 1980—1985 гг.):		
а) холодный период	5,88	0,41
б) теплый период	5,76	0,34
Камчатка. Камчатстрой (сильная метель — ОЯ, 1980—1985 гг.)	445,0	216
<i>Другие народнохозяйственные организации</i>		
Ленинград. Автотранспорт пассажирский, 1985 г.	34,5	0,5
Челябинская обл. Коркино. Открытый угольный разрез (туманы, задымление, загазованность, 1967 г.)	1500	150
Ленинград. Автотранспорт пассажирский (резкие понижения температуры в холодную половину года, 1985 г.)	3,75	0,5
Новосибирск. Снегоочистительные работы (снегопады, метели, 1989 г.)	107,1	5,95

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

**Экономический эффект (предотвращенный ущерб)
от использования гидрометеоинформации в отраслях экономики
по данным УГМС (ЦГМС) за май 2003 года (Росгидромет,
УРСА — А. А. Горецкий, В. А. Тренин)**

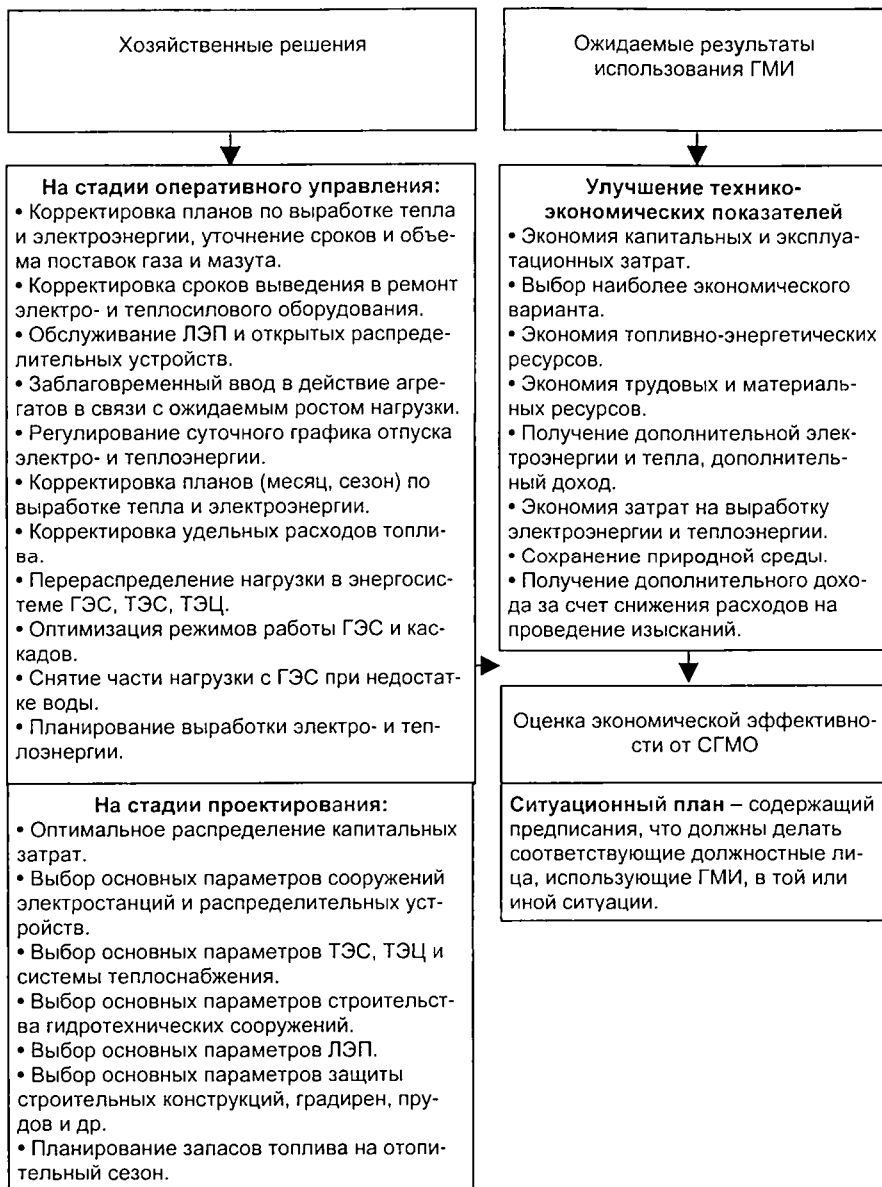
УГМС	Экономический эффект (предотвращенный ущерб), тыс. руб.	Отрасли экономики
Башкирское	16 670	Основные отрасли экономики
Верхне-Волжское	62 300	18 200 — АПК, 18 800 — ТЭК, 11 900 — автотранспорт, 2300 — коммунальное хозяйство
Дальневосточное	Нет данных	
Забайкальское	41 263	38 338 — лесное хозяйство, 1786 — ТЭК, 399 — сельское хозяйство, 130 — авиация, 500 — лавинное обеспечение
Западно-Сибирское	6 318	ТЭК, дорожная служба, коммунальное, лесное и сельское хозяйство
Иркутское	152 360	426 — авиация, 97 824 — ТЭК, 43 182 — строительство, 11 108 — лесное хозяйство, 90 — коммунальное хозяйство
Камчатское	14 995	6256 — морская отрасль, 230 — строительство, 5675 — коммунальное хозяйство
Колымское	18 120	520 — морская отрасль, 1500 — авиация, 5360 — ТЭК, 240 — дорожная служба, 220 коммунальное хозяйство, 280 — речной флот
Мурманское	7 240	7200 — гидрология, 40 — лесное хозяйство
Обь-Иртышское	55 845	Основные отрасли экономики
Приволжское	21 890	280 — речной флот, 14 170 — ТЭК, 400 — ж/д транспорт, 1200 — строительство, 2140 — коммунальное хозяйство, 500 — лесное хозяйство, 500 — сельское хозяйство, 2150 — промышленность
Приморское	4 000	Основные отрасли экономики

УГМС	Экономический эффект (предотвращенный ущерб), тыс. руб.	Отрасли экономики
Республики Татарстан	45 816	11 980 — ТЭК, 7214 — транспорт, 582 — авиация, 3384 — промышленность, 600 — сельское хозяйство, 1126 — строительство, 338 — водное хозяйство
Сахалинское	8 230	Морская отрасль
Северное	182 546	32 482 — ТЭК, 6784 — авиация, 17 710 — коммунальное хозяйство, 9640 — дорожная служба, 4250 — промышленность
Северо-Кавказское	62 490	4184 — морская отрасль, 3135 — ТЭК, 3100 — дорожная служба, 1800 — ж/д транспорт, 8880 — сельское хозяйство, 3100 — водное хозяйство, 2870 — коммунальное хозяйство, 7520 — строительство, 3150 — промышленность, 371 — лесное хозяйство
Северо-Западное	144 600	Основные отрасли экономики
Среднесибирское	25 000	18 000 — ТЭК, 7000 — сельское хозяйство
Уральское	18 227	11 427 — ТЭК, 3500 — лесное хозяйство, 2200 — коммунальное хозяйство, 1100 — автотранспорт
Центральное	2 914	1679 — ТЭК, 667 — лесное хозяйство, 317 — сельское хозяйство, 251 — промышленность
ЦЧО	1 300	380 — авиация, 445 — ТЭК, 350 — сельское хозяйство, 15 — ж/д транспорт, 20 — коммунальное хозяйство, 85 — лесное хозяйство
Чукотское	520	Основные отрасли экономики
Якутское	830	240 — газовая промышленность, 590 — ТЭК
Калининградское	750	Сельское хозяйство, водное хозяйство
Всего	894 млрд. 44 тыс. рублей	

Основная информационная продукция и направления



использования ее в электроэнергетике и ТЭЦ



ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Основные биометеорологические показатели (индексы) — БМП (по обобщениям М. А. Трубиной)

	БМП	Расчетная формула	Примечание
1.	W (ккал/(м ² · ч)) — ветро-холодовой индекс (по Сай-плу)	$W = (9,0 + 10,9\sqrt{v} - v) \cdot (33 - t)$ v — скорость ветра на высоте 2 м (м/с)	Оценка теплоощущения проводится по шкале W : 600 — прохладно; 800 — холодно; 1000 — очень холодно; 1200 — жестко холодно; 2500 — невыносимо холодно
2.	WC — уточненный индекс холода WIND CHILL (Канада)	$WC = 91,4 - ((91,4 - T) \cdot (0,478 + (0,301\sqrt{v}) - 0,02v))$ T — температура воздуха (°F)	Для определения WC существует матрица оценки (шкалы)
3.	S (баллы) — индекс суровости (по Бодману)	$S = (1 - 0,04t)(1 + 0,272v)$	Дана шкала характеристики „суровости погоды”: $S < 1$ — зима несуровая; $1 < S < 2$ — зима мало суровая; $2 < S < 5$ — очень суровая; $5 < S < 6$ — жестко суровая; $S > 6$ — крайне суровая
4.	S_0 (баллы) — модифицированная формула индекса суровости по И. М. Осокину — жесткость погоды суток	$S_0 = (1 - 0,006t)(1 + 0,20v) \times (1 + 0,006H) K_s A_c$ H — высота над уровнем моря (м); K_s — коэффициент, учитывающий влияние относительной влажности воздуха; A_c — коэффициент, учитывающий влияние суточной амплитуды температуры	Суровость зимы S_0 оценивается по шкале: $S_0 < 1,0$ — мягкая; $1 < S_0 < 2$ — зима мало суровая; $2,1 < S_0 < 3,0$ — умеренно суровая; $3,1 < S_0 < 4,0$ — суровая; $5,1 < S_0 < 4,0$ — жестко суровая; $S_0 > 7$ — крайне жестко суровая. Не всегда адекватно отражает суровость погоды в разных климатических зонах

5.	H (Вт/(м ² ·с)) — индекс ветрового охлаждения (по Холлу); H_c — сухое охлаждение; H_w — влажное охлаждение	$H_c = (0,13 + 0,47\sqrt{v})(36,6 - t)$ $H_w = H_c + (0,085 + 0,102v^{0,3}) \times (61,1 - e)^{0,75}$ e — упругость водяного пара	$H_c = (0,13 + 0,47\sqrt{v})(36,6 - t)$ $H_w = H_c + (0,085 + 0,102v^{0,3}) \times (61,1 - e)^{0,75}$ e — упругость водяного пара	Теплоощущение по индексу H_c оценивается по шкале: < 0,35 — жарко; 0,6—0,9 — комфортно, > 1,7 — холодно. При $H_w = 4,5$ —5,5 погода дискомфортная, при $H_w > 8,0$ погода абсолютно дискомфортная
6.	ET (°C) — показатель тепловой чувствительности человека (по Миссенарду) или нормальная эквивалентно-эффективная температура $HЭЭТ$	$ET = 37 - \frac{37 - t}{0,68 - 0,0014f + \frac{1}{1,76 + 1,4V^{0,775}}}$ $- 0,29t(1 - \frac{f}{100})$	$ET = 37 - \frac{37 - t}{0,68 - 0,0014f + \frac{1}{1,76 + 1,4V^{0,775}}}$ $- 0,29t(1 - \frac{f}{100})$	Характеризует теплоощущение одетого человека. Используются для биоклиматической глобальной классификации. Имеются группы с 12- и 6-градусными ступенями ET . Идентифицирует с индексом дискомфорта ID
7.	$ЭЭТ$ (°C) — эквивалентно-эффективная температура (В. И. Русанов)	$ЭЭТ = t[(1 - 0,03) \cdot (100 - f)] - 0,385v^{0,59} \times$ $\times [(36,6 - t) + 0,622 \cdot (v - 1)] +$ $+ [(0,0015v + 0,008)(36,6 - t) - 0,0167] \times$ $\times (100 - f)$	$ЭЭТ = t[(1 - 0,03) \cdot (100 - f)] - 0,385v^{0,59} \times$ $\times [(36,6 - t) + 0,622 \cdot (v - 1)] +$ $+ [(0,0015v + 0,008)(36,6 - t) - 0,0167] \times$ $\times (100 - f)$	Определены степени комфорта для раздетого человека ($1,73 \leq ЭЭТ \leq 21,7$) и одетого человека ($16,7 \leq ЭЭТ \leq 20,7$)
8.	$HЭЭТ$ (°C) — нормальная $ЭЭТ$ (по И. В. Бутыевой)	$HЭЭТ = 0,8ЭЭТ + 7$ °C	$HЭЭТ = 0,8ЭЭТ + 7$ °C	Зона комфорта существует в пределах 17,2—21,7 °C. Диапазон $HЭЭТ$, в котором люди чувствуют себя комфортно, составляет 8 °C
9.	$PЭЭТ$ (°C) — эффективно-эквивалентная температура (по Г. В. Шелейховскому и с уточнением В. И. Русанова)	$PЭЭТ = 125 \lg[1 + 0,02t + 0,001(t - 8) \times$ $\times (f - 60) - 0,045(33 - t)\sqrt{v} + 0,129\beta]$ $\beta = Q(1 - \alpha)$ β — солнечная радиация, поглощенная	$PЭЭТ = 125 \lg[1 + 0,02t + 0,001(t - 8) \times$ $\times (f - 60) - 0,045(33 - t)\sqrt{v} + 0,129\beta]$ $\beta = Q(1 - \alpha)$ β — солнечная радиация, поглощенная	Характеризует теплоощущение одетого человека с учетом комплексного воздействия метеофакторов и интенсивности солнечной радиации. Используется для оценки теплоощущений человека в

	БМП	Расчетная формула	Примечание
10.	БИСМ (у. е.) — биоклиматический индекс суровости метеорологического режима (по В. Ш. Велкину).	поверхностью тела; Q — суммарная солнечная радиация; α — альбедо (с учетом пигментации) кожи; значение 0,28 для не пигментированной кожи и для пигментированной — 0,11. Упрошенный метод расчета: $R_{33T} = 6,2 + H_{33T}$ $R_{33T} = 0,8333T + 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $БИСМ = \{ (P - 236) \times (1 - 0,02v) / 75mK$ P — давление воздуха; m, K — коэффициенты влияния относительной влажности и прямой солнечной радиации.	теплое время. Выделены оптимальные диапазоны R_{33T}: 17—21 $^{\circ}\text{C}$ — южные районы; 13—18 $^{\circ}\text{C}$ — умеренные районы; 10—18 $^{\circ}\text{C}$ — северные районы. Оптимальная $R_{33T} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Метод Б. А. Айзенштадта, использует R_{33T} в качестве показателя напряженности терморегуляторной системы человека — определяет степень нагрузки организма в условиях жаркого климата Универсальный индекс, учитывающий влияние как низких, так и высоких температур, а также избыток или дефицит УФР. Применением для северных и горных территорий. Чем меньше индекс, тем больше дискомфортность климата: при БИСМ в пределах 4,00 — 4,99 абсолютный дискомфорт; в пределах 5,00—5,99 экстремальный дискомфорт; в пределах 6,0—6,99 дискомфорт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Гидрометеорология и народное хозяйство. — М.: Гидрометеиздат, 1978. — 352 с.
2. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Вероятностные метеорологические прогнозы. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 271 с.
3. Жуковский Е. Е., Чудновский А. Ф. Методы оптимального использования метеорологической информации при принятии решений. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 52 с.
4. Жуковский Е. Е. Метеорологическая информация и экономические решения. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — 303 с.
5. Монокрович Э. И. Гидрометеорологическая информация в народном хозяйстве. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. — 175 с.
6. Жуковский Е. Е. Метеорологическая информация и экономические решения. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 303 с.
7. Хандожко Л. А. Оценка экономической эффективности метеорологической информации. — Л.: Изд. ЛПИ (ЛГМИ), 1979. — 82 с.
8. Хандожко Л. А. Метеорологическое обеспечение народного хозяйства. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — 231 с.
9. Хандожко Л. А. Оценка экономического эффекта прогнозов погоды. — Л.: Изд. ЛПИ (ЛГМИ), 1987. — 50 с.
10. Хандожко Л. А. Методика оценки экономического эффекта прогноза весенних заморозков. — М.: Гидрометеиздат, 1989. — 13 с.
11. Хандожко Л. А. Практикум по экономике гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства. — СПб.: Гидрометеиздат, 1993. — 311 с.
12. Хандожко Л. А. Оптимальные погодо-хозяйственные решения. — СПб.: Изд. РГГМУ, 1999. — 161 с.
13. Эффективность гидрометеорологического обслуживания народного хозяйства. Сб. статей. — Л.: Гидрометеиздат, 1973. — 164 с.

Дополнительная

1. Багров Н. А. Об экономической полезности прогнозов. — Метеорология и гидрология, 1966, № 2, с. 3—12.
2. Багров Н. А. О хозяйственной полезности гидрометеорологических прогнозов. — Труды Гидрометцентра СССР, 1975, вып. 159, с. 101—114.
3. Багров Н. А., Кондратович К. В., Педь Д. А., Угрюмов А. И. Долгосрочные метеорологические прогнозы. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 248 с.

4. Бедрицкий А. И. Экономическая эффективность гидрометеорологического обеспечения потребителей Федеральной службой России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с учетом экономических преобразований в стране. — В кн.: Новые тенденции в гидрометеорологии. М.: Изд. Росгидромета, 1995, вып. 1, с. 5—16.

5. Бедрицкий А. И., Коршунов А. А., Хандожко Л. А., Шаймарданов М. З. Проблема экономически выгодного использования метеорологических прогнозов. — Метеорология и гидрология, 1998, № 10, с. 5—17.

6. Бедрицкий А. И., Коршунов А. А., Хандожко Л. А., Шаймарданов М. З. Проблемы использования метеорологических прогнозов (экономический аспект). — В кн.: На рубеже веков: экономические проблемы реформирования России. М.: Экономика, 1998, с. 129—148.

7. Бедрицкий А. И., Коршунов А. А., Хандожко Л. А., Шаймарданов М. З. Показатели влияния погодных условий на экономику: региональное распределение экономических потерь и экономической выгоды при использовании гидрометеорологической информации и продукции. — Метеорология и гидрология, 1999, № 3, с. 5—17.

8. Бедрицкий А. И., Коршунов А. А., Хандожко Л. А., Шаймарданов М. З. Показатели влияния погодных условий на экономику: адаптивность потребителей. — Метеорология и гидрология, 1999, № 9, с. 17—25.

9. Бедрицкий А. И., Коршунов А. А., Хандожко Л. А., Шаймарданов М. З. Показатели влияния погодных условий на экономику: чувствительность потребителя к воздействию гидрометеорологическому фактору. — Метеорология и гидрология, 2000, № 2, с. 5—9.

10. Бедрицкий А. И., Хандожко Л. А. Экономическая полезность гидрометеорологического обеспечения. — Бюлл. ВМО, 2001, т. 50, № 3, с. 266—271.

11. Васильев А. А. Гидрометеорологические явления, приводящие к стихийным бедствиям, и система их прогнозирования. — Метеорология и гидрология, 1991, № 1, с. 5—15.

12. Васильев А. А., Ляхов А. А. Москва: состояние и перспективы развития системы гидрометеорологического обеспечения мегаполиса. — Бюлл. ВМО, 2000, т. 49, № 4, с. 406—409.

13. Воробьев В. И. Синоптическая метеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 616 с.

14. Груза Г. В. Некоторые вопросы теории прогноза погоды на основе статистических данных. — Труды САНИГМИ, 1967, вып. 29(44), с. 3—41.

15. Де Гроот М. Оптимальные статистические решения. — М.: Мир, 1974. — 491 с.

16. Заварина М. В. Строительная климатология. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 312 с.

17. Зябриков В. А., Кобышева Н. В., Циркунов В. С. Климат и железнодорожный транспорт. — М.: Изд. ВНИИГМИ—МЦД, 2000. — 187 с.

18. Исаев А. А. Прикладная климатология: экономические аспекты использования климатических ресурсов. Учебное пособие. — М.: Изд. МГУ, 1989. — 29 с.
19. Исаев А. А. Экологическая климатология. — М.: Научный мир, 2001. — 458 с.
20. Карпеев Г. А. Общие принципы оценки эффективности гидрометеорологического обслуживания народного хозяйства. — Труды Гидрометцентра СССР, 1974, вып. 142.
21. Кендалл М., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. Т. 2. — М.: Наука, 1973. — 899 с.
22. Кобышева Н. В., Ильина О. Б. Методы оценки и районирования климатических ресурсов Ленинградской области. — Метеорология и гидрология, 2001, № 9, с. 17—24.
23. Корнфорд С. Г. Социально-экономические последствия погоды в 1995 г. — Бюлл. ВМО, 1996, т. 45, № 4, с. 447—467.
24. Коршунов А. А., Петрова М. В., Шаймарданов М. З. Опыт становления и развития специализированного гидрометеорологического обслуживания экономики и населения в России. — Труды ВНИИГМИ—МЦД, 2001, вып. 168, с. 29—40.
25. Ланге О. Оптимальные решения. — М.: Прогресс, 1967. — 285 с.
26. Маркус Т. А., Моррис Э. Н. Здания, климат и энергия. — Л.: Гидрометеоиздат, 1985. — 543 с.
27. Методика определения экономической эффективности использования гидрометеорологической информации в народном хозяйстве. — Л.: Ртп. ГГО, 1985. — 26 с.
28. Обухов А. М. К вопросу об оценке успешности альтернативных прогнозов. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1955, № 4, с. 72—81.
29. Омшанский М. А. Задачи контроля прогноза погоды. — Метеорология и гидрология, 1936, № 10, с. 73—77.
30. Петрова М. А. Специализированное гидрометобеспечение в организациях Росгидромета в 1999—2000 гг. — Метеоспектр, 2000, № 3—4, с. 14—29.
31. Полевой А. Н. Сельскохозяйственная метеорология. — СПб: Гидрометеоиздат, 1992. — 424 с.
32. Русин И. Н., Тараканов Г. Г. Сверхкраткосрочные прогнозы погоды. — СПб.: Изд. РГГМУ, 1996. — 308 с.
33. Саушкин Ю. Г. Экономическая климатология. — Вестник МГУ. Серия V, география, 1962, № 6, с. 17—23.
34. Стихийные бедствия: изучение и методы борьбы. Сборник статей. — М.: Прогресс, 1978. — 439 с.
35. Тренин В. А. Развитие специализированного гидрометеорологического обеспечения в России. — Новые тенденции в гидрометеорологии, 1997, вып. 3, с. 6—11.
36. Томпсон Дж. К. Экономическая эффективность метеорологии. — Бюлл. ВМО, 1968, т. 17, № 4, с. 14—21.

37. Хандожко Л. А. Оценка экономического эффекта использования метеорологических прогнозов. — Межвузовский сборник научных работ „Физика пограничного слоя атмосферы”, 1984, вып. 85, с. 132—142.
38. Хандожко Л. А. Производственная оценка успешности многофазовых прогнозов погоды. — Сборн. научн. трудов. Л.: Изд. ЛГМИ, 1989, вып. 102, с. 18—22.
39. Хандожко Л. А., Вдовин В. Б. Методика оценки экономического эффекта прогноза температуры воздуха для теплоцентралей. — Труды ГГО, 1989, вып. 528, с. 58—74.
40. Хандожко Л. А. Экономическая метеорология: наука, практика, эффективность. — Труды ВНИИГМИ—МЦД, 2001, вып. 168, с. 12—28.
41. Хандожко Л. А. Уточнение средних потерь по метеорологическим условиям. — Труды ВНИИГМИ—МЦД, 2001, вып. 168, с. 90—96.
42. Хандожко Л. А., Коршунов А. А. Гидрометеорологический фактор в системе национальных счетов. — Труды ВНИИГМИ—МЦД, 2002, вып. 169, с. 13—28.
43. Хандожко Л. А., Устинова Н. С., Коржиков А. Я., Корелин И. Д. Экономическая эффективность морских операций в западной части моря Лаптевых в осенний период. — Труды ВНИИГМИ—МЦД, 2002, вып. 169, с. 88—94.
44. Хандожко Л. А., Коршунов А. А., Фокичева А. А. Выбор оптимального погодо-хозяйственного решения на основе прогноза опасных гидрометеорологических условий. — Метеорология и гидрология, 2003, № 1, с. 5—17.
45. Хей Дж. Введение в методы байесовского статистического вывода. — М.: Финансы и статистика, 1987. — 335 с.
46. Ченцов Н. Н. Статистические решающие правила и оптимальные выводы. — М.: Наука, 1972. — 520 с.
47. Юдин М. И. Долгосрочный прогноз погоды как средство управления хозяйственной деятельностью. — Труды II Всесоюзного симпозиума по применению статистических методов в метеорологии. Л.: Гидрометеониздат, 1977, с. 5—10.
48. International Conference “Risk sciences: employment and training”. Proceedings. Council of Europe. — Strasbourg, 1997. — 396 p.
49. Economic and social benefits of meteorological and hydrological services. Proceedings of the Technical Conference. Geneva, 26—30 March, 1990, WMO, N 733. — 461 p.
50. Conference on the economic benefits of meteorological and hydrological services. 19—23 September 1994, WMO/TD, N 630. — 309 p.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Адаптация потребителя 315
 - к условиям погоды 315, 317, 326
 - показатели 317
 - информационные 322
 - технологии 322
- Адекватность 20, 127
- Алгоритм расчета ресурсосбережения 396
- Байесовский подход 242, 338
 - оценки средних потерь 244, 258
 - уточнение 256, 258
- Байесовское правило оптимизации 245, 261, 264
- Биоклиматический потенциал 430
- Взаимодействие между поставщиком и потребителем 48
- Вероятности 176
 - априорные 176, 179
 - апостериорные 176, 181
 - безусловные 178
 - совместные 180
 - условные 155, 184
 - эмпирические 178
- Геофизическая станция 79, 80
- Гидрометеорологическая информация 21
 - виды 21
 - потребность 34, 35
 - спрос 39, 40, 41
- Гидрометеорологическая служба 15, 32
 - экономическая модель 47
- Гидрометеорологическое обеспечение 33, 42, 43, 83
- Гидросиноптическая ситуация 407
- Глубина оттаивания грунта 89
- Горимость леса 98
 - шкала 98
- Дискретность матрицы сопряженности 207
 - выбора решений 261
- Дорожно-климатические зоны 89
- Жизнеобеспечение 204

- Затраты поставщика (Гидрометслужбы) 49, 341
 - общетраслевые 49, 50
 - функциональные 50
 - в стратегической игре 191
- Зона повышенной сложности прогнозирования 163
- Инвариантность потерь и выгод 240
- Информативность 127
- Капитальные вложения 420
- Климатические пути следования судов 408
- Климатологические стратегии 272, 348
- Коммерциализация метеорологической информации 46, 47, 51, 52, 53, 56
- Комплексные климатические показатели 415, 416, 419
- Коэффициент непредотвращенных потерь 225, 227, 252, 307
 - пороговый 320
- Коэффициент эффективности затрат 425
- Критерии оптимальности 237, 239, 240, 241
- Матрица
 - весов 156
 - полезности 212
 - потерь 214, 215, 216, 221, 222
 - систематических 245, 261
 - расходов 227, 228
 - сожалений 195
 - сопряженности 134, 136, 207, 312
- Меры защиты 204, 216
 - кардинальные 217
 - от заморозков 366
 - при общей метели 76
 - частичные 217
 - эффективность 322, 325, 348
- Метеорологическая величина 135
 - классификация 22, 39
 - первичная 21
 - вторичная 21
 - продукция 40
- Метеорологическая информация 20, 21, 39, 54
 - виды 20
 - общего назначения 39
 - специализированная 39
 - ценность 21, 24
- Метеорологические наблюдения 16
- Метеорологические потери 196
- Метеорологический риск 163, 261

- Метеорологическое обеспечение 39, 44, 45, 50
 - лесного хозяйства 96
 - общее 39, 42
 - сельского хозяйства 65
 - специализированное 39, 42, 54, 55
 - строительства 95
 - транспорта 73, 74, 81, 85, 88, 91, 94
 - энергетики 58
- Метеоролого-экономическая система 34
- Метеоролого-экономический паспорт потребителя 285, 286
- Метод Байеса 200
 - Байеса—Лапласа 199
 - Гурвича 193
 - минимакса—максимина 190
 - приведенных затрат 420
 - Сэвиджа 194
 - Хоменюка 196
- Минимум средних потерь (минимизация потерь) 261, 264
- Неблагоприятные гидрометеорологические явления 102
- Номограмма потерь 277, 278, 284
- Обеспечение
 - безопасности 91
 - экономичности 92
 - регулярности 92
- Опасные явления 63, 64, 65
- Оперативные подразделения службы погоды 43
- Оправдываемость прогнозов 129, 130
- Оптимальное управление 233, 234
- Оптимальные пути следования судов 407, 408
- Оптимизационная поправка 391
- Отношение затрат к убыткам (томпсоновское отношение) 218
- Ошибки прогнозирования
 - пропуски 137, 224
 - страховки 137, 224
- Погодо-хозяйственные решения 7, 190, 238, 259
 - стратегии 237, 259
- Показатели влияния погодных условий 312, 313
- Полезность 8, 21, 212
- Пороговая оправдываемость 294
- Последствия опасных явлений (показатели опасности) 111
- Потери 204, 205
 - байесовские 240, 244, 246
 - дисперсия 240

- дохода 411
- классификация 205
- косвенные 206
- метеорологические 196
- нормированные 274
- прямые 206, 216
- систематические 245
 - возможные 224
 - непредотвращенные 205, 224, 307
 - непредотвратимые 205
 - предотвращенные 205
- средние 239
- Потребитель 31, 35, 203
 - доходы 206
 - задачи 31
 - классификация 37
- Предприпроизводственные затраты 343, 344
- Предельно допустимый порог воздействия среды 38
- Предупреждение 28, 29, 132
 - об опасном явлении 33, 103, 111
 - штормовое 25, 28, 80, 92, 103, 104
- Предупрежденность явления 187, 322
- Приведенные затраты 420
- Принципы
 - Гурвича 194
 - использования критериев успешности 166
 - максимина 193
 - минимакса 192
 - оперативного взаимодействия 48
 - Фишера 154
- Прогноз
 - авиационный 27, 93, 116
 - агрометеорологический 116, 369
 - альтернативный 135, 136
 - вероятностный 26, 115, 208
 - долгосрочный 25, 109
 - инерционный 29, 119, 137
 - категорический 25, 26, 114, 208
 - климатологический 30, 122, 170
 - краткосрочный 25, 107
 - методический 30, 114, 137
 - многофазовый 152
 - морской 27, 116
 - общий 25
 - сверхкраткосрочный 24, 106

- случайный 29, 121, 138
- специализированный 25, 27, 114
- среднесрочный 25, 108
- стандартный 29, 119
- формальный 26, 142
- классификация 24, 100, 101, 123
 - смещенный 208
 - несмещенный 208
- цена договорная 51, 52, 53
- Производственная успешность 159
- Радиус
 - инерции 106
 - корреляции 106
- Региональная оценка успешности 161
- Регламент решений 247, 260, 262
- Ресурсосбережение 394
- Ресурсы 23
 - агрометеорологические 430
 - гидрометеорологические 6
 - климатические 65, 190, 436, 441, 443
 - метеорологические 35
 - погодные 190, 436
 - потенциальные 441
 - прогностические 23
- Решения 234
 - оптимальные 234, 235
 - погодно-хозяйственные 190, 211, 234
- Синоптическая группа (оперативная) 84
- Система национальных счетов 354
- Системы оценки прогнозов 131, 134
- Специализированное метеорологическое обеспечение 45
 - сельского хозяйства 65
 - строительства 95
 - транспорта 73
 - требования 54
 - энергетики 58
- Специфика работы
 - сельского хозяйства 66
 - строительства 95
 - транспорта 74, 82, 83, 86, 88, 91
 - энергетики 59, 60
- Стоимость мер защиты 219
- Стоимость прогноза, метеорологической продукции (себестоимость) 50, 51
- Стоимость судо-суток 405

- Стратегическая игра 188, 190
- Стратегия потребителя 259
 - оптимальная 264
 - климатологическая первая 273
 - климатологическая вторая 274
 - ориентации на прогнозы 279, 284
 - минимаксная 192
 - выбора на основе ряда критериев 299
- Строительные нормы и правила 59, 269
- Температура
 - расчетная 385, 414, 438
 - рельсов 77
 - эквивалентная 433
 - эффективная 383, 414
- Управление
 - оптимальное 234
 - рациональное 234
- Успешность
 - защитных мер 323
 - прогнозов альтернативных 135, 136
 - многофазовых 152
 - численных 160
 - метеорологических по критерию:
 - общая оправдываемость 141
 - надежность (по Н. А. Багрову) 146
 - точность (по М. А. Обухову) 146
 - информационное отношение 147
 - показатель успешности (по Хайдке) 145
 - показатель взвешенной оправдываемости (по Л. А. Хандожко) 146
 - показатель адекватности прогнозов (по Л. А. Хандожко) 147
 - показатель взаимной сопряженности (по А. А. Чупрову) 149
 - меры успешности (по Гутману) 150
 - меры успешности (по Гудмэну и Крускалу) 151
 - критерий качества Пирси—Обухова 170
- Успешность прогнозов погоды 131, 167
 - динамика 129, 133
 - запросы потребителя 128, 129
 - многофазовых 155
 - требования 127
- Фаза погоды 127, 135
- Функциональная ценность метеорологической информации 24
- Функция полезности 210, 212
 - дохода 213

- потерь 214
 - тепловых 388
 - стоимостных 391
- расходов 213
- Функция риска 236
 - целевая 236
- Экономическая информация 203, 334
 - эффективность 345, 346
 - полезность 13, 289, 339, 346
- Экономический эффект 343, 344, 348, 412, 421, 424
- Экономико-метеорологическая система погода—прогноз—потребитель 203
- Экономическая модель информационной деятельности Гидрометслужбы 47
- Экономические последствия опасных явлений погоды 111
- Экономия материальных средств 344
- Энтропия 147
 - безусловная (природная) 147
 - условная 148
- Эффективность информационная 322

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	6
1. Определение предмета	8
2. Краткие сведения из истории развития экономической метеорологии	13
 Раздел I. Общие положения об использовании метеорологической информации в народном хозяйстве	
Глава 1. Метеорологическая информация	16
1.1. Метеорологическая информационная сеть	16
1.2. Основные виды метеорологической информации, используемой в народном хозяйстве	20
1.3. Прогностическая информация	22
1.4. Общая характеристика метеорологического обеспечения народного хозяйства: схема, структура, содержание	30
Глава 2. Основные положения специализированного метеорологического обеспечения	34
2.1. Потребители метеорологической информации	34
2.2. Специализированное метеорологическое обеспечение	39
2.2.1. Определения	39
2.2.2. Потребность в специализированном метеорологическом обеспечении	39
2.2.3. Организация специализированного метеорологического обеспечения	42
2.2.4. Взаимодействие между поставщиком и потребителем	48
2.2.5. Требования, предъявляемые к специализированному метеорологическому обеспечению	54
2.3. Коммерциализация специализированного метеорологического обеспечения	55
Глава 3. Специализированное метеорологическое обеспечение отдельных отраслей экономики	58
3.1. Метеорологическое обеспечение энергетики	58
3.1.1. Метеорологическое обеспечение электроэнергетики	58
3.1.2. Метеорологическое обеспечение теплоэнергетики	61
3.1.3. Метеорологическое обеспечение топливной промышленности	62

3.2. Метеорологическое обеспечение сельского хозяйства	65
3.2.1. Специфика сельскохозяйственного производства.....	66
3.2.2. Зависимость сельскохозяйственного производства от метеорологических условий	67
3.2.3. Метеорологическое и агрометеорологическое обеспе- чение сельского хозяйства.....	70
3.3. Метеорологическое обеспечение транспорта	73
3.3.1. Железнодорожный транспорт	74
3.3.2. Морские организации	81
3.3.3. Речной флот	85
3.3.4. Автомобильный транспорт	88
3.3.5. Гражданская авиация.....	91
3.3.6. Трубопроводный транспорт.....	94
3.4. Метеорологическое обеспечение строительства.....	95
3.5. Метеорологическое обеспечение других отраслей экономики	96

Раздел II. Метеорологические прогнозы

Глава 4. Современная идентификация метеорологических прогнозов	100
4.1. Основные классы и виды метеорологических прогнозов	100
4.2. Теоретические основы разделения прогнозов по времени действия	105
4.2.1. Сверхкраткосрочные прогнозы.....	106
4.2.2. Краткосрочные прогнозы	107
4.2.3. Среднесрочные прогнозы.....	108
4.2.4. Долгосрочные прогнозы	109
4.3. Показатели распространения и последствий опасных гид- рометеорологических явлений	111
Глава 5. Степень обоснования и достоверности метеорологических прогнозов	114
5.1. Методические прогнозы	114
5.2. Стандартные (тривиальные) прогнозы.....	119

Раздел III. Оценка успешности метеорологических прогнозов

Глава 6. Оценка успешности краткосрочных метеорологических про- гнозов	125
6.1. Некоторые понятия и определения	125
6.2. Назначение оценки успешности прогнозов погоды. Требо- вания, предъявляемые к оценке успешности прогнозов	127
6.3. Системы оценки успешности прогнозов.....	131
6.4. Оценка успешности альтернативных прогнозов.....	135
6.5. Оценка успешности многофазовых прогнозов.....	152
6.6. Оценка успешности численных прогнозов метеорологиче- ских величин.....	160
6.7. Региональная оценка успешности альтернативных прогно- зов	161

6.8. Принципы использования критериев успешности альтернативных и многофазовых прогнозов	166
Глава 7. Оценка успешности среднесрочных и долгосрочных прогнозов	167
7.1. Оценка успешности среднесрочных прогнозов	167
7.2. Оценка успешности долгосрочных прогнозов	167
 Раздел IV. Теоретические и методические основы использования метеорологических прогнозов	
Глава 8. Вероятностные меры статистики природных условий	172
8.1. Элементы статистического анализа	172
8.2. Априорные и апостериорные вероятности	176
8.3. Условные вероятности	181
Глава 9. Элементы теории стратегических игр	188
9.1. Выбор оптимальных решений в условиях полной информационной неопределенности	188
9.1.1. Метод минимакса—максимина	190
9.1.2. Метод Гурвича	193
9.1.3. Метод Сэвиджа	194
9.1.4. Метод Хоменюка	196
9.2. Выбор оптимальных решений в условиях частичной информационной неопределенности	198
9.2.1. Метод Байеса—Лапласа	199
9.2.2. Метод Байеса	200
Глава 10. Основы выбора оптимальных погодо-хозяйственных решений	203
10.1. Экономическая информация в системе погода—прогноз—потребитель	203
10.2. Матричная форма обобщения и анализа прогностической информации	206
10.3. Категорические и вероятностные прогнозы в модели принятия погодо-хозяйственных решений	208
10.4. Функция полезности и формы ее представления	210
10.4.1. Функция потерь. Матрица потерь	214
10.4.2. Матрица расходов	227
Глава 11. Оптимизация использования метеорологических прогнозов	229
11.1. Природные и экономические предпосылки	229
11.2. Погодо-хозяйственные решения и стратегии	233
11.2.1. Оптимальное управление: некоторые определения и понятия	233
11.2.2. Оптимальные решения и стратегии — центральное звено системы управления	234
11.3. Критерии оптимальности. Целевая функция	237
11.4. Байесовская оценка средних потерь	242

11.5. Учет некардинальности мер защиты	247
11.6. Оценка коэффициента непредотвращенных потерь	250
11.7. Уточненный байесовский подход	256
11.8. Выбор оптимальных погодо-хозяйственных решений и стратегий на основе байесовского подхода	259
Глава 12. Выбор оптимальной стратегии при совместном использовании климатической и прогностической информации.....	266
12.1. Общая характеристика климата и его учет.....	266
12.2. Оптимальные климатологические стратегии	271
12.2.1. Выбор оптимальной климатологической стратегии при кардинальных мерах защиты.....	272
12.2.2. Выбор оптимальной климатологической стратегии при частичных мерах защиты	275
12.3. Выбор оптимальной стратегии. Номограмма потерь	277
12.3.1. Кардинальные меры защиты	277
12.3.2. Частичные или некардинальные меры защиты	282
12.4. Метеоролого-экономический паспорт потребителя	285
12.5. Экономическая полезность выбранной стратегии	289
12.6. Параметрические критерии выбора оптимальной стратегии	294
12.6.1. Пороговая оправдываемость прогнозов	294
12.6.2. Критерии, отражающие требования потребителя к успешности метеорологических прогнозов.....	299
 Раздел V. Экономическая полезность использования метеорологической информации	
Глава 13. Комплексная оценка зависимости потребителя от условий погоды.....	303
13.1. Чувствительность потребителя к воздействию погодных условий.....	303
13.2. Показатели влияния погодных условий.....	310
13.3. Адаптация потребителя к ожидаемым условиям погоды	315
13.3.1. Определение, назначение и пути реализации	315
13.3.2. Показатели адаптации.....	317
13.3.3. Информационные показатели адаптации	322
13.3.4. Показатели технологии адаптации.....	322
13.3.5. Экономические меры защиты	325
Глава 14. Показатели экономической полезности метеорологических прогнозов	328
14.1. К истории решаемой проблемы.....	328
14.2. Факторы, определяющие проблему	332
14.3. Методические основы оценки экономического эффекта метеорологических прогнозов.....	335
14.4. Оценка экономического эффекта и экономической эффективности использования краткосрочных метеорологических прогнозов.....	339

14.5. Некоторые результаты оценки экономической полезности гидрометеорологической информации.....	346
14.6. Гидрометеорологический фактор в системе национальных счетов	353

Раздел VI. Оценка экономической полезности метеорологической информации в отдельных отраслях народного хозяйства

Глава 15. Использование метеорологической информации в сельскохозяйственном производстве.....	359
15.1. Сельскохозяйственное производство и его зависимость от погоды и климата.....	359
15.2. Потери в сельскохозяйственном производстве по метеорологическим причинам.....	364
15.3. Прогнозы для сельскохозяйственного производства и их экономическая полезность.....	369
15.3.1. Агрометеорологические прогнозы	369
15.3.2. Экономическая полезность агрометеорологических прогнозов	370
15.3.3. Экономическая полезность метеорологических прогнозов	373
Глава 16. Использование метеорологических прогнозов в энергетике	378
16.1. Энергетические системы	378
16.2. Оптимальное использование метеорологической информации в теплоэнергетике	382
16.2.1. Теплоэнергетика. Зависимость расхода тепла от метеорологических условий. Функция тепловых потерь.....	382
16.2.2. Функция стоимостных потерь. Матрица потерь	391
16.2.3. Матрица систематических потерь. Оценка экономической полезности прогнозов температуры воздуха для ТЭЦ.....	394
16.2.4. Оценка ресурсосбережения в теплоэнергетике	394
16.3. Оптимальное использование метеорологической информации на других предприятиях ТЭК	395
Глава 17. Использование метеорологических и гидрометеорологических прогнозов на транспорте.....	399
17.1. Железнодорожный транспорт	400
17.2. Автомобильный транспорт.....	401
17.3. Морской и речной транспорт	403
17.4. Гражданская авиация	410
Глава 18. Экономическая полезность использования климатической информации в различных отраслях народного хозяйства.....	413
18.1. Климатическая информация в теории и практике строительства	413

18.2. Климатическая информация в сельскохозяйственном производстве	425
18.3. Климатическая информация в энергетике	431
18.4. Климатическая информация в других отраслях экономики	433
18.5. Климатические ресурсы	435
Закключение	447
Приложения	448
Список литературы	469
Предметный указатель	473

CONTENTS

Forewords	3
Introduction	6
1. Definition of the subject.....	8
2. Brief information from history of economic meteorology development	13
 Section I. General principles of meteorological information use in the national economy	
Chapter 1. Meteorological information.....	16
1.1. Meteorological information network	16
1.2. Main types of meteorological information used in the national economy.....	20
1.3. Prognostic information.....	22
1.4. General characteristic of meteorological products provision to the national economy: scheme, structure, content.....	30
Chapter 2. Main principles of specialized meteorological productions provision	34
2.1. Consumers of meteorological information	34
2.2. Specialized meteorological productions provision	39
2.2.1. Definitions	39
2.2.2. Needs in specialized meteorological information provision	39
2.2.3. Organization of specialized meteorological productions provision	42
2.2.4. Interaction between Provider and Consumer.....	48
2.2.5. Requirements to specialized meteorological productions provision	54
2.3. Commercialization of specialized meteorological productions provision	55
Chapter 3. Specialized meteorological productions provision to some sectors of the economy	58
3.1. Meteorological productions provision to power industry	58
3.1.1. Meteorological productions provision to electric power industry.....	58
3.1.2. Meteorological productions provision to heat power industry.....	61
3.1.3. Meteorological productions provision to fuel industry	62

3.2. Meteorological productions provision to agriculture	65
3.2.1. Specificity of agricultural production.....	66
3.2.2. Dependence of agricultural production on meteorological conditions.....	67
3.2.3. Meteorological and agrometeorological productions provision to agriculture	70
3.3. Meteorological productions provision to transport.....	73
3.3.1. Railway transport.....	74
3.3.2. Maritime organizations	81
3.3.3. River fleet.....	85
3.3.4. Motor transport	88
3.3.5. Civil aircraft	91
3.3.6. Pipeline transport.....	94
3.4. Meteorological productions provision to building	95
3.5. Meteorological productions provision to other sectors of economy	96

Section II. Meteorological forecasts

Chapter 4. Modern identification of meteorological forecasts	100
4.1. Main forms and types of meteorological forecasts	100
4.2. Theoretical bases of forecasts division by operation time.....	105
4.2.1. Very-short-range forecasts	106
4.2.2. Short-range forecasts	107
4.2.3. Medium-range forecasts.....	108
4.2.4. Long-range forecasts.....	109
4.3. Parameters of distribution and consequences of hazardous hydrometeorological phenomena	111
Chapter 5. Degree of substantiation and reliability of meteorological forecasts	114
5.1. Methodical forecasts	114
5.2. Standard forecasts	119

Section III. Estimation of meteorological forecasts successfulness

Chapter 6. Estimation of short-range meteorological forecasts success-fulness	125
6.1. Some concepts and definitions.....	125
6.2. Purpose of weather forecasts successfulness estimation. Requirements to estimation of forecasts successfulness	127
6.3. Systems of forecasts successfulness estimation	131
6.4. Estimation of alternative forecasts successfulness	135
6.5. Estimation of multiphase forecasts successfulness	152
6.6. Estimation of numerical forecasts successfulness	160
6.7. Regional estimation of alternative forecasts successfulness..	161
6.8. Principles of successfulness criteria use of alternative and multiphase forecasts	166

Chapter 7. Estimation of medium-range and long-range forecasts successfulness	167
7.1. Estimation of medium-range forecasts successfulness	167
7.2. Estimation of long-range forecasts successfulness	167
 Section IV. Theoretical and methodical bases of use of meteorological forecasts	
Chapter 8. Probabilistic measures of natural conditions statistics	172
8.1. Elements of statistical analysis	172
8.2. A priori and a posteriori probabilities.....	176
8.3. Conditional probabilities	181
Chapter 9. Elements of strategic games theory.....	188
9.1. Optimal decision making under absolute information uncertainty.....	188
9.1.1. Method of minimax—maximin.....	190
9.1.2. Gurvich's method	193
9.1.3. Sevidg's method	194
9.1.4. Khomenyuk's method.....	196
9.2. Optimal decision making under partial information uncertainty.....	198
9.2.1. Bayes—Laplas' method.....	199
9.2.2. Bayes' method.....	200
Chapter 10. Bases of optimal weather-economic decision-making.....	203
10.1. Economic information in system <i>Weather—Forecast—Consumer</i>	203
10.2. Matrix form of generalization and analysis of prognostic information	206
10.3. Categorical and probabilistic forecasts in model of weather-economic decision-making	208
10.4. Function of utility and form of its representation	210
10.4.1. Function of losses. Matrix of losses.....	214
10.4.2. Matrix of expenses.....	227
Chapter 11. Optimization of meteorological forecasts use	229
11.1. Natural and economic prerequisites.....	229
11.2. Weather-economic decisions and strategies.....	233
11.2.1. Optimal management: definitions and conceptions..	233
11.2.2. Optimal decisions and strategies is the central part of management system	234
11.3. Criteria of optimality. Objective function	237
11.4. Bayes' estimation of average losses	242
11.5. Taking into account insufficiency of protection measures...	247
11.6. Estimation of coefficient of not prevented losses	250
11.7. Specified Bayes' strategy.....	256
11.8. Optimal weather-economic decision-making and choice of strategies on basis of Bayes' strategy	259

Chapter 12. Choice of the optimal strategy in the case of climatic and prognostic information use	266
12.1. General characteristic of climate and its consideration.....	266
12.2. Optimal climatological strategies	271
12.2.1. Choice of the optimal climatological strategy at sufficient protection measures	272
12.2.2. Choice of the optimal climatological strategy at partial protection measures	275
12.3. Choice of the optimal strategy. Nomographical chart of losses	277
12.3.1. Sufficient protection measures.....	277
12.3.2. Partial or unsufficient protection measures.....	282
12.4. Meteorological economic model of Consumer	285
12.5. Economic utility of chosen strategy	289
12.6. Parametrical criteria of choice of the optimal strategy.....	294
12.6.1. Threshold skill score	294
12.6.2. Criteria describing Consumer requirements to meteorological forecasts successfulness	299

Section V. Economic utility of use of meteorological information

Chapter 13. Complex estimation of Consumer dependence on weather conditions	303
13.1. Sensitivity of Consumer to weather conditions influence	303
13.2. Parameters of weather conditions influence	310
13.3. Adaptation of Consumer to expected weather conditions	315
13.3.1. Definitions, purpose and ways of realization.....	315
13.3.2. Parameters of adaptation	317
13.3.3. Information indexes of adaptation	322
13.3.4. Indexes of adaptation process	322
13.3.5. Economic protection measures	325
Chapter 14. Parameters of economic utility of meteorological forecasts	328
14.1. History of solvable problem	328
14.2. Factors determining problem	332
14.3. Methodical bases of estimation of economic effect of meteorological forecasts	335
14.4. Estimation of economic benefit and economic efficiency of short-range meteorological forecasts use.....	339
14.5. Some results of economic utility estimation of hydrometeorological information	346
14.6. Hydrometeorological factor in the national accounts system	353

Section VI. Estimation of economic utility of meteorological information in some sectors of the national economy

Chapter 15. Use of meteorological information in agriculture	359
15.1. Agricultural production and its dependence on weather and climate	359

15.2. Losses in agriculture over meteorological reasons	364
15.3. Forecasts for agricultural production and its economic utility	369
15.3.1. Agrometeorological forecasts.....	369
15.3.2. Economic utility of agrometeorological forecasts....	370
15.3.3. Economic utility of meteorological forecasts.....	373
Chapter 16. Use of meteorological forecasts in power industry	378
16.1. Power systems	378
16.2. Optimal meteorological information use in heat power industry	382
16.2.1. Heat power industry. Dependence of heat consumption on meteorological conditions. Function of thermal losses	382
16.2.2. Function of cost losses. Matrix of losses.....	391
16.2.3. Matrix of systematical losses. Estimation of economic utility of air temperature forecasts for thermal power station	394
16.2.4. Estimation of resource-saving in heat power industry	394
16.3. Optimal meteorological information use at other enterprises of the heat power industry complex.....	395
Chapter 17. Use of meteorological and hydrometeorological forecasts on transport.....	399
17.1. Railway transportation	400
17.2. Motor transport.....	401
17.3. Sea and river transport	403
17.4. Civil aircraft	410
Chapter 18. Economic utility of climatic information use in some sectors of the national economy	413
18.1. Climatic information in theory and practice of building	413
18.2. Climatic information in agriculture.....	425
18.3. Climatic information in power industry	431
18.4. Climatic information in other sectors of economy	433
18.5. Climatic resources.....	435
Conclusion	447
Appendixes	448
References	469
Index.....	473

Учебник

Леонид Андреевич Хандожко
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

Редактор О. Д. Рейнгерц. Художник Л. А. Унрод.
Технический редактор Н. Ф. Грачева. Корректор Г. Н. Римант.

ЛР № 020228 от 10.11.96 г.

Подписано в печать 29.06.05. Формат 60 × 90 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Печ. л. 30,75. Уч.-изд. л. 31,28. Тираж 1500 экз. Индекс 318/04.

Гидрометеониздат. 199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, д. 38.

Официальный научно-информационный портал GIMIZ.RU

Отпечатано в типографии «САВОЖ». Заказ № 238