

Федеральная служба по гидрометеорологии  
и мониторингу окружающей среды

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова

Н. В. Кобышева, Е. М. Акентьева, Л. П. Галюк

**Климатические риски и адаптация  
к изменениям и изменчивости климата  
в технической сфере**

Санкт-Петербург  
2015

УДК  
ББК

**Кобышева Н. В., Акентьева Е. М., Галюк Л. П.**

Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере — Санкт-Петербург: «Издательство Кириллица», 2015. — 256 с.

В монографии рассматриваются основные факторы процесса возникновения климатического риска опасных метеорологических явлений и медленных (трендовых) изменений климата. Предлагается методика оценки уязвимости объектов (реципиентов риска) в технической сфере, подверженных влиянию опасных явлений, а также способы определения допустимости климатического риска. Приводятся примеры различных вариантов идентификации, оценки и управления рисками с учетом нестационарности климата. Изложена стратегия адаптации к изменениям и изменчивости климата и методы экономического обоснования альтернативных подходов к разработке адаптационных мер на основе анализа рисков. Предлагаются комплексы адаптационных мер для различных секторов экономики.

Книга может быть полезна для лиц, принимающих решения в секторах экономики и социальной сферы, сотрудников УГМС, специалистов, работающих в области прикладной климатологии, и студентов университетов географических и экономических специальностей.

*Рецензенты:*

*доктор географических наук Менжулин Г. В.  
кандидат географических наук Кондратюк В. И.*

IBSN

© Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова», 2015

## *От авторов*

Намерение авторов обратиться к тематике данной книги возникло из запросов практики климатологического обслуживания задолго до того, как климатические риски и адаптация привлекли внимание международной климатологической общественности. Данная проблема была вынесена главами ряда государств на Третью Всемирную конференцию по климату, и в 2010 г. ВМО утвердила в качестве приоритетной тематики область исследования «Климатологическая информация для адаптации и учета факторов риска».

Сегодня издан ряд монографий на тему рисков в гидрометеорологии, а также подготовлен «Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций» (2011) под редакцией С. К. Шойгу. Однако в указанных работах не содержится предложений по методам оценки рисков и разработке мер адаптации, реализуемых в практике климатологического обслуживания.

Авторы полагают, что представленная монография в определенной мере должна восполнить этот пробел. При этом они далеки от того, чтобы считать данную книгу решением всех обозначенных проблемы. Тем не менее авторы надеются, что она будет способствовать нормативному закреплению порядка определения, оценки и управления климатическими рисками, а также порядка разработки адаптационных мер к изменению и изменчивости климата.

Авторы выражают благодарность д-ру физ.-мат. наук В. М. Катцову, канд. физ.-мат. наук А. С. Зайцеву, канд. геогр. наук В. И. Кондратьюку, канд. геогр. наук Е. Н. Разовой, канд. геогр. наук М. В. Клюевой за предоставленные материалы и полезное обсуждение данной работы, а также аспирантам ГГО М. П. Васильеву и Г. А. Тюсову за помощь в подготовке исходной информации и оформлении монографии.

## СОДЕРЖАНИЕ

	ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
	ВВЕДЕНИЕ.....	7
1	Обеспечение всестороннего учета климатического обслуживания в управлении климатическими рисками.....	11
1.1	Система климатологического обслуживания экономики. Ее значение для обеспечения устойчивого развития общества..	11
1.2	Пути совершенствования климатического обслуживания в рамках реализации ГРОКО.....	16
2	Анализ климатических рисков.....	18
2.1	Концепции риска.....	18
2.2	Методический аппарат анализа климатического риска в технической сфере.....	19
2.2.1	Идентификация риска.....	20
2.2.2	Структурная схема факторов риска. Определение реципиента. Выбор и описание реципиента.....	29
2.2.3	Мониторинг факторов риска.....	29
2.2.4	Наблюдаемые и ожидаемые климатические изменения. Проекция будущего климата.....	32
2.2.5	Анализ угроз и бедствий.....	41
2.2.6	Анализ уязвимости реципиента.....	47
2.2.7	Оценка климатического риска.....	58
2.2.8	Оценка допустимости риска.....	69
2.2.9	Комплексные риски.....	71
2.2.10	Примеры климатических рисков, создаваемых ОЯ.....	72
3	Стратегия адаптации к изменениям и изменчивости климата для России.....	82
3.1	Адаптация как управление климатическими рисками.....	82
3.2	Схемы разработки адаптационных мер.....	83
3.3	Классификации адаптационных мероприятий.....	86
3.4	Методы экономической оценки адаптационных мероприятий.....	91
3.5	Методы учета неопределенности при принятии адаптационных решений.....	94
3.6	Обзор потребностей технических секторов экономики России в адаптации. Примеры возможных адаптационных мер.....	97
	ЛИТЕРАТУРА.....	140
	ПРИЛОЖЕНИЯ 1–6.....	145

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Государственную политику в области климата России в настоящее время определяет Климатическая доктрина, принятая распоряжением президента Российской Федерации от 17 декабря 2009 г. № 861.

Решение задач, сформулированных в доктрине, должно обеспечиваться федеральными органами государственной власти на основе выполнения Росгидрометом комплексного плана реализации Климатической доктрины на период до 2020 г.

В комплексном плане предусмотрена необходимость действий в условиях неопределенности оценок будущих изменений климата и их последствий по минимизации климатических рисков и разработке государственной стратегии адаптации экономики к изменениям климата.

В данном направлении различными министерствами и ведомствами выполняется ряд работ. В частности сформулирован пакет мер по адаптации к изменениям климата прибрежных зон и в частности Арктической зоны Российской Федерации и ряда других регионов. Росгидрометом разработаны сценарии адаптации к экстремальным гидрологическим явлениям. В Климатическом центре Росгидромета составлены Методические рекомендации для УГМС по экономическому обоснованию адаптационных мероприятий, связанных с изменениями климата и Руководство по разработке методов расчета рисков и оценки последствий климатических изменений для целей формирования отраслевых, ведомственных, региональных и территориальных планов адаптации к изменениям климата.

Росстроем РФ совместно с ФГБУ «ГТО» актуализирован ряд СНиПов, которые содержат климатические рекомендации и климатическую специализированную информацию, обеспечивающие энергоэффективность зданий и их теплоснабжение.

Россельхозом разработана методика расчета рисков и оценки ущерба в лесах и на торфяниках в отдельных регионах Российской Федерации, внесены изменения в Лесной кодекс Российской Федерации, предусматривающие усиление мер пожарной безопасности в лесах.

Представляется, что дальнейшие работы по реализации Климатической доктрины Российской Федерации должны основываться на стройной системе оценок научно-обоснованных климатических рисков, доведенной до практического использования, и вытекающих из нее мер адаптации экономики к изменению и изменчивости климата.

Данная монография посвящена решению именно этих задач. В ней представлен обзор и анализ отечественной и зарубежной литературы по указанной тематике, включая собственные работы авторов последних 25 лет [Кобышева, Кобышев, 2001; Кобышева, Кобышев, 2002; Акентьева, Кобышева, 2011; Галук, Самолетова, 2008; Панфутова, Самолетова 2007 и др.], и

содержится целый ряд примеров, иллюстрирующих процессы оценки и управления климатическими рисками. Авторы монографии также стремятся ответить на многие вопросы, поставленные Глобальной рамочной основой для климатического обслуживания (ГРОКО), учрежденной Всемирной метеорологической организацией (ВМО) в 2010 г.

Авторы данной книги — заслуженный деятель науки РФ, заслуженный метеоролог РФ, д-р геогр. наук, профессор Н. В. Кобышева, ведущий научный сотрудник, канд. геогр. наук Е. М. Акентьева и канд. физ.-мат. наук Л. П. Галюк являются основоположниками развития в России методов анализа климатических рисков и экономического обоснования целесообразности принятия адаптационных мер к изменениям и изменчивости климата.

## ВВЕДЕНИЕ

В конце XX — начале XXI веков мировое научное сообщество пришло к практически единому мнению о том, что на Земле происходят значимые климатические изменения, которые ощутимо влияют на социально-экономическое развитие, продовольственную и энергетическую безопасность, урожайность сельскохозяйственных культур, миграции населения и т. д. Развитие современного моделирования климата на основе всеобъемлющих междисциплинарных исследований в рамках крупнейших международных проектов значительно улучшило понимание причин и факторов воздействия изменения климата на объекты экономики и социальной сферы. Получены доказательства того, что многие изменения, наблюдаемые в климатической системе, являются следствием как естественных, так и антропогенных факторов. Одним из проявлений климатических изменений является увеличение во многих регионах изменчивости и экстремальности климата [Груза, Ранькова, 2012]. Так, по данным [Коршунов, 2010] на территории России участились опасные явления погоды (ОЯ) а также инициированные ими техногенные чрезвычайные ситуации. ОЯ, наблюдаемые в течение двух последних десятилетий, оказались более интенсивными и разрушительными, чем когда-либо. В результате возникла безотлагательная необходимость использовать увеличивающуюся информацию о климатической системе как основу для активизации действий по уменьшению опасности бедствий и адаптации к ним.

В 2010 г. на Третьей Всемирной Конференции по климату (ВКК-3) была принята и на XVI Всемирном метеорологическом конгрессе утверждена Глобальная рамочная основа для климатического обслуживания (ГРОКО), разработанная ВМО.

В состав ГРОКО включены системы гидрометеорологических наблюдений и моделирования климата, информационная климатическая система и, как основная компонента, система обеспечения климатической информацией о меняющемся климате пользователей секторов экономики и социальной сферы. При этом следует подчеркнуть, что особенностью ГРОКО, позволяющей определить данный проект как новое стратегическое направление развития климатологии, является ее практическая направленность. Например, такой фундаментальный раздел как моделирование климата, рассматривается в плане возможности интерпретации результатов для оценки последствий изменения климата. Приоритетными составляющими информационной климатической системы являются интегрируемые в нее экономические методы. Это, прежде всего, оценка факторов климатического риска, количественно характеризующих последствия изменения и изменчивости климата и служащих отправным моментом для риск-менеджмента бедствий и адаптации человеческой деятельности к современному и будущему климату.

Хиогская (2005) и Сендайская (2015) рамочные программы действий по уменьшению опасности бедствий также отмечают приоритетный характер управления климатическими рисками для обеспечения устойчивого развития общества на локальном, национальном и глобальном уровне. В настоящее время уже не вызывает сомнения тот факт, что инвестировать в снижение рисков более эффективно, чем оплачивать последствия катастроф.

В управлении климатическими рисками важно учесть опыт климатического обслуживания. Планы и программы управления климатическими рисками должны основываться на соединении климатической информации с социально-экономическими данными и преобразовании их в комплекс различных видов климатологической продукции.

До настоящего времени понятие «климатический риск» не канонизировано и не разработана общепризнанная языковая терминология.

Разные авторы вкладывают неодинаковый смысл в понятие «риск». Например, ряд авторов придают понятию «риск» смысл вероятности угрозы (вероятность смерча, шквала и т.п.), не рассматривая при этом уязвимость объекта. Но даже в тех случаях, когда два автора придерживаются одного и того же смысла, они могут использовать разные термины. Один из них, например, говорит о риске «смерча», а другой о риске «разрушения здания» (вследствие смерча). При этом третий исследователь стремится оценить риск гибели людей в данном здании вследствие его разрушения.

Исследования авторов в рамках данной тематики показали сложность проблемы климатических рисков и адаптации к изменениям климата далеко не только в понятийной области. Не решены некоторые вопросы физики воздействия и последствий возникновения опасных климатических условий на объекты хозяйствования. Экономически не обоснованы принципы принятия решений по адаптационным мероприятиям и ряд других серьезных вопросов.

Поскольку данная книга предназначена для использования ее при климатологическом обслуживании экономики в системе Росгидромета, авторы старались включить в нее наиболее легко реализуемые (хотя и достаточно строгие) расчетные методы и, вместе с тем, не упустить последние достижения в данной области, полученные как в отечественной, так и в зарубежной практике. Данное свойство книги позволяет использовать ее и в качестве учебного пособия для студентов университетов по специализации в области прикладной климатологии.

Для удобства чтения книги ниже приводятся часто используемые основные термины. Остальные понятия и термины поясняются по тексту книги.

### **Список терминов**

Климат — в узком смысле этого слова обычно определяется как “средний режим погоды” или, в более строгом смысле, как статистическое описание



средней величины и изменчивости соответствующих количественных параметров в течение периода времени, который может варьироваться от нескольких месяцев до тысяч или миллионов лет. По определению ВМО классическим периодом для осреднения этих переменных считается 30 лет. Соответствующими количественными параметрами наиболее часто являются такие величины, как температура, осадки и ветер. В более широком смысле, климат представляет собой состояние климатической системы, в том числе ее статистическое описание [IPCC, 2007]. В данной книге принимается определение климата в строгом смысле.

Изменение климата — изменение состояния климата, которое может быть определено (например, с помощью статистических испытаний) через изменения средних значений и (или) изменчивость его свойств и которое сохраняется в течение длительного периода, обычно несколько десятилетий или больше [IPCC, 2007].

Опасное метеорологическое явление (ОЯ) — явление, которое по интенсивности развития, продолжительности или моменту возникновения представляет угрозу жизни и здоровью граждан, а также может нанести значительный материальный ущерб. Классификация ОЯ содержится в [РД 52.563.2013].

Неблагоприятное условие погоды (НУП) — условие погоды, оказывающее негативное воздействие на хозяйственную деятельность, но по своей интенсивности, продолжительности и охвату не достигшее критериев опасного метеорологического явления, установленных в перечне опасных гидрометеорологических явлений, утвержденных Росгидрометом [РД.52.04.563.2013].

Аномальное климатическое условие (АКУ) — климатическое условие, складывающееся в результате процесса изменения климатических факторов и влияющее на экологическую и социально-экономическую обстановку на данной территории.

Метеорологическая опасность (угроза) — создаваемая в результате изменения климата опасность для реципиентов в различных секторах экономики на рассматриваемой территории под воздействием ОЯ, НУП или АКУ.

Гидрометеорологическая безопасность — состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от воздействия опасных природных явлений, изменений климата (ФЗ "О гидрометеорологической службе", ст. 1)

Реципиент — отдельный объект (система объектов, отрасль), подверженный климатическому воздействию.

Риск — сочетание вероятности и последствий наступления неблагоприятного события; климатический риск определяется как произведение вероятности

конкретной метеорологической опасности на вероятность уязвимости реципиента, который может оказаться подверженным этой опасности; выражается в долях единицы или процентах [Акимов и др., 2004].

Экономический риск — произведение вероятности метеорологической опасности на величину ущерба; выражается в стоимостных единицах.

Нематериальный риск — вероятность угроз, для оценки масштаба которых невозможно либо недостаточно применять стоимостные показатели (например: социальная напряжённость, угрозы национальной безопасности и др.).

Фактор риска — составляющая процесса возникновения риска (воздействия, угроза, бедствия, подверженность и уязвимость реципиента, масштаб ущерба при наступлении бедствия).

Ущерб — материальные или финансовые потери, возникшие в результате ОЯ, НУП или АКУ.

Климатообусловленный ущерб — ущерб, возникающий при наступлении бедствия в результате воздействия на реципиент ОЯ, НУП или АКУ.

Управление рисками — процесс принятия и исполнения управленческих решений, направленных на снижение вероятности возникновения неблагоприятного результата и минимизацию возможных потерь, вызванных его реализацией [Акимов и др., 2004].

Адаптация — меры по приспособлению природных, антропогенных или смешанных природно-антропогенных систем, граждан и их сообществ, субъектов экономики в ответ на фактическое или ожидаемое воздействие климата или его последствия, которое позволяет уменьшить вред или использовать благоприятные возможности; адаптация зависит от чувствительности, уязвимости и меняющейся во времени приспособляемости систем к этим изменениям [IPCC, 2012].

Чувствительность к изменению климата — это та степень, в которой свойства объекта (системы) изменяются как негативным, так и благоприятным образом в результате воздействий, связанных с изменением климата [IPCC, 2012].

Уязвимость к изменению климата — степень, в которой объекты (системы) восприимчивы к неблагоприятным последствиям изменения климата и не могут справиться с этими последствиями. Уязвимость является функцией характера, величины и скорости изменений климата, которым подвергается данная система, а также ее чувствительности и адаптационного потенциала [IPCC, 2012].

Адаптационный потенциал — способность системы приспособливаться или быть приспособленной к изменению климата (включая его экстремальные проявления), с тем, чтобы смягчить потенциальный ущерб, использовать имеющиеся возможности или справиться с последствиями [IPCC, 2012].

# **1. Обеспечение всестороннего учета результатов климатического обслуживания в управлении климатическими рисками**

## **1.1. Система климатологического обслуживания экономики. Ее значение для обеспечения устойчивого развития общества**

Климатологическое обслуживание хозяйственной деятельности построено на доведении до потребителей системы специализированной информации и продукции о климате, его изменчивости и изменении.

Климатическое обслуживание населения и его жизнедеятельности в России является достаточно сложным и специфическим по сравнению с обслуживанием во многих других странах. Огромная территория, разнообразие и суровость климатических условий на значительных пространствах накладывают отпечаток на организацию и методы климатологического обслуживания.

До последнего времени климатологическое обслуживание состояло в использовании потребителями климатических справочников, атласов и монографий по климатографии. Управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС) предоставляли потребителям климатологические показатели из перечисленных источников и рассчитывали по требованию потребителей нормативные характеристики соответствующих документов в области потребления (Строительные нормы и правила (СНиП), Правила устройства электротехнических объектов (ПУЭ), Нормы годности и эксплуатации аэродромов (НГЭА) и т. д.).

Гидрометеорологическое обслуживание оканчивалось предоставлением требуемой информации, а также общих и специализированных по секторам экономики прогнозов.

В настоящее время можно говорить о новом периоде в развитии прикладной климатологии и специализированном обслуживании.

Производители гидрометеорологической информации должны, как уже отмечено выше, не только предоставлять гидрометеорологическую информацию, но и сопровождать процесс ее использования потребителем. При этом в обязанности гидрометеорологических служб должны входить экономические разработки: рисков, привлекательности инвестиций в климатозависимые проекты, оценки экономической эффективности предоставляемой информации, в частности, адаптационных мер. Таким образом, система климатологического обслуживания образуется на основе базовой информации, проходящей многостороннюю трансформацию и интеграцию в социально-экономическую информацию через комплекс физических и экономических моделей. Структура данной системы во всех сферах (экологической, технической, социальной) одна и та же, но внутри каждой сферы используются разные методы. В данной книге рассматривается преимущественно методика климатологического обслуживания, используемая в технической сфере, однако представлены примеры ее использования и в других сферах, в частности, в социальной.

Наличие специализированной информации о климате помогает предотвратить опасные последствия природных и техногенных бедствий, которые могут возникнуть в результате как экстремальных явлений, так и медленных климатических изменений, и оказывает поддержку при разработке рациональных долгосрочных стратегий адаптации. Обоснованные хозяйственные решения не могут приниматься вне системы надежного климатического обслуживания. Это и побудило ВМО обратиться к новому направлению климатических исследований в виде разработки Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания (ГРОКО).

ГРОКО призвана стать «глобальной оперативной базой для содействия более эффективному использованию климатической информации с целью снижения уязвимости и управления рисками, связанными с климатом» (см. Знания о климате как основа для действий. Доклад целевой группы высокого уровня Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания. ВМО-№ 1065. 2011. 286 с.).

Так как данная книга посвящена, прежде всего, оценке воздействия климатических факторов на техническую сферу, рассмотрим структуру трех основных технических секторов экономики (строительство, энергетика, транспорт) и систему соответствующих климатических характеристик (индексов влияния), учет которых наиболее важен для функционирования этих секторов.

На рисунке 1.1. в виде «дерева» проиллюстрирована схема строительной отрасли. Для каждой отрасли указаны основные специализированные показатели, выражающие воздействие климата на соответствующие объекты и процессы.

На рисунке 1.2. представлена инфраструктура сектора энергетики в виде «дерева», «ветвями» которого служат различные отрасли энергетического сектора. Хотя все составляющие ТЭК зависят от климата в целом, для каждой можно выделить свойственные ей в первую очередь воздействия, которые характеризуют тот или иной конкретный климатический показатель. Например, одним из основных ОЯ при добыче нефти и газа является дней с грозой, а для добычи торфа — повторяемость сильных туманов; в расчеты АЭС входят значения температуры воздуха, ветра и снежного покрова, возможные 1 раз в 10 000 лет, а в расчеты ветровых электростанций (ВЭС) — средний куб скорости ветра и т. д.

На рисунке 1.3 представлена схема звеньев сухопутного транспорта и основных видов климатической информации, необходимой для обеспечения каждого из этих звеньев. Современные технологии получения и применения климатической информации в указанных направлениях позволят обеспечить безопасность и непрерывность движения на дорогах, а также удешевить перевозки.

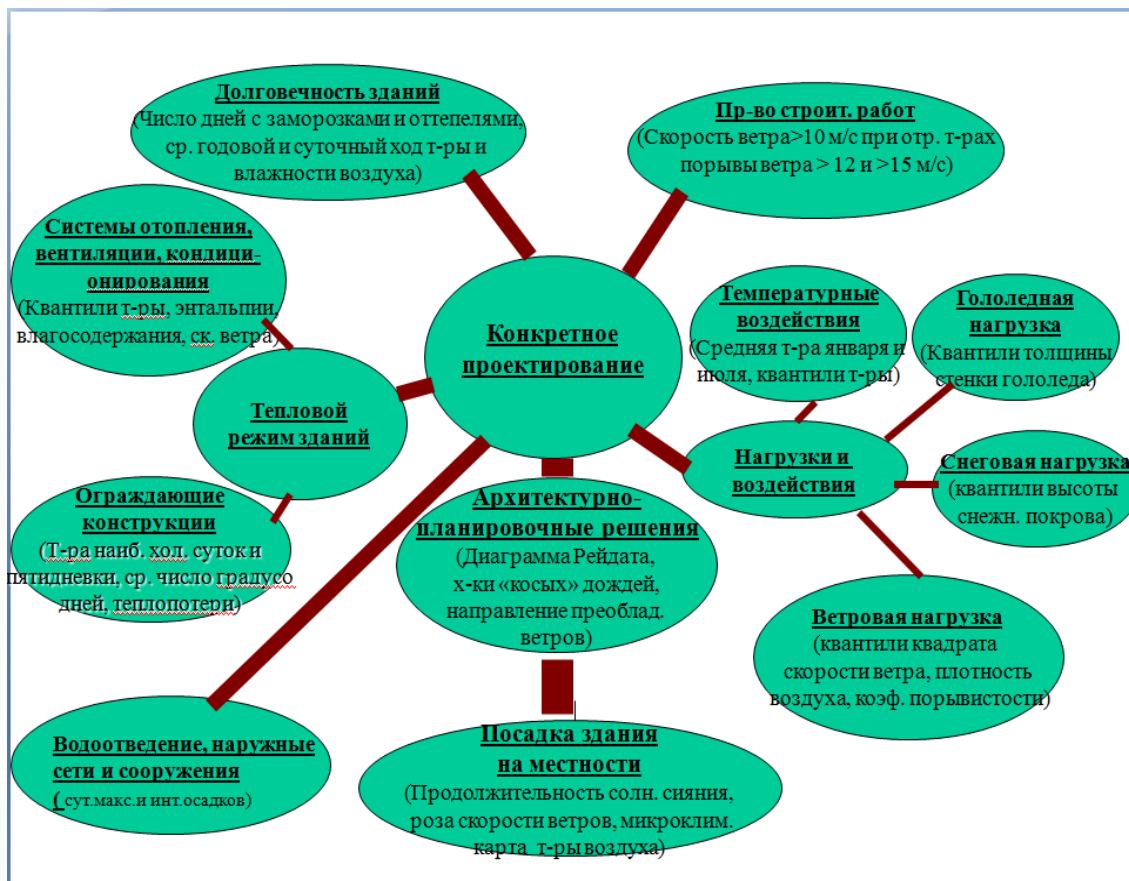


Рис. 1.1. Инфраструктура строительной индустрии и ее климатологическое обеспечение.

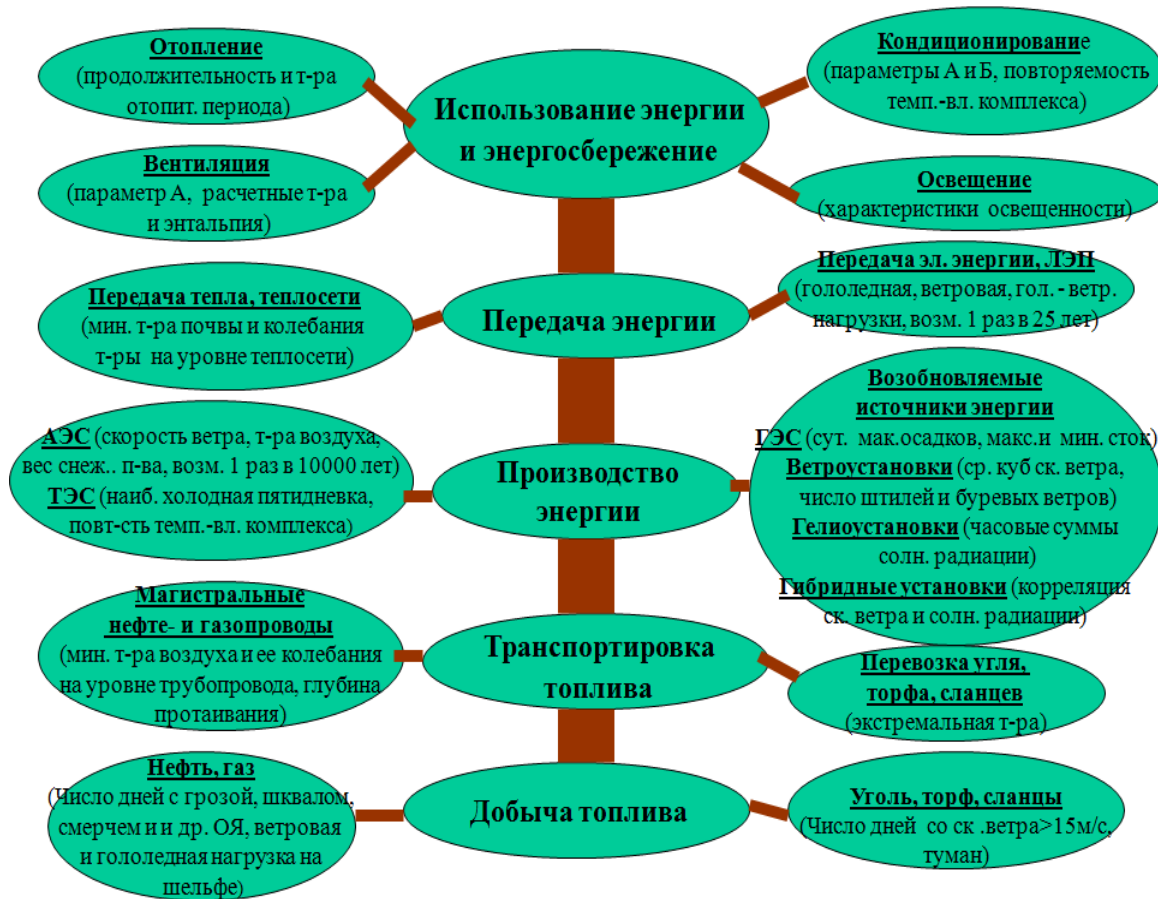


Рис. 1.2. Инфраструктура ТЭК и его климатологическое обеспечение.

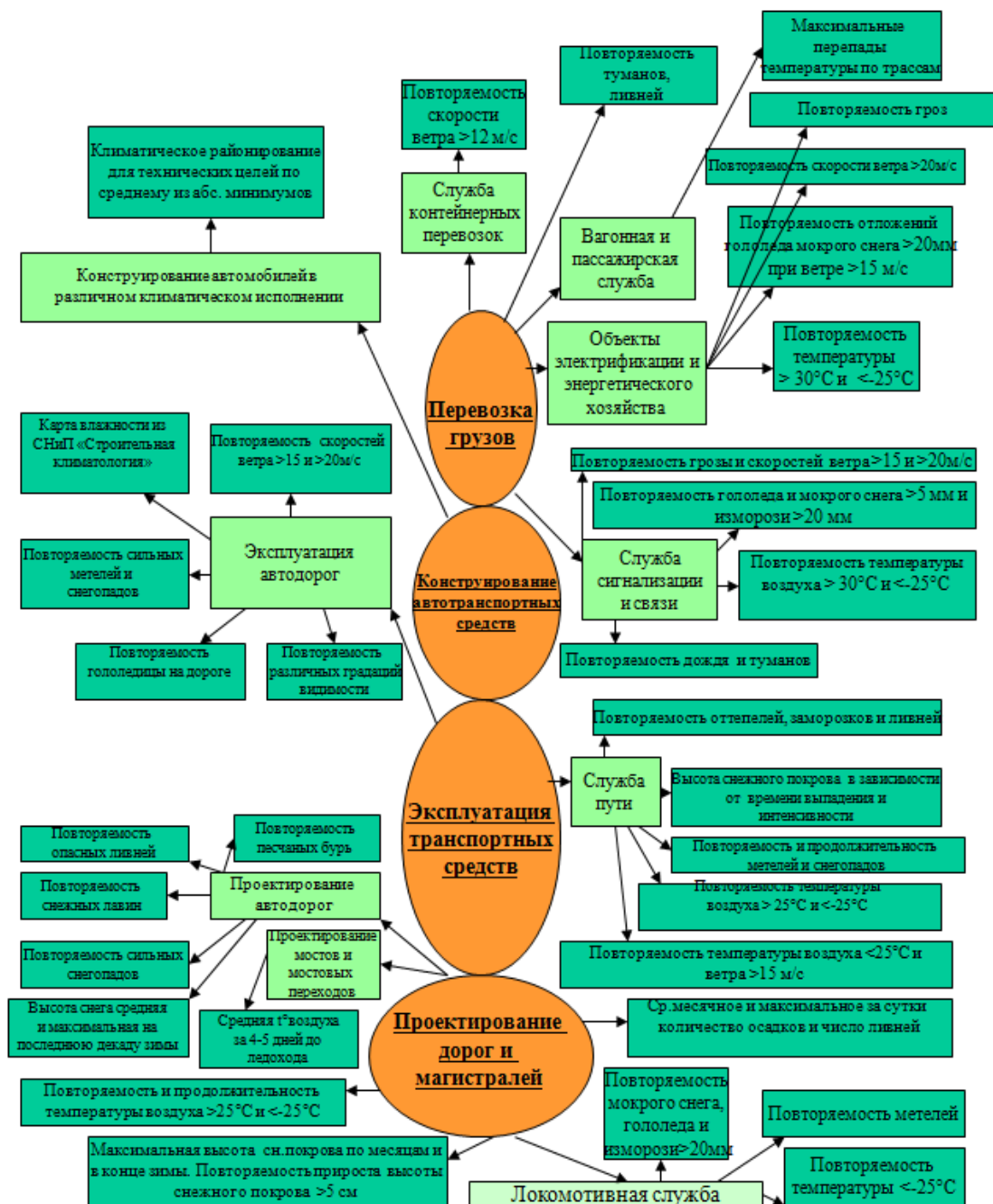


Рис. 1.3. Инфраструктура системы сухопутного транспорта.

Важнейшим условием эффективной адаптации экономики к нестабильному климату является адекватное представление климатологами требований к специализированной климатологической информации, без которого ни управление климатическими рисками, ни разработка адаптационных мероприятий в приемлемом варианте невозможны. Авторы книги предлагают свое видение данной проблемы, основанное на многолетнем опыте климатологического специализированного обслуживания промышленного и социально-экономического комплексов.

Для решения этой проблемы в ГГО были разработаны так называемые Реестры требований потребителей технической сферы. Эти требования состоят из формулировок задач, решаемых с учетом и на основе климатических параметров, и необходимых для принятия решений климатических индексов влияния, с указаниями на их нормативную принадлежность.

В качестве примера в Приложении 1 приведена часть Реестра секторальных задач и климатических индексов влияния для строительной индустрии, на учете которых строится климатозависимое решение (включая риски и адаптацию). В строительном секторе, где сосредоточено проектирование всех видов объектов (энергетических, транспортных, сельскохозяйственных, ЖКХ и др.), более 60 % учитываемой метеорологической информации составляют климатические индексы влияния.

В полном Реестре, представляемом в виде РД, прописаны также методы расчета индексов влияния с указанием конкретных нормативных изданий, в которых содержатся:

- характеристики этих индексов;
- указание на необходимость их использования в конкретных расчетах и на адрес соответствующего нормативного документа;
- методика расчета специфических индексов, отсутствующая в общих методических руководствах по климатологии.

## **1.2. Пути совершенствования климатического обслуживания в рамках реализации ГРОКО**

Развитие климатического обслуживания основывается на фундаментальных исследованиях, проводимых на основе уже существующих знаний о климате и его изменениях и о функционировании областей применения знаний.

Рассмотрим некоторые необходимые исследования по пяти основным компонентам ГРОКО.

1. **Наблюдения.** В условиях сокращающегося числа пунктов наблюдений метеорологической сети в РФ и внедрения дифференцированных программ наблюдений при автоматизации сети важно:



- формализовать закономерности микроклимата для создания методики интерполяции климатических данных в районах, слабоосвещенных в метеорологическом отношении;
- расширить систему пространственных корреляционных и спектральных функций метеорологических величин и разработать на этой основе гистехнологию картирования с учетом морфометрии земной поверхности и результатов спутниковых наблюдений.

## 2. Климатические исследования, моделирование и предсказание.

Необходимо дальнейшее развитие климатического моделирования с целью получения климатических характеристик большего пространственного и временного разрешения. Ключевое направление научных исследований, проводимых при поддержке ГРОКО, это разработка практических методов для интеграции знаний о климате в процессы принятия решений (с использованием доступных для климатологов УГМС методов оценки климатических рисков). При этом должны быть учтены неопределенности результатов моделирования; разрабатываемая методика должна носить междисциплинарный характер.

**3. Информационная система климатологического обслуживания.** Для реализации ключевой задачи ГРОКО по обеспечению оперативного климатологического обслуживания, которое основывается на нормативной информации, подведомственным Росгидромету организациям следует:

- участвовать в разработке нормативных отраслевых документов, включающих климатические параметры, указания на их использование и некоторые методы расчетов климатических индексов влияния;
- разработать Реестры климатообусловленных задач, решаемых потребителями, и соответствующих индексов влияния;
- специалистам, участвующим в обслуживании, изучать эти Реестры и использовать в практической деятельности.

В Приложении 2 представлен Реестр основных специализированных климатических характеристик (индексов влияния) для технической сферы.

**4. Нарращивание потенциала.** Предполагается разработка программы курсов усовершенствования для климатологов УГМС, административных работников, принимающих решения, преподавателей университетов (кафедр климатологии) и аспирантов.

**5. Программы взаимодействия с пользователями климатологического обслуживания.** В Программы включаются следующие пункты:

- организация содружества ведущих ученых климатологов и потребителей и предоставление совместных публикаций, организация совместных семинаров и конференций;

- создание в обслуживающих организациях фонда запросов потребителей и ответов на них с четкими описаниями назначения представляемых данных.

## 2. Анализ климатических рисков

### 2.1. Концепции риска

В Пятом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата ВМО [МГЭИК, 2014] структура климатического риска представлена в следующем виде (рис. 2.1).

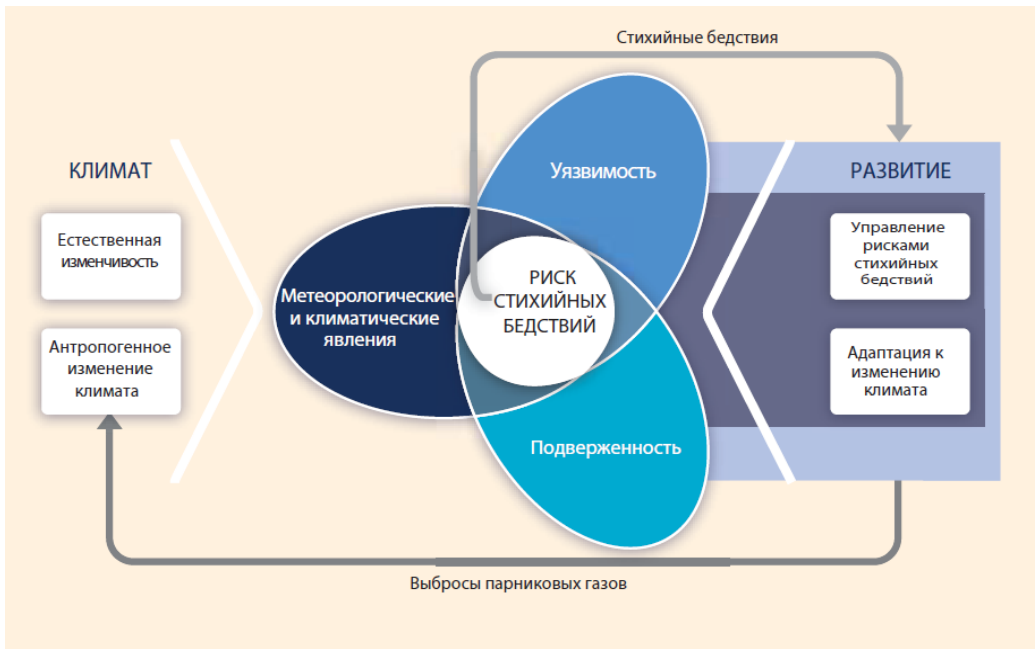


Рис. 2.1. Концепция управления климатическими рисками в контексте изменения климата [МГЭИК, 2014].

Таким образом, можно говорить о климатическом риске, если на данной территории наблюдаются опасные или неблагоприятные метеорологические явления и существует некий объект (реципиент риска), находящийся под их вероятным воздействием и уязвимый к ним. Метеорологические и климатические явления включают в себя опасные явления, перечень которых утвержден местной гидрометслужбой, экстремальные значения метеорологических переменных, превышающие

заданные потребителем пределы, а также проявления медленных климатических изменений, таких как рост уровня моря, таяние вечной мерзлоты и др. В качестве реципиента риска может выступать население, территории, отрасли экономики, технические объекты и процессы, экосистемы.

Так как риск является показателем опасности будет логичным сформулировать концепцию безопасности. Исторически первой концепцией безопасности (или риска) являлась **концепция оправданного риска** [Акимов и др., 2004]. Эта концепция в социально-экономической системе реализуется в методике принятия решений в виде «затраты-выгоды».

Однако, исходя из этой концепции, риски различной деятельности в реальных условиях распределяются неравномерно. При этом риски для некоторой части людей могут оказаться неприемлемыми. Следовательно, должны быть приняты меры, чтобы этого избежать. Поэтому, начиная с семидесятых годов XX в. всеми развитыми государствами принята **концепция приемлемого риска**. Эта концепция принята в целях управления риском и лежит в основе планирования мероприятий по обеспечению безопасности всего населения. Меры по безопасности препятствуют или уменьшают действие поражающих и вредных факторов для работы объектов. Однако некоторые технологии могут быть сопряжены с чрезмерным риском. Поэтому наряду с концепцией приемлемого риска продолжает использоваться и концепция оправданного риска [Акимов и др., 2004]. Кроме того, в целях обеспечения безопасности личности, общества и государства от внешних и внутренних угроз рассматривается **концепция национальной безопасности**.

Усиливающееся в последнее время воздействие на окружающую среду вызвало принятие еще одной концепции. На Конференции ООН по окружающей среде и развитию, состоявшейся в 1992 г. в Рио-де-Жанейро, была сформулирована **концепция устойчивого развития**. Эта концепция предусматривает управляемое развитие общества, не разрушающее своей природной среды и в то же время обеспечивающее процесс развития цивилизации. Устойчивое развитие означает равенство возможностей настоящего и будущего поколений. На государственном уровне методы анализа и управления рисками основаны на концепции приемлемого риска.

При анализе климатических рисков будем руководствоваться концепциями **приемлемого риска и устойчивого развития**.

## **2.2. Методический аппарат анализа климатического риска в технической сфере**

Анализ климатических рисков — это исследование, направленное на выявление различных видов риска, их количественное определение и прогноз их

взаимодействия с антропогенной средой. Данный анализ выполняется в несколько этапов: идентификация рисков, количественная оценка рисков и прогноза риска.

Разработке любых численных оценок риска должна предшествовать **идентификация риска**, т. е. определение того, с какими именно рисками имеет дело инвестор. Обычно идентификация рисков основывается на экспертных суждениях. Количественная оценка риска предполагает определение последствий реализации ОЯ и разработку методики расчета всех видов риска: возникновения ОЯ, НУП, комплексного риска и рисков, создаваемых медленными изменениями климата. В заключении вырабатывается решение, направленное на его снижение.

### 2.2.1. Идентификация риска

Идентификация климатического риска — достаточно сложный процесс, т. к. требует знаний в областях применения климатической информации.

Данные знания позволяют определить весь спектр возможных не только первичных, но и вторичных последствий опасных климатических условий.

В некоторых случаях угрожающим фактором при оценке климатического риска может служить не само ОЯ, а создаваемое им природное или техногенное событие или распределение событий, которое в свою очередь воздействует на тот или иной реципиент. При этом рассматривают вторичный риск исходного ОЯ, т. е. последствия ОЯ в качестве угрожающего фактора риска. Ниже рассмотрим пример такого рода, идентифицируя климатические риски системы теплоснабжения зданий.

Следует также заметить, что при идентификации рисков в понятие «риск» часто вкладывают различный смысл. Например, ураган создает разрушения, при которых гибнут люди. Можно говорить о риске урагана, о риске разрушений и о риске гибели людей от урагана. Поскольку риск является функцией угрожающего фактора и ущерба, допустимы, по-видимому, все формулировки, однако в каждом конкретном случае необходимо четко определить, о каком риске идет речь.

В Пятом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата ВМО [МГЭИК, 2014] идентификация ключевых рисков была основана на экспертных суждениях, в которых использовались следующие критерии: «высокая величина, большая вероятность или необратимость воздействий; сроки воздействий; сохраняющиеся уязвимость или подверженность, способствующие возникновению рисков; или ограниченный потенциал для уменьшения рисков посредством адаптации или смягчения воздействий». Риски характеризовались в диапазоне от весьма низкого до весьма высокого для трех временных интервалов: настоящее время, ближайшая перспектива (до 2030—2040 гг.), долгосрочная перспектива (2080—2100 гг.).

Каждый из этих ключевых рисков вызывает причины для озабоченности и необходимость в принятии решений:

- риск гибели, увечий или уничтожения средств к существованию в низменных прибрежных зонах и в малых островных государствах, вызванных штормовыми нагонами, прибрежными наводнениями и повышением уровня моря;
- систематические риски, вызванные аномальными метеорологическими явлениями и ведущие к нарушению эффективного функционирования инфраструктурных сетей и жизненно важных систем обслуживания, таких как электроснабжение, водоснабжение, здравоохранение, служба МЧС;
- риск смертности и заболеваемости в течение периодов экстремальной жары, особенно для уязвимых групп городского населения;
- риск отсутствия продовольственной безопасности и сбоя в функционировании продовольственных систем, связанный с потеплением, засухой, наводнением, изменчивостью осадков, экстремальными осадками;
- риск потери средств к существованию и дохода из-за недостаточного доступа к питьевой воде и воде для ирригации, а также снижения продуктивности сельского хозяйства в полузасушливых регионах;
- риск утраты морских и прибрежных экосистем, биоразнообразия, экосистемных функций и услуг, которые они обеспечивают в качестве средств к существованию в прибрежных зонах, особенно в тропиках и в Арктике,

Приведем **пример** идентификации риска для системы теплоснабжения городов, который в соответствие с приведенным перечнем можно рассматривать как относящийся к ключевым рискам.

Для обеспечения систем теплоснабжения городов России недостаточно используемых в настоящее время нормативных климатических параметров, содержащихся в СП 201330.2012 (СНиП 23.01.99\*). Характеристики этих параметров могут обеспечить лишь приблизительные оценки количества необходимого тепла для отопления и средней продолжительности отопительного периода (ОП).

Для проектирования оптимальной системы теплоснабжения, обеспечивающей требуемое качество тепловой энергии, получаемой потребителем, и высокую эффективность данного процесса необходимо получить дополнительную более подробную климатическую информацию. Эта информация должна позволить идентифицировать климатические риски, возникающие в процессе теплоснабжения, осуществить управление ими и отрегулировать теплоснабжение в городах РФ,

Ухудшение качества теплоснабжения и аварии в виде прекращения подачи тепла и последующих нарушений производственных процессов на снабжаемых предприятиях могут происходить по разным причинам. Это могут быть различные аномальные климатические явления, а также технические нарушения процесса теплоснабжения. Прогнозируемая зима, включая ОП, может оказаться значительно теплее (холоднее) реальной. Возможны случаи, когда происходят выбросы температуры наружного воздуха в отопительный период (ОП). В течение нескольких часов или суток может наблюдаться температура воздуха гораздо ниже (выше) расчетной. При радиальной «закрытой» системе теплоснабжения в начале ОП приходится подогревать воду для горячего водоснабжения и при этом температура воды для отопления также увеличивается (без нужды). Наконец, администрация города в целях экономии топлива требует топить в расчете на более низкую, по сравнению с фактической (наблюдаемой), температуру наружного воздуха.

Перечисленные причины и еще несколько им подобных приводят, как это показано в работе [Кузнецов, Кобышева и др. 2012], к «перетопам» и «недотопам». Идентифицируя риски процесса теплоснабжения именно эти явления будем рассматривать как угрожающий фактор. Следовательно, основным видом климатических рисков в системе теплоснабжения являются риски «недотопов» и «перетопов». Они, в свою очередь, ведут не только к низкому качеству теплоснабжения (почти в 2 раза менее эффективному, чем в других развитых странах), но и к бедствиям, в виде перерывов и ухудшения в подаче тепла производствам (хозяйствующим субъектам), а также урона здоровью населения.

Идентификация рисков применительно к системе теплоснабжения и методы их оценки являются важным инструментом для решения задач теплоснабжения.

Для обеспечения качественного теплоснабжения решаются следующие основные задачи:

1. определение необходимого количества тепла для потребителей города в целом и по районам;
2. проектирование систем теплоснабжения (отопления и горячего водоснабжения);
3. закупка необходимого количества топлива на предстоящий ОП;
4. регулировка качества отопления (обеспечение надежности теплоснабжения и соблюдения режима подачи топлива, предупреждение аварий, возникающих при снижении температуры воздуха в жилых зданиях до 12 °С и ниже в течение 36 часов и более).

Решение каждой из этих задач опирается на определенные специализированные климатические параметры и сезонный прогноз.

Решение первой задачи определения потребности в тепловой энергии  $Q_{оп}$  выполняется по формуле:

$$Q_{\text{оп}} = Q_{\text{ор}} \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{оп}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{пр}}} n_{\text{оп}} \tau_{\text{ср}} \quad (2.1)$$

где  $Q_{\text{ор}}$  — расчетные теплопотери зданий МДж/ч;

$n_{\text{оп}}$  — расчетная продолжительность ОП (сут.);

$\tau_{\text{ср}}$  — число часов работы системы в сутки (ч/сутки) (при круглосуточном отоплении  $\tau = 24$  ч);

$t_{\text{оп}}$  — средняя температура воздуха за ОП, °С;

$t_{\text{в}}$  — расчетная температура воздуха в помещении, °С (принимается по ГОСТ);

$t_{\text{пр}}$  — расчетная температура наружного воздуха, т. е. температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92.

Значения  $t_{\text{оп}}$ ,  $t_{\text{пр}}$ ,  $n_{\text{оп}}$ , принимаются по СП 20 1333.2012 для данного населенного пункта. Отметим, что  $t_{\text{оп}}$  и  $n_{\text{оп}}$  подвержены межгодовым колебаниям, которые носят случайный характер. Они распределены по нормальному закону и могут приниматься как оценки математического ожидания нормального закона.

Второй параметр нормального закона — дисперсия межгодовых колебаний может быть определен из выражения:

$$(t_{\text{в}} - t_{\text{оп}})n_{\text{оп}} = Q_{\text{оп}}(t_{\text{в}} - t_{\text{ор}})/Q_{\text{ор}}\tau_{\text{ср}} \quad (2.2)$$

Обозначим левую часть равенства  $(t_{\text{в}} - t_{\text{оп}})n_{\text{оп}} = h$ . Случайная величина градусо-суток ( $h$ ) характеризует функцию двух случайных величин  $t_{\text{оп}}$  и  $n_{\text{оп}}$ . По их значениям, задав обеспеченность функции нормального распределения  $\mathcal{F}(h)$ , определяют потребность в тепловой энергии, которая составит:

$$Q_{\text{оп}} = Q_{\text{ор}} h \tau_{\text{ср}} / (t_{\text{в}} - t_{\text{ор}}) \quad (2.3)$$

Таким образом, первая задача теплоснабжения решается, если в распоряжении исполнителя есть специализированные климатические параметры  $t_{\text{оп}}$ ,  $t_{\text{в}}$ ,  $t_{\text{пр}}$ ,  $n_{\text{оп}}$ ,  $\tau_{\text{ср}}$ .

На планируемый год количество тепловой энергии (МДж/сезон) ориентировочно устанавливают по результатам сезонного прогноза  $t_{\text{оп}}$ . Продолжительность отопительного периода на конкретный год прогнозировать практически невозможно и поэтому в расчетах используют климатический норматив  $n_{\text{оп}}$ . Используя нормальность распределения температуры воздуха, можно рассчитать  $Q_{\text{оп}}$  по нормальному закону. В данном случае для определения  $Q_{\text{оп}}$  не требуются исходные ряды температур за отдельные сроки.

Теплоснабжающие организации в этих случаях пользуются графиком (рис. 2.2). Данный график затем привлекается и к решению третьей задачи. Если прогноз температуры воздуха на сезон окажется ошибочным или расчетные значения перечисленных параметров определены некорректно (например, по устаревшему СНиП или по недопустимо коротким рядам) неизбежно возникнут или недостача топлива и тогда происходит «недотоп», или его избыток — «перетоп».

Для решения второй задачи (проектирование отопительной системы) используются нормативные характеристики продолжительности и температуры отопительного периода, а также температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью с 0,92. Тем не менее, для проектирования систем и принятия определенной установочной мощности помимо перечисленных параметров важно иметь данные о продолжительности стояния<sup>1</sup> ежечасной средней температуры воздуха (табл. 2.1), рассчитанной по рядам наблюдений или методом, так называемого, «типового» года [Малявина и др., 2013].

Таблица 2.1

**Продолжительность (ч) стояния среднесуточной температуры наружного воздуха в заданном интервале температур для города Омска**

Диапазон температуры наружного воздуха, °С	январь	февраль	ноябрь	декабрь
-45,5±2,5	2,4	2,4	—	0,7
-37,5±2,5	14,4	7,2	2,4	19,2
-32,5±2,5	50,4	33,6	7,2	43,2
-27,5±2,5	100,8	79,2	28,8	57,6
-22,5±2,5	174,5	137,0	43,2	124,8
-17,5±2,5	160,8	155,8	79,2	144,0
-12,5±2,5	156,0	141,6	132,0	179,9
-7,5±2,5	74,4	88,8	180,0	127,2
-2,5±2,5	9,6	24,0	180,0	48,0
2,5±2,5	0,7	2,4	52,4	2,4
7,5±2,5	—	—	4,8	—

Установочная мощность отопительной системы может оказаться недостаточной, в случае если в текущем году будут отмечаться: температура воздуха ниже расчетной (т. е. 92 %-й квантили распределения наиболее холодных пятидневок) или стояние расчетной или близкой к ней температуры воздуха будет продолжаться несколько суток. В этих случаях может возникнуть «недотоп».

Третья задача: назначение трансфертов на закупку топлива в климатологической практике чаще всего решается в зависимости от средней продолжительности ОП. Средняя продолжительность ОП — нормативная характеристика. Она определяется как число дней между датами устойчивого

<sup>1</sup> Стояние температур – термин, принятый в теплофизике



перехода средней суточной температуры воздуха в сторону понижения и повышения температуры через  $+8^{\circ}\text{C}$  или  $+10^{\circ}\text{C}$ .

Для уточнения продолжительности ОП используется рис. 2.2 (зависимость продолжительности ОП в часах от расходов тепла на отопление).

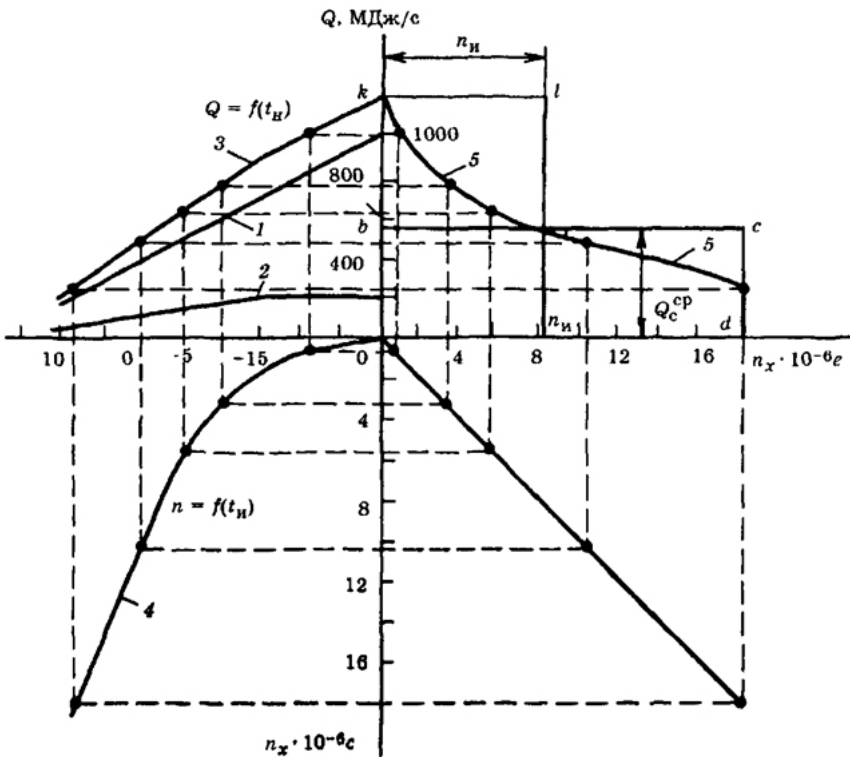


Рис. 2.2. График продолжительности сезонной тепловой нагрузки.

1 —  $Q_{\text{оп}} = f(t_n)$ ; 2 —  $Q_{\text{в}} = f(t_n)$ ;

3 —  $Q_{\text{оп}} + Q_{\text{в}} = f(t_n)$ ; 4 —  $n = f(t_n)$ ;

5 — график продолжительности сезонной тепловой нагрузки.

Построение ведется в четырех квадрантах. В левом верхнем квадранте построены графики зависимости от наружной температуры  $t_n$ , тепловой нагрузки отопления  $Q_{\text{оп}}$ , вентиляции  $Q_{\text{в}}$  и суммарной сезонной нагрузки  $Q_{\text{оп}} + Q_{\text{в}}$ . В нижнем левом квадранте приведена кривая длительности стояния  $n$  в течение отопительного периода наружных температур  $t_n$ , равных данной температуре или ниже. Эта кривая строится на основе данных, приведенных в справочной литературе. В нижнем правом квадранте проведена прямая линия под углом  $45^{\circ}$  к вертикальной и горизонтальной осям, используемая для переноса значений шкалы  $n$  из нижнего левого квадранта в верхний правый квадрант.

График продолжительности тепловой нагрузки (кривая 5) строится для разных наружных температур  $t_n$  по точкам пересечения штриховых линий, определяющих тепловую нагрузку и длительность стояния нагрузок, равных или больше данной.

Очевидно, что для всех задач основным угрожающим фактором являются «недотопы» и «перетопы».

Четвертая задача состоит в регулировке качества отопления для предотвращения «недотопов» и «перетопов» и исключения аварий. Для ее решения также необходимы данные о продолжительности стояния часовой температуры, равной заданным значениям.

Подчеркнем, что эти данные являются очень важными для теплоснабжения, а график, построенный по ним, специалисты называют «становым хребтом теплоснабжения».

Рассмотрим разные виды «недотопов» и «перетопов» и причины их образования.

«Недотоп» наиболее опасен. Он возникает вследствие:

- ошибочного прогноза более теплой зимы и соответствующей коррекции приемлемой температуры наружного воздуха;
- увеличения изменчивости температуры воздуха при изменении климата;
- нехватки топлива при кризисной экономической ситуации.

При «недотопе» могут возникнуть следующие экономические потери:

- потери теплоснабжающих предприятий (потери, обусловленные изменением режима работы эксплуатационной системы вплоть до полной ее разбалансировки, деградация технического уровня оборудования и т. д.);
- потери общественных предприятий (потери, связанные с невыпуском продукции, простоями, вынужденными изменениями режима работы и т. д.);
- потери потребителей (увеличение затрат на компенсацию недоотпуска тепла за счет использования электроэнергии; потери, связанные с влиянием на здоровье (оплата лечения, лекарств, бюллетеней), рост числа пожаров и т. д.)

«Недотоп» возникает преимущественно в конце отопительного периода, а «перетоп» может отмечаться как в начале, так и в конце ОП, и возникает, как правило, чаще, чем «недотоп». При этом экономические потери, как правило, бывают меньше, чем при «недотопе», но тоже вносят в свой вклад в неэффективность теплоснабжения в России.

«Перетоп» возникает:

- в начале и конце отопительного периода: при переходе температуры воздуха через  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура теплоносителя поддерживается на уровне  $65\text{—}70\text{ }^{\circ}\text{C}$  (нагрев для наружной температуры  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), что

соответствует нормативному значению для горячего водоснабжения и превышает необходимую температуру для систем отопления потребителей (например, в Санкт-Петербурге примерно 800 часов в год наблюдается «перетоп» только по этой причине);

- при прогнозе более холодного и (или) длительного отопительного сезона, или использовании устаревших нормативных данных (как следствие, снижение выработки и объема потребления тепла в течение ОП, а в его конце, для избегания штрафных санкций, продолжается подача излишней тепловой энергии потребителю).

Регулирование и улучшение качества теплоснабжения опирается на оценку рисков «недотоп» и «перетоп», которые мы будем идентифицировать как климатические риски применительно к системе теплоснабжения. Методика расчета рисков возникновения ОП разработана и опубликована в работах автора [Кобышева, Кобышев, 2001; Кобышева, Ключева, 2015]. Ее подробное изложение помещено в разделе 3.

Риск ОЯ ( $R_{OЯ}$ ) оценивается в наиболее общем виде по формулам:

$$R_{OЯ} = P_{OЯ} * P_{Y_{OЯ}} \quad (2.4)$$

$$\text{или } R_{OЯэ} = P_{OЯ} * Y \quad (2.5)$$

где  $P_{OЯ}$  — вероятность ОЯ;

$P_{Y_{OЯ}}$  — условная вероятность ущерба при ОЯ;

$Y$  — ущерб от ОЯ в стоимостных единицах;

$R_{OЯэ}$  — экономический риск.

«Недотоп» и «перетоп» можно рассматривать как ОЯ и использовать имеющуюся методику. Однако расчеты рисков недотопа и перетопа имеют свои особенности. Методы расчета зависят от описанных выше разных причин «недотопов» и «перетопов».

Часто «недотоп» и «перетоп» возникают вследствие ориентирования при закупке топлива на нормативные значения продолжительности ОП. Нормируемая в СНиП продолжительность отопительного периода рассчитывается как разность между датами устойчивого перехода через  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а регулярное отопление в конкретном отопительном сезоне объявляется при установившейся среднесуточной температуре наружного воздуха  $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже в течение 5 суток или при неблагоприятном прогнозе о резком понижении температуры наружного воздуха распоряжением Комитета по энергетике и инженерному обеспечению. Например, средняя продолжительность отопительного периода в Санкт-Петербурге, рассчитанная за период 1966—2014 гг. по данным за каждый год, равна 211 дням, а приведенная в СНиП за период 1966—2010 гг. — 213 дням.

В этом случае возможен следующий способ оценки риска: средняя продолжительность ОП определяется по продленному ряду  $n_{оп1}$  и выбирается из

нормативного документа  $n_{оп_2}$ , а затем разность  $\Delta = n_{оп_1} - n_{оп_2}$  умножается на стоимость одного отопительного дня в Санкт-Петербурге.

По данным <http://gosjkh.ru/houses/sankt-peterburg> в Санкт-Петербурге площадь жилого фонда составляет более 50260110 м<sup>2</sup>. Согласно существующим тарифам стоимость отопления одного дня в Санкт-Петербурге составляет приблизительно 62 млн руб. (табл. 2.2). Т. е. ущерб при «перетопе» на 2 дня составит для населения Санкт-Петербурга около 120 млн руб.

Таблица 2.2

### Тарифы стоимости отопления в Санкт-Петербурге

Тариф на тепловую энергию для расчета за коммунальную услугу по отоплению, руб./Гкал.....	1541,78
Средние нормативы потребления коммунальной услуги по отоплению в жилых помещениях, Гкал/кв. м в месяц.....	0,024
Общая площадь жилого фонда Санкт-Петербурга, кв. м...	50260110
Средняя стоимость отопления в жилых помещениях, Гкал/кв. м в месяц, руб.....	1859760777
Средняя стоимость отопления в жилых помещениях, Гкал/кв. м в день, руб.....	61992026

При наличии длинного ряда (более 100 лет) вычисляются разности вероятности различной средней продолжительности на 1, 2, 3, ...n дней, которые умножаются так же на стоимость одного отопительного дня стандартного здания. Получаются распределения значений экономического риска. При определении риска на будущее результат дополнительно умножается на коэффициент дисконтирования.

В случае, если «недотоп» или «перетоп» являются следствием ошибочного прогноза средней температуры отопительного периода, первая составляющая в формуле 2.4 (вероятность ОЯ) может быть заменена значением вероятности ошибки прогноза.

В случаях «недотопа», когда по той или иной из указанных выше причин не хватило мощности системы, что привело к аварии, для получения приближенной оценки риска следует в качестве первой составляющей использовать число суток или часов отключения подачи топлива.

Риски «перетопа» в начале отопительного периода можно рассчитать, оценивая количество затраченного топлива на повышения температуры воды до 70°.

Ущерб полностью оценить очень трудно (Кузнецов, Кобышева и др., 2012). Во всяком случае, понятно, что и ущерб и риск будут очень большими.

Значения климатических рисков должны неукоснительно использоваться при составлении договорных отношений теплоснабжающей организации с

потребителями. Договорные характеристики теплоснабжения не должны значительно расходиться с нормативными и фактическими.

Полученные значения риска «перетопа» должны вызвать ряд административных и хозяйственных действий, например, отмену штрафа за оставшееся топливо, принять меры по централизации систем теплоснабжения.

## 2.2.2. Структурная схема факторов риска. Определение реципиента. Выбор и описание реципиента

На рис. 2.2 представлены основные факторы (составляющие) структуры риска. На основе анализа схемы факторов составляется оценка климатического риска.

На первом этапе определения факторов риска выявляются реципиенты. Согласно наиболее общей классификации, используемой при анализе климатических рисков, реципиенты делятся на три основные группы: природные, социальные и технические [Акимов и др., 2004]. Дополнительно в книге выделяются подгруппы: социоприродные (города), природно-техногенные (ветро-, гелио установки и т.п.) реципиенты.

В соответствии с рис. 2.3. реципиентом (предметом, находящимся под воздействием ОЯ, НУП, АКУ) могут служить:

- объект, система объектов (объектом может быть человек);
- процесс, комплексный процесс;
- территория (страна, регион, область, город, поселение),
- отрасль экономики.

Показатели реципиентов не являются типовыми, а в каждом конкретном случае зависят от вида реципиента и решаемой задачи. Если реципиентом является **объект** — описывается его назначение и особенности устройства; реципиент — **процесс** характеризуется назначением и временем протекания; для **отрасли** указывается ее инфраструктура. Для **территории** необходимо очертить границы реципиента (объекта, системы объектов, район действия процесса, территории).

## 2.2.3. Мониторинг факторов риска

Мониторинг гидрометеорологических условий занимает важное место в комплексе мероприятий, направленных на прогноз рисков. Необходим не только метеорологический (климатический) мониторинг, но и мониторинг уязвимости реципиента (технический мониторинг), включающий все составляющие уязвимости: подверженность, чувствительность, потенциал адаптивности. Ведь с течением времени изменяются свойства реципиента. Здания и сооружения стареют, истощается их срок эксплуатации и соответственно становится другой их реакция на воздействия метеорологических явлений.



Рис. 2.3. Схема факторов риска.

В результате мониторинга определяются тренды характеристик метеорологических величин, поведение экстремумов и специализированных климатических показателей, а также характер и степень изменения реципиентов риска. В условиях нестационарного климата адекватные оценки трендов становятся особенно актуальными, т. к. наблюдаемые климатические изменения могут вносить коррективы в расчетные характеристики метеорологических величин [Салль, 2015].

Мониторинг климатической составляющей входит в Единую государственную систему экологического мониторинга. За функционирование данной системы отвечает Министерство природных ресурсов РФ. Слежению за метеорологическими процессами, т. е. ОЯ и НУП, которые по силе, масштабу распространения или продолжительности оказывают катастрофическое влияние на здоровье и жизнедеятельность населения, естественно, уделяется особое внимание.

Для целей мониторинга экстремальных значений климатических параметров, наиболее значимых для конкретных отраслей экономики и социальной сферы, Комиссией по климатологии ВМО был разработан программный продукт ClimPACT. Комплекс специализированных климатических индексов, рассчитываемых с помощью ClimPACT, усовершенствован в соответствии с целями ГРОКО, т. к. одной из основных её задач является создание климатической продукции, максимально учитывающей потребности пользователей при решении различных прикладных задач. Первоначально климатические индексы предназначались для оценки влияния изменения и изменчивости климата на здравоохранение, водные ресурсы и сельское хозяйство. В дальнейшем на 16 сессии Комиссии по климатологии в 2014 г. было принято решение расширить сферу применения ClimPACT и для других климатозависимых секторов экономики, в частности, для энергетического.

В целях реализации российского сегмента ГРОКО статистическая программа ClimPACT была адаптирована в ГГО для мониторинга климатических факторов, важных для функционирования АЭС и ТЭС на территории России [Акентьева и др. 2015]. В результате анализа изменения метеорологических характеристик, отражающих критические состояния окружающей среды, при которых могут возникнуть занормативные нагрузки систем охлаждения агрегатов электростанций, были определены районы с наиболее быстрым ростом этих характеристик, оценены статистические параметры трендов и даны рекомендации по снижению в них риска перегрева энергоблоков. По согласованию с потребителями в качестве индексов влияния в данном случае были выбраны следующие параметры:

- максимальное годовое число последовательных сухих (с осадками менее 1 мм) дней,
- продолжительность самой длинной волны тепла в году (не менее 3-х последовательных суток с минимальной и максимальной температурой

выше 90 % обеспеченности, рассчитанной для наиболее жаркой пятидневки),

- число периодов, когда последовательно отмечалось не менее 5 суток с максимальной и минимальной температурой выше 95 % обеспеченности, рассчитанной для наиболее жаркой пятидневки.

Программа ClimPACT может быть также привлечена для оценок возможных будущих изменений индексов влияния на основе результатов климатического моделирования.

Мониторинг других составляющих риска — подверженности и уязвимости реципиентов — в настоящее время не ведется систематически. Для его выполнения климатологи должны тесно сотрудничать со специалистами в соответствующих отраслях экономики.

И метеорологический, и технический мониторинги могут быть глобальными, региональными, национальными и местными. Надо учитывать, что когда глобальные и региональные тренды характеристик опасных явлений имеют разную направленность, следует уделять большее внимание глобальным трендам, т. к. региональные тренды менее надежны из-за большого количества неопределенностей. Изменения повторяемости и интенсивности неблагоприятных явлений наиболее значимы на региональном и глобальном уровнях, а изменения подверженности и уязвимости инфраструктуры и социальной сферы — на местном и национальном уровнях.

Очевидно, что наиболее ощутимые воздействия на объекты инфраструктуры можно ожидать в тех районах, где наблюдается увеличение подверженности и уязвимости этих объектов (например, увеличение числа старых зданий, в которых не производился капитальный ремонт; частые нарушения строительных норм при возведении новых зданий; рост населения; появление опасных объектов, (например, атомных станций и т. д.) при одновременном росте количества НУП в данном районе (например, увеличение повторяемости оттепелей и заморозков, занормативных снеговых нагрузок и т. д.).

#### **2.2.4. Наблюдаемые и будущие климатические изменения. Проекция будущего климата**

Риски на будущее (середины и конец XXI столетия) рассчитываются по результатам моделирования будущего климата и информации о стратегиях социально-экономического развития тех или иных районов или отраслей экономики.

Имеется обширная литература по описанию сценариев и моделей будущего климата. Построены также карты основных метеорологических величин и некоторых специализированных климатических характеристик для территории России на середину и конец XXI века [Оценочный доклад, 2008; Второй



Оценочный доклад, 2014; Груза, Ранькова, 2012]. Наряду с глобальными моделями для получения информации о будущем климате в регионах России может применяться и созданная в ГГО региональная климатическая модель [Школьник и др., 2006, 2014].

Трудности использования результатов моделирования заключаются в меньшей пространственно-временной детализации данной информации, например, в значительной неопределенности срочных данных, которые позволили бы получать количественные характеристики специализированных климатических показателей и их комплексы, а также ОЯ и НУП для будущего климата. В результате приходится прибегать к косвенным методам расчета ряда специализированных показателей климата. По имеющемуся климатическому материалу за прошедшие годы устанавливаются связи требуемых специализированных характеристик с базовыми показателями. Предполагается, что эти связи сохранятся и в будущем. Методика таких расчетов изложена в частности в работах [Кобышева, 1974; Кобышева, Наровлянский, 1978]. Примером подобного подхода могут служить исследования, изложенные в работе [Иванова, 2011]. На основании эмпирических зависимостей между интенсивностью осадков и температурой воздуха, а также результатов климатического моделирования была получена оценка возможного изменения количества «косого дождя» (характеристика, отражающая совместное воздействие дождя и ветра на вертикальные поверхности и влияющая на долговечность строительных конструкций) к середине XXI века (рис. 2.4).

Другой пример косвенных оценок специализированных характеристик на основе использования результатов климатического моделирования — определение числа дней с обледенением автодорог в середине XXI века (рис 2.5) Данная карта построена с учетом зависимости числа дней с гололедом от определенных сочетаний температуры и влажности воздуха, а также дней с осадками.

В настоящее время не вызывает сомнений, что большая часть России находится в области значительного изменения климата, что приводит к росту экстремальности и увеличению изменчивости погоды. В Арктике происходит сокращение ледников и площади морского льда. Вслед за потеплением климата температура многолетних мерзлых пород на севере России на глубине до 10 м повысилась, местами, более чем на 1,5 °С. В средних и высоких широтах наблюдается рост количества зимних осадков, регистрируются экстремально высокие суточные суммы осадков в летний период. В течение холодного периода наблюдаются частые переходы температуры воздуха через 0 °С.

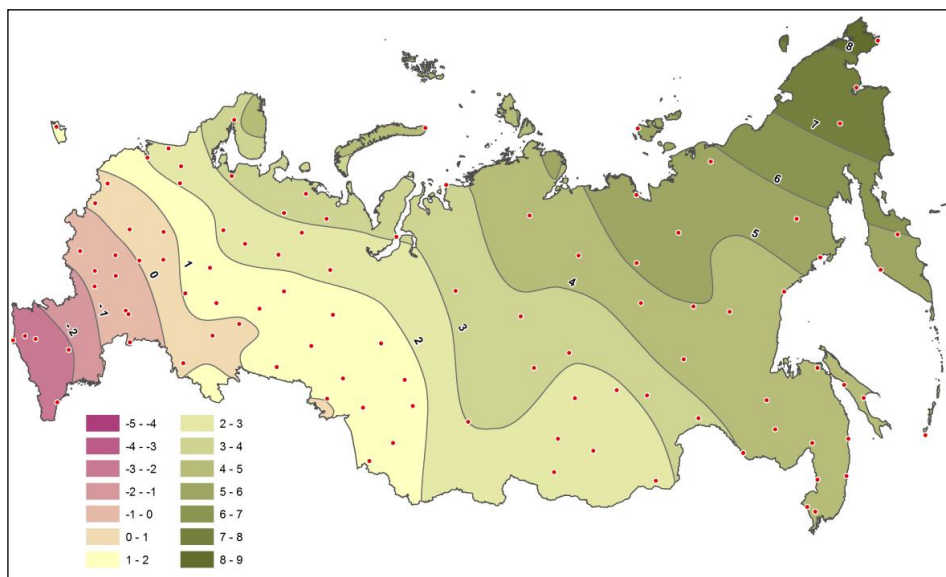


Рис. 2.4. Ожидаемое изменение годового количества «косого дождя» на территории РФ, (%) по данным ансамбля из 16 моделей МОЦАО к середине XXI века.

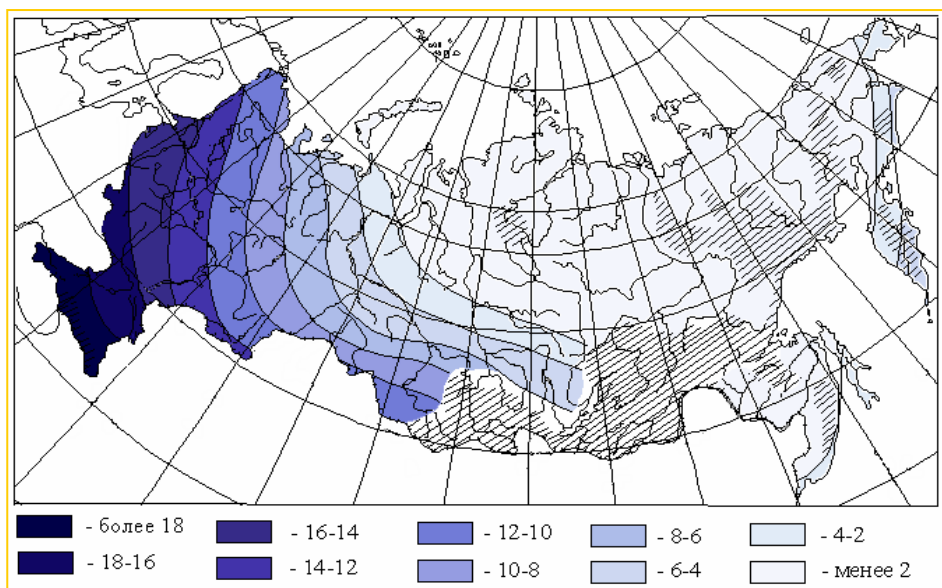


Рис. 2.5. Число дней с обледенением автодорог в середине XXI века по данным ансамбля из 16 моделей МОЦАО.

Увеличился годовой сток крупнейших рек бассейна Северо-Ледовитого океана. Водные ресурсы Печоры, Енисея, Лены в начале XXI в. превысили норму

примерно на 13 %. Во второй половине XX в и начале XXI в. произошли заметные изменения структуры экосистем. Наметились смещения ареалов растительности к северу, а также вверх по склонам в горных районах. В зерновой зоне России отмечен рост числа сильных и обширных засух продолжительностью не менее 2-х месяцев. Возросла площадь, пройденная лесными пожарами.

Происходящие изменения климата отражаются и на состоянии техносферы, например, приводят к сокращению долговечности зданий, ухудшению качества теплоснабжения городов, выявляют недостатки существующей системы водоотведения и водоочистки и др. Необходимо отметить, что наблюдаемые и прогнозируемые изменения климата могут приводить как к негативным, так и к благоприятным последствиям [Второй оценочный доклад, 2014; Катцов и др., 2011]. Однако в данной монографии основное внимание уделяется уменьшению рисков от неблагоприятных последствий климатических изменений.

Международными организациями по климату (IPCC, ВМО и др.) принято решение о необходимости разработки и реализации комплекса мер по уменьшению создавшихся рисков и разработке адаптационных мер к изменению климата, несмотря на неопределенности будущего климата.

Ориентируясь при определении климатических рисков на будущее, следует приложить усилия для оценки связанных с этим неопределенностей. Обычно применимость результатов моделирования для практических целей проверяют модельными расчетами на ретроспективном материале. В последнее время развиваются и другие методы. Т. к. климатические риски в общем случае обладают всеми признаками «нечетких» множеств, теория «нечетких» множеств была привлечена авторами для уточнения возможностей использования информации о будущем климате для практических целей [Галюк и др., 2011] (см. Приложение 3).

**Медленные климатические изменения.** На Канкунской конференции по изменению климата (2010) было принято решение относить к медленным климатическим изменениям подъем уровня моря, рост температуры воздуха, повышение кислотности океанских вод, таяние материкового льда, засоление почв, деградацию лесов и земельных угодий, уменьшение биоразнообразия, опустынивание.

По своей природе эти изменения значительно отличаются от экстремальных климатических явлений и имеют долгосрочные и широкомасштабные последствия. При этом медленные изменения оказывают ощутимое влияние на частоту, интенсивность, пространственное распределение и длительность экстремальных явлений. Важным является и тот факт, что в долгосрочной перспективе постепенные изменения могут затронуть значительно большее число людей, чем экстремальные явления.

Скорость медленных изменений увеличивается. С ростом температуры и уровня океана многие территории становятся непродуктивными и непригодными

для жилья. Грунтовые воды в прибрежных регионах подвергаются все большему засолению и не могут удовлетворять потребности в питьевой воде живущих здесь людей. Возникают проблемы с адаптацией к изменению уровня океана на островах, имеющих небольшую высоту над уровнем моря. Вследствие постепенного таяния вечной мерзлоты создается опасность разрушения множества инфраструктурных объектов в полярных широтах.

Рассмотрим основные последствия медленных климатических изменений.

**Уровень океана** в среднем возрастал на 1,7 мм (+/- 0.3 мм) в год с 1950 г. по 2009 г. По спутниковым данным это возрастание составило 3,3 мм (+/- 0.4 мм) в год с 1993 г. по 2009 г. Однако в разных районах мира этот процесс не был однозначным, т. к. он накладывался на локальные движения земной коры. По разным оценкам к концу XXI в. уровень океана может подняться на высоту от 1 до 7 м.

Повышение уровня моря ведет к изменению конфигурации побережий и потере продуктивных земель. Водоносные горизонты и почвы подвергаются засолению и возникают существенные проблемы с питьевой водой и плодородной землей. Например, засоление вдоль побережья Бангладеш уже продвинулось более чем на 100 км вглубь страны, затронув внутренние водоемы, грунтовые воды и плодородные земли. Повышение уровня океана ощутимо затрагивает и морские экосистемы, такие как мангровые заросли и коралловые рифы. Эти места служат местами нереста и обитания многих рыб, а значит и пагубное влияние на рыбные ресурсы неизбежно.

**Повышение температуры** приводит к интенсификации гидрологического цикла. В результате влажные регионы могут стать еще более влажными, а засушливые — еще более сухими. Сельскохозяйственные угодья могут лишиться значительного количества влаги вследствие интенсификации испарения, и даже быстрорастущие сезонные культуры не будут успевать вызревать. Так, длительная засуха на севере Мексики явилась сильным ударом для популяции рогатого скота и урожая. Если верить результатам климатического моделирования, экстремальные засухи станут нормальным явлением для Мексики уже к концу этого столетия

**Засоление** оказывает пагубное влияние на сельское хозяйство, отражается на поверхностных водоемах, грунтовых водах, качестве почв. Засоление почв и водоносных горизонтов приводит к значительным проблемам с обеспечением людей продуктами питания и питьевой водой.

**Деградация земель и опустынивание** являются результатом воздействия климатических процессов и человеческой деятельности. Одна из основных причин этих явлений — уничтожение лесов, которое нарушает гидрологический цикл. Так, например, при отсутствии леса в периоды малого количества осадков резко падает уровень грунтовых вод, вызывая засуху. Во время сильных дождей вода быстро стекает в реки, не успевая проникнуть в почву, и вызывает

наводнения и разрушение плодородного слоя. Важным последствием деградации земель и опустынивания может стать миграция населения.

**Снижение биоразнообразия** обусловлено ростом температуры воздуха и воды, а также изменением режима осадков. Эти процессы уменьшают способности экосистем к адаптации и ведут к исчезновению наиболее уязвимых из них. Снижение биоразнообразия может иметь негативные последствия как для целого ряда отраслей экономики и социальной сферы (сельское и лесное хозяйство, туризм и рекреация, здоровье населения), так и для устойчивого развития человечества вообще.

Глобальное повышение температуры воздуха и особенности местного климата определяют **скорость таяния материкового льда**. Например, очень быстро тают ледники Южной Америки и Гималаев, вызывая изменение гидрологического режима водных объектов, а, следовательно, создавая проблемы с питьевой водой, электроснабжением, орошением полей. Для России таяние материкового льда выражается, прежде всего, в проблеме **таяния вечной мерзлоты**. Учитывая важность этого процесса для экономики РФ, рассмотрим этот процесс более подробно.

**Влияние таяния многолетней мерзлоты на инфраструктуру северных регионов России.**

Территория РФ с многолетнемерзлыми породами неоднородна по своей структуре. Выделяются районы, где мерзлота охватывает более 90 % площади (зона непрерывной мерзлоты), от 50 до 90 % (зона прерывистой мерзлоты) и менее 50 % (зона островной мерзлоты). Средняя толщина мерзлых пород в этих зонах меняется в пределах 100—800 м, 25—100 м и 10—50 м соответственно. Различные типы мерзлых грунтов по-разному реагируют на изменение климата. Так, одним из наиболее важных факторов, определяющих устойчивость мерзлых грунтов, является процентное содержание льда в грунте. Чем оно выше, тем в большей степени мерзлый грунт подвержен разрушению вследствие роста температуры. Особенно высокой чувствительностью обладают также мерзлые грунты с повышенным содержанием солей. Они распространены вдоль Арктического побережья в районах, которые в геологическом прошлом были на дне моря. В таких грунтах образуются линзы различного размера с высокоминерализованной водой, которая остается незамерзшей и при температуре ниже 0 °С (*криопэги*). Даже небольшое увеличение температуры, при том что она остается отрицательной, приводит к изменению соотношения между соляным раствором и льдом. Эти грунты очень неустойчивы и создают наиболее сложные условия для строительства. Они широко распространены на Ямале. [Анисимов и др., 2004]

С 1970-х годов наблюдается увеличение температуры и глубины летнего протаивания многолетней мерзлоты, а в ряде мест — сокращение ее площади. Эти изменения существенным образом воздействуют на природные экосистемы, экономику и социальную сферу в северных регионах. Таяние многолетней

мерзлоты представляет большую опасность для расположенных вблизи побережий арктических морей сооружений (дорог, нефте- и газопроводов, резервуаров, площадок нефтегазопромысловых объектов, зданий и др.). При этом в указанных районах сосредоточено более 30 % разведанных запасов нефти, около 60 % природного газа, залежи каменного угля и торфа, создана обширная инфраструктура, обслуживающая нужды добывающей промышленности, расположены важные военные объекты. Многие сооружения построены на свайных фундаментах, используют многолетнемерзлый грунт в качестве оснований и рассчитаны на эксплуатацию в определенных температурных условиях. [Анисимов и др., 2010]

Уменьшение прочности многолетнемерзлых грунтов, вызывая увеличение числа аварий на трубопроводах и других объектах инфраструктуры, уже в настоящее время приводит к росту геозкологических рисков и к значительным экономическим ущербам. За период с 1990 по 1999 год число сооружений, получивших повреждения из-за неравномерных просадок фундаментов, увеличилось по сравнению с предшествующим десятилетием в Амдерме на 90 %, в Норильске на 42 %. Значительная уязвимость зданий и сооружений к разрушению многолетнемерзлых пород на арктическом побережье вызывает опасение еще и потому, что уже сейчас большое число зданий в этом регионе находится в аварийном состоянии. [Анисимов и др., 2010]

Еще один аспект последствий климатических изменений на арктическом побережье РФ — возрастание скорости эрозии берегов. Она всегда имело место в этом районе, но в последние десятилетия скорость таких процессов увеличилась, при этом примерно в пять-шесть раз увеличилась скорость отступления берегов. Под воздействием эрозии берега арктических морей ежегодно отступают на 2—4 метра. Уменьшение ледовитости морей также способствует увеличению частоты и энергии штормов, в результате чего процессы береговой эрозии усиливаются. В настоящее время ежегодно исчезает около 30 км<sup>2</sup> российской территории. Таким образом, процесс таяния мерзлоты из-за потепления климата может иметь не только экономические, но и геополитические последствия. Учитывая, что в районах арктического и тихоокеанского побережья РФ большинство населенных пунктов расположены на берегах морей и рек, из-за береговой эрозии возникает опасность их частичного или полного разрушения.

В целом в пределах криолитозоны России на 25 % площади сохраняются стабильные климатические условия и слабое проявление геокриологической опасности. Для 10 % территории характерно наиболее неблагоприятное сочетание климатических факторов и, следовательно, значительное проявление геокриологической опасности; на остальной площади (65 %) отмечается умеренная степень геокриологической опасности.

Для оценок возможных будущих изменений криолитозоны РФ применяются различные климатические модели [Анисимов и др., 2010; Малевич-Малевский и

др., 2007]. В соответствии с результатами большинства из них к середине XXI в глубина сезонного протаивания в среднем увеличится на 15—25 %, а на Арктическом побережье и в отдельных районах Западной Сибири — до 50 %. В Западной Сибири (Ямал, Гыдан) температура мерзлых грунтов повысится в среднем на 1,5—2 °С, (с -5...-6 °С до -3...-4 °С) и возникнет опасность формирования неустойчивых высокотемпературных мерзлых грунтов. В более южных областях будет происходить таяние островов мерзлоты.

Оценки геокриологических опасностей для инфраструктуры должны учитывать изменения основных параметров многолетней мерзлоты в условиях будущего климата, в частности то, насколько они будут отличаться от условий, заложенных в расчете конструкций. Для прогноза геокриологической опасности до середины XXI в. и выявления областей, в которых построенные на многолетнемерзлых породах сооружения будут подвержены наибольшей опасности при изменении климата, был разработан метод, основанный на применении расчетного индекса [Анисимов, Белолуцкая, 2002; Анисимов, Лавров, 2004; Анисимов и др., 2010]:

$$I_r = k_s D_z w_m$$

где  $I_r$  — индекс геокриологической опасности;  $k_s$  — коэффициент, учитывающий засоленность грунта;  $D_z$  — относительное изменение глубины сезонного протаивания, рассчитанное для заданного сценария изменения климата и выраженное в долях от современной нормы;  $w_m$  — льдистость (т. е. относительная доля льда) в мерзлом грунте.

Данный индекс может быть использован для оценки риска таяния вечной мерзлоты для инфраструктуры. Согласно приведенной формуле, вероятность развития деструктивных геокриологических процессов выше для тех мерзлых грунтов, где льда больше. Для таких грунтов ожидаемое потепление климата может вызвать значительное увеличение глубины сезонного протаивания. В таких районах возможны просадки оттаивающего грунта вследствие интенсивного термокарста. Изменение температуры грунта, которое является главным фактором, влияющим на его несущую способность, неявно учитывается при расчете изменения глубины протаивания.

По данным [Anisimov *et al.*, 2006] в области наибольших значений индекса геокриологического риска попадают Чукотка, бассейны верхнего течения Индигирки и Колымы, юго-восточная часть Якутии, значительная часть Западно-Сибирской равнины, побережье Карского моря, Новая Земля, а также часть островной мерзлоты на севере европейской России. В этих районах имеется развитая инфраструктура, в частности газо- и нефтедобывающие комплексы, система трубопроводов Надым—Пур—Таз на северо-западе Сибири, Билибинская атомная станция и связанные с ней линии электропередач от Черского на Колыме до Певека на побережье Восточно-Сибирского моря.

Деградация мерзлоты на побережье Карского моря может привести к значительному усилению береговой эрозии, из-за которой в настоящее время берег отступает ежегодно на 2—4 м. Особую опасность представляет ослабление многолетней мерзлоты на Новой Земле в зонах расположения хранилищ радиоактивных отходов. В то же время на значительных территориях Якутии и Западной Сибири запас надежности инженерных сооружений и построек на многолетней мерзлоте, рассчитанных на эксплуатацию в современных климатических условиях, уменьшится незначительно [Анисимов и др., 2010].

В северной части зоны высокого риска наибольшую опасность представляет возможное повреждение фундаментов домов и сооружений на многолетней мерзлоте за счет уменьшения ее несущей способности. В южной части зоны высоких рисков потенциальные опасности связаны главным образом с возможными неравномерными просадками грунта за счет таяния льда и выносом протаивающего материала с образованием термокарстовых просадочных воронок. Наибольшую опасность это представляет для линейных сооружений (дорог, взлетно-посадочных полос, трубопроводов), пересекающих участки с интенсивным развитием термокарста. Таяние и деградация многолетней мерзлоты представляют также эпидемиологическую опасность, так как возникает риск деформации инженерных водопроводно-канализационных систем.

Районирование геокриологической опасности позволяет заранее оценить риск возникновения аварийных ситуаций и принять необходимые меры для минимизации возможных негативных и катастрофических последствий. В инженерной геокриологии разработано достаточно много методов стабилизации фундаментов и оснований зданий, а также технических сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Такие методы могут быть предложены как часть общей стратегии адаптации к предстоящим изменениям климата в северных регионах.

#### ***Подходы к управлению рисками, связанными с медленными климатическими изменениями***

Учитывая сложный характер медленно текущих климатических изменений и не до конца ясные механизмы взаимосвязи между ними, необходимо выработать особые подходы к оценке и управлению рисками, обусловленными этими процессами. Одним из основных является интегрированный подход, сочетающий кратковременное и долгосрочное планирование действий по уменьшению негативных последствий климатических изменений. При этом необходимо оценивать совместное действие медленно текущих климатических изменений и экстремальных погодных явлений на рассматриваемые объекты. Примером такого подхода может быть проект CliPLivE (Climate Proof Living Environment – Климатически устойчивая среда обитания), который выполнялся в 2007—2013 гг. Гидрометслужбами России и Финляндии. Исследования были направлены на анализ комплексного воздействия повышения уровня моря и усиливающихся штормов на эрозионные процессы на побережье Балтийского



моря. Оценка комплексного риска для береговой инфраструктуры основывалась на матрице риска, включающей информацию о геологической, климатической и экологической составляющих риска для городской среды. В результате были определены и нанесены на карту 4 уровня комплексного риска для жилых массивов, промышленных предприятий, транспортной инфраструктуры, водоснабжения, лесного хозяйства и т. д. Полученная картина будет служить основой для оценки будущего пространственного распределения величины природного риска для городской среды.

### **2.2.5. Анализ угроз и бедствий**

Метеорологическая опасность — это угроза для реципиентов в отраслях экономики, социальной сфере, экосистемах на рассматриваемой территории под воздействием ОЯ, НУП или АКУ. Реализовавшиеся угрозы формируют бедствие [Клячко, 2004].

Типовые перечни опасных явлений (ОЯ, НУП и АКУ), которые по мере своего развития могут переходить в чрезвычайные ситуации и создавать бедствия и аварии, содержатся в руководящих документах Росгидромета [РД 52.04.563-2013 Инструкция, 2013] (см. Приложение 4). Перечень и критерии неблагоприятных условий погоды (НУП) уточняются каждым УГМС в зависимости от особенностей климатического режима.

Особенности воздействия ОЯ и НУП на основные отрасли экономики изложены в Руководстве по климатическому обслуживанию [Руководство, 2008], а также в Памятке Росгидромета [[www.meteo.nw.ru](http://www.meteo.nw.ru)]. АКУ возникают вследствие нестационарности климатических процессов, имеющих определенную тенденцию развития во времени. Различают нестационарность по математическому ожиданию, дисперсии и асимметрии (нестационарность в широком смысле) и нестационарность по функции распределения (нестационарность в узком смысле). Надо отметить, что для анализа изменения характеристик как АКУ, так и ОЯ и НУП необходимы специальные исследования, проводимые с учетом наблюдаемых и ожидаемых в будущем изменений климата.

Угрозы реципиенту классифицируются по механизмам возникновения, характеру и силе воздействия (агрессивности), продолжительности действия и по охвату территории [Акимов и др. 2004].

По этим признакам выделяют следующие ОЯ и НУП:

- экстремальные ОЯ, производящие поражающее (разрушительное) действие. Например: тайфуны, смерчи, ураганы, штормы, град и т.п.;
- ОЯ, оказывающие парализующее действие, останавливающие движение транспорта, прекращающие работы на открытом воздухе и т.п. К ним относятся: сильные гололед и гололедица на дорогах, сильные туманы, сильный ветер, ветер при отрицательной температуре воздуха и т. п.;

- истощающие ОЯ и НУП, уменьшающие урожай, запасы лесных ресурсов и др. Например: засуха, сильные морозы и т. п.

Все виды ОЯ, НУП и АКУ оказывают определенное воздействие на реципиенты. В общем случае, воздействие это любые потоки вещества, энергии и информации, непосредственно образующиеся в окружающей среде или возникающие в результате антропогенной деятельности. Применительно к техническим объектам воздействие — это действие, направленное на какой-либо объект и определяющее его переход от одного состояния к другому или изменяющее его качество в том или ином направлении (Акимов и др., 2004).

Наиболее опасными для населения являются поражающие ОЯ. Они характеризуются кратковременностью, большой силой, малой площадью охвата и относительно редкой повторяемостью. Такие ОЯ инициируют стихийные бедствия и природно-техногенные чрезвычайные ситуации. Им часто сопутствует гибель людей и поражение всех объектов, находящихся на пути их образования и перемещения. В настоящее время прогноз данного типа ОЯ еще недостаточно надежен, и его совершенствование является одним из основных механизмов управления погодно-климатическими рисками.

Большой ущерб экономике приносят также парализующие ОЯ и НУП, хотя и они иногда приводят к гибели людей или санитарным потерям (появлению раненых).

Менее опасны для населения истощающие ОЯ и НУП. Но они могут обладать вторичным поражающим действием (гибель людей от длительного холода, при сильной засухе и т.п.).

Действие АКУ сходно с действием истощающих ОЯ и НУП. При тренде климатических параметров обычно происходит устойчивое изменение природных условий, например, постепенный подъем уровня моря или абразия берегов, вызванная гидрометеорологическими факторами. Ущерб при этом чаще всего нарастают постепенно. АКУ описываются совокупностью осредненных во времени метеорологических величин и их фоновой изменчивостью.

Аварийные ситуации для технических объектов, возникающие под влиянием ОЯ, НУП и АКУ, можно разделить на:

- режимные, возникающие при штатном функционировании объектов;
- проектные, возникающие при превышении допустимых пределов природных или технических характеристик;
- запроектные, возникающие при необратимых повреждениях системы;
- гипотетические, возникающие при неучтенных в проекте вариантах развития аварий.

Для каждого типа аварий необходимо проводить отдельный анализ вызывающих их факторов. Результаты анализа угроз важны не только для

оценки рисков, но и в значительной степени определяют выбор адаптационных мероприятий.

Перечень некоторых основных ОЯ представлен в таблице 2.3.

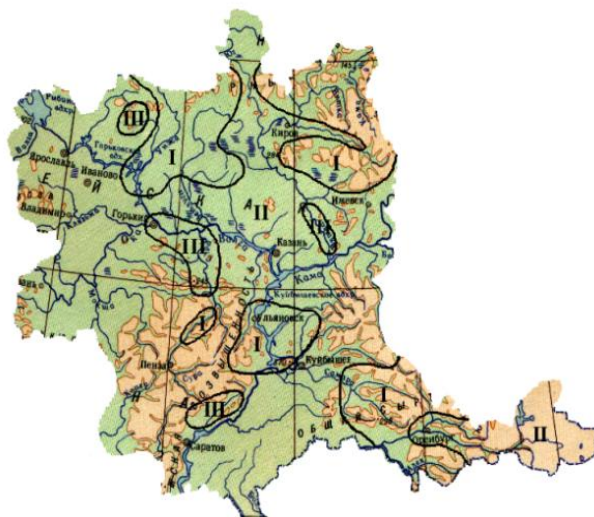
Таблица 2.3

**Опасные метеорологические явления, процессы и их характеристика**

Вид ОЯ	Характеристика
1	2
Сильный ветер	Движение воздуха относительно земной поверхности со скоростью или горизонтальной составляющей свыше 14 м/с.
Вихрь	Атмосферное образование с вращательным движением воздуха вокруг вертикальной или наклонной оси.
Ураган	Ветер разрушительной силы и значительной продолжительности, скорость которого превышает 32 м/с.
Циклон (тайфун)	Атмосферное возмущение с пониженным давлением воздуха и ураганскими скоростями ветра, возникающее в тропических широтах и вызывающее огромные разрушения и гибель людей.
Шторм	Длительный, очень сильный ветер со скоростью свыше 20 м/с, вызывающий сильные волнения на море и разрушения на суше.
Шквал	Резкое кратковременное усиление ветра до 20-30 м/с и выше, сопровождающееся изменением его направления, связанное с конвективными процессами.
Смерч	Сильный маломасштабный атмосферный вихрь диаметром до 1000 м, в котором воздух вращается со скоростью до 100 м/с, обладающий большой разрушительной силой.
Ливень	Кратковременные атмосферные осадки большой интенсивности, обычно в виде дождя или снега.
Продолжительный дождь	Жидкие атмосферные осадки, выпадающие непрерывно или почти непрерывно в течение нескольких суток, могущие вызвать паводки, затопление и подтопление.

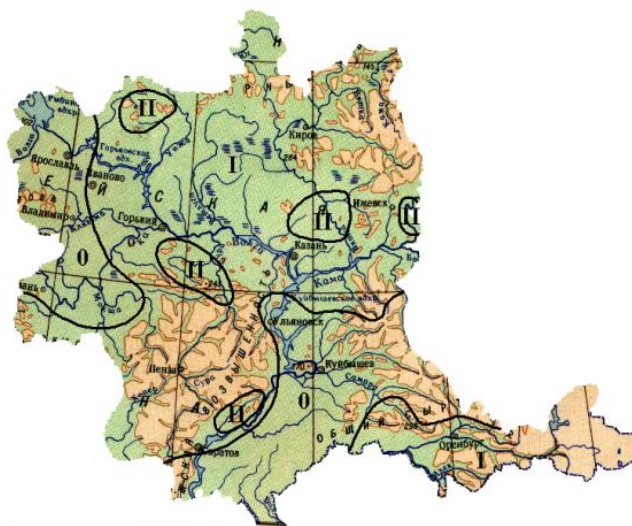
1	2
Гроза	Атмосферное явление, связанное с развитием мощных кучево-дождевых облаков, сопровождающееся многократными электрическими разрядами между облаками и земной поверхностью, звуковыми явлениями, сильными осадками, нередко с градом.
Град	Атмосферные осадки, выпадающие в теплое время года, в виде частичек плотного льда диаметром от 5 мм до 15 см, обычно вместе с ливневым дождем при грозе.
Сильная метель	Перенос снега над поверхностью земли сильным ветром, возможно в сочетании с выпадением снега, приводящий к ухудшению видимости и заносу транспортных магистралей.
Пыльная буря	Перенос больших количеств пыли или песка сильным ветром, сопровождающийся ухудшением видимости, выдуванием верхнего слоя почвы вместе с семенами и молодыми растениями, засыпанием посевов и транспортных магистралей.
Гололед	Слой плотного льда, образующийся на земной поверхности и на предметах при намерзании переохлажденных капель дождя или тумана.
Заморозок	По ГОСТ 17713.
Сильный снегопад	Продолжительное интенсивное выпадение снега из облаков, приводящее к значительному ухудшению видимости и затруднению движения транспорта.
Засуха	Комплекс метеорологических факторов в виде продолжительного отсутствия осадков в сочетании с высокой температурой и понижением влажности воздуха, приводящий к нарушению водного баланса растений и вызывающий их угнетение или гибель.

На основе данного перечня был построен ряд карт повторяемости ОЯ в регионах России. В качестве примера на рис. 2.7 (1–4). представлены карты повторяемости различных ОЯ в Поволжье.



I – 1 ОЯ, II – 2 ОЯ, III – 3-4 ОЯ, IV – 5-6 ОЯ, V – 7-9 ОЯ, VI ≥ 10 ОЯ

Рис. 2.7 (1). Максимальная суммарная повторяемость опасных метеорологических явлений, возможная 1 раз в 100 лет



I – 1 ОЯ, II – 2 ОЯ, III – 3-4 ОЯ, IV – 5-6 ОЯ, V – 7-9 ОЯ

Рис. 2.7 (2). Максимальная повторяемость очень сильного ветра, возможная 1 раз в 100 лет.



0 – ОЯ не наблюдается, I – 1 ОЯ, II – 2 ОЯ

Рис. 2.7 (3). Максимальная повторяемость очень сильного дождя, возможная 1 раз в 100 лет.



0 – ОЯ не наблюдается, I – 1 ОЯ, II – 2 ОЯ, III – 3-4 ОЯ

Рис. 2.7 (4). Максимальная повторяемость очень сильной метели, возможная 1 раз в 100 лет.

Информация, представленная таким образом, может служить основой для оценки величины климатической составляющей риска и ее пространственного распределения.

### 2.2.6. Анализ уязвимости реципиента

Уязвимость реципиента — вторая составляющая риска, характеризующая возможную реакцию реципиента на воздействие опасного природно-техногенного явления.

Уязвимость технических систем может быть выражена через ущерб (фактические потери реципиента). Однако ущерб не всегда известен. Публикуемые и содержащиеся в интернете данные об ущербе часто не полны или искажены, а иногда полностью отсутствуют. Поэтому приходится прибегать к косвенным методам, а имеющую статистику использовать лишь для контроля порядка возможных потерь. В таблице 2.4 представлены примеры реальных ущербов от ОЯ.

Понятно, что угроза причинения ущерба и возникновения бедствия возникает тогда, когда реципиент может подвергнуться воздействию ОЯ, НУП и АКУ. Подверженность реципиента следует рассматривать в пространственном и временном аспекте. Объект воздействия может с той или иной вероятностью попасть в зону воздействия ОЯ или оказаться вне ее. Поэтому при оценке риска поражения объекта некоторым метеорологическим ОЯ целесообразно сопоставлять площади ОЯ и площадь объекта в пределах рассматриваемой территории действия ОЯ. Данный фактор отражает вероятность нахождения объекта в зоне действия ОЯ. Наряду с пространственным фактором степень угрозы зависит и от длительности воздействия данного ОЯ. Необходимо также учитывать, что с течением времени степень угрозы может меняться. Так, например, степень подверженности городов пропорциональна их росту вдоль побережий и другим изменениям инфраструктуры.

Исходя из указанных соображений в ГГО, был разработан косвенный метод расчета уязвимости территории к опасным явлениям [Кобышева, 2015]. В соответствии с ним уязвимость рассчитывается по формуле:

$$Y = (s/S) \cdot m \cdot t_{cp} \cdot K \cdot A \quad (2.6)$$

где  $Y$  — уязвимость от ОЯ или НГЯ,

$s$  — средняя площадь воздействия данного явления (кв. км),

$S$  — площадь административной области (кв. км),

$m$  — численность населения административной области (чел.),

$t_{cp}$  — время действия ОЯ или НГЯ (сутки);

$K$  — коэффициент агрессивности явления.

$A$  — доля ВРП (руб), приходящаяся в сутки на одного жителя данной административной области.

## Опасные метеорологические явления и причиненные ими ущербы (в ценах 2010 г.)

Вид ОЯ	Ущерб	Экономический ущерб
Очень сильный ветер	Обрыв ЛЭП, повреждение техники, гибель людей, разрушение зданий, уничтожение посевов, поломка деревьев, нарушение в работе ж/д транспорта.	282 млн руб. (Мордовия), 1 млрд руб. (Иркутская область, Татарстан)
Очень сильный дождь	Гибель людей и посевов, размыв дорог, подтопление домов, повреждение кровель.	700—750 млн руб. (Кемеровская, Томская области, Алтайский край, Республика Алтай) 59 млн руб. (Калининградская обл.)
Очень сильный снег	Повреждение крыш, обрыв ЛЭП, занос автомобильных дорог, нарушается нормальная работа авиации, поломка деревьев, задерживаются работы на строительных объектах.	800 млн руб. (Приморский край) 11 млн руб. (Калининград) 200 млн руб. (Алтайский край)
Смерч	Гибель людей, повреждение зданий, ЛЭП, ЛС, газопровода и техники, вырывание и поломка деревьев.	35 млн руб. (Свердловская обл.) 3 млн руб. (Чувашия, Московская обл.) 2 млрд руб. (Новороссийск)
Сильные гололедно-изморозевые отложения	Обрыв ЛЭП, разрушение опор трансформаторов и ЛЭП, обледенение самолетов, образование наката, парализующего движение, увеличение аварий и травм.	500 млн руб. (Волгоградская обл.)
Град	Повреждение посевов, крыш домов и ЛЭП	500 млн руб. (Татарстан)



Вид ОЯ	Ущерб	Экономический ущерб
Сильная метель	Занос автомобильных дорог, затрудняется работа ж/д транспорта, нарушается нормальная работа авиации, обрыв ЛЭП, повреждение столбов и построек, гибель озимых из-за сноса метельными ветрами снежного покрова.	10 млн 677 тыс. руб. (Челябинск)
Шквал	Обрыв ЛЭП и ЛС, гибель людей, повреждение зданий, техники, посевов и деревьев.	120 млн руб. (Мордовия), 26 млн руб. (Свердловская обл.) 1 млрд руб. (Татарстан) 6.5 млрд руб. (Краснодарский край)
Сильная жара	Способствование развитию почвенной засухи, сильных суховеев, возникновению и распространению чрезвычайной пожарной опасности, увеличению очагов лесных пожаров. Ухудшение состояния здоровья людей. Гибель посевов. Затруднения в проведении наружных строительных работ.	50 млн руб. (Мордовия) 350 млн руб. пожары из-за жары (Курганская область)
Сильный мороз	Парализуется жизнь городов, гибнут посевы, происходит обрыв ЛЭП, увеличивается вероятность технических аварий и аварий в тепло-, электро- и газоснабжении, прекращаются наружные работы, затрудняется работа автотранспорта. При t ниже -30°C существенно снижается прочность металлических и пластмассовых деталей и конструкций.	5 млрд руб. (Краснодарский край), 50 млн руб. (Воронеж)

В некоторых случаях целесообразно принимать во внимание среднюю заработную плату или стоимость доли основных производственных фондов, приходящейся на одного жителя данной административной области.

Для некоторых ОЯ, имеющих разрушительный характер воздействия, относительные значения К представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5

**Коэффициент агрессивности опасных явлений**

ОЯ	Смерч	Крупный град	Сильный гололед	Шквал	Очень сильный ветер	Сильная метель
Ка	6	3	2,5	1,4	1,0	0,8

Коэффициент агрессивности установлен по силовому воздействию ОЯ на условную поверхность. Воздействие очень сильного ветра принимается за единицу. Для очень сильного ветра рассчитывается его давление или ветровой напор

$$V_H = V^2 \max / 16 \quad (2.7.)$$

При скорости ветра 25 м/с (критерии ОЯ — «очень сильный ветер»)

$$V_H = 38 \text{ кг/м}^2.$$

Для других опасных явлений на территории ЕТР также было рассчитано силовое воздействие и выражено в относительных единицах по отношению к воздействию сильного ветра.

Таким образом, представленный косвенный метод оценки уязвимости территории к опасным явлениям основан на зависимости уязвимости от степени развития территории, подвергшейся бедствию. Чем более развита экономика, тем больше населения проживает на ней и тем больший ущерб возникает при прохождении через нее ОЯ. Уязвимость также зависит от географических и климатических особенностей территории, формирующих определенные характеристики ОЯ.

Для оценки уязвимости населения к опасным природным явлениям и расчета величины риска может быть также использован подход, представленный в [World Risk Report, 2014] и основанный на получении так называемого «индекса мирового риска». Индекс мирового риска, разработанный НГМС Германии совместно с ВМО, характеризует риск от опасных погодных явлений для жизни, здоровья и имущества людей. Он отражает важность социальных и некоторых экономических факторов, а также эффективность действий государственной власти, которые в конечном итоге могут превратить (или не превратить) природный катаклизм в социально-экономическую катастрофу.

Индекс мирового риска определяется на основе сопоставления вероятностей стихийных бедствий и социальной уязвимости общества к двум различным типам стихийных бедствий: внезапным опасностям, таким как ураганы и

наводнения, и медленно происходящим процессам, например, таким как засухи и повышение уровня моря. Структура индекса, в том числе составляющие уязвимости, представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6.

**Структура мирового индекса риска**

Представление об опасных явлениях	Восприимчивость (вероятность понести ущерб)	Реагирование (способность минимизировать негативные последствия)	Потенциал адаптации (долгосрочные стратегии экономических и социальных изменений)
Характеристики ОЯ (частота, интенсивность, площадь охвата и т. д.)	Уязвимость социальной сферы		

Определенный таким образом риск можно рассматривать как риск для социальной сферы от опасных явлений. Авторы этого подхода отмечают, что способности реагирования в основном определяются наличием ресурсов для прямого отклика на стихийное бедствие, а адаптивные возможности зависят от долгосрочных стратегий.

Расчет каждой из составляющих риска основан на значениях показателей, взятых из различных глобальных баз данных, с последующей математической агрегацией в индексы и преобразованием в ранги от 0 до 1. Так, например, социальная восприимчивость определяется долей ВВП на душу населения, коэффициентом демографической нагрузки, долей населения, имеющего ветхое жилье, индексом Джини и т. д. Качество реагирования на опасное природное явление зависит от эффективности государственного управления, развития системы гражданской обороны, степени социальной поддержки и т. д. Затем значения всех четырех составляющих риска перемножаются. При составлении перечня социально-экономических показателей, входящих в соответствующие составляющие риска, и определении их весов применялся факторный анализ, а для пространственного отображения использовался ArcGIS 9.3.

Данный подход с некоторыми изменениями был использован в ГГО при оценке рисков от опасных явлений для социальной сферы в различных регионах РФ [Васильев и др., 2015] (табл.2.7). По данным МЧС наиболее опасными для населения России являются наводнения, очень сильные ветры и лесные пожары.

Социально-экономические данные для субъектов РФ были взяты на сайте Федеральной службы государственной статистики «Регионы России. Социально-экономические показатели - 2014 г.» и пересчитаны на 10 000 человек населения.

Таблица 2.7

## Составляющие индекса риска от опасных явлений для населения регионов России

<p>Характеристики стихийных бедствий</p>	<p>Восприимчивость (вероятность понести ущерб):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Общественная инфраструктура</i></li> <li>2. <i>Жилищные условия</i></li> <li>3. <i>Демографическая структура и уровень занятости населения</i></li> <li>4. <i>Уровень бедности</i></li> <li>5. <i>Экономический потенциал и распределение доходов</i></li> </ol>	<p>Реагирование (способность минимизировать негативные последствия):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Эффективность работы органов власти</i></li> <li>2. <i>Готовность к бедствиям и раннее предупреждение</i></li> <li>3. <i>Медицинские услуги</i></li> <li>4. <i>Ресурсы покрытия ущерба</i></li> </ol>	<p>Потенциал адаптации (долгосрочные стратегии):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Инвестиции в образование и науку</i></li> <li>2. <i>Инновационная активность</i></li> <li>3. <i>Защита экосистем</i></li> </ol>
<p>Наводнения</p> <p>Опасные скорости ветра</p> <p>Лесные пожары</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1). Степень износа основных фондов</li> <li>2). Удельный вес ветхого и аварийного жилья</li> <li>3). А. Доля нетрудоспособного населения Б. Уровень безработицы</li> <li>4). Доля населения с доходом ниже прожиточного минимума</li> <li>5). А. ВРП на душу населения Б. Фактическое конечное потребление домохозяйств</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1). А. Рейтинг эффективности государственной власти Б. Коррупционный индекс (число преступлений в сфере экономики)</li> <li>2). А. Численность организаций гражданской обороны Б. Число подключений мобильной связи В. Число домохозяйства с интернетом</li> <li>3). А. Число людей, приходящихся на 1 больничную койку Б. Нагрузка на врачей и средний мед. персонал</li> <li>4). А. Расходы на социальную поддержку населения Б. Объемы страховых взносов</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1). А. Объемы инвестиций в образование и здравоохранение Б. Финансирование НИОКР</li> <li>2). А. Инновационная активность организаций Б. Число инноваций в сфере экологии и природопользования</li> <li>3). Объемы лесовосстановления</li> </ol>

Характеристики, включенные в каждую составляющую социальной уязвимости и обозначенные цифрами, выражались в относительных единицах и суммировались с равными весами. Показатели, обозначенные буквами, входили с равными весами в характеристику с соответствующей цифрой.

В результате проведенных расчетов были получены значения уязвимости социальной сферы составляющих риска от указанных опасных явлений для 82 субъектов РФ. На рис. 2.8 и 2.9 представлены карты повторяемости опасных явлений и уязвимость населения (включая восприимчивость, реагирование и потенциал адаптации) а также итоговое значение риска в субъектах Российской Федерации, выраженные в относительных единицах от 0 до 1).

Наибольшие значения уязвимости социальной сферы к опасным явлениям наблюдаются на Северном Кавказе и на территории Республики Тыва. Это связано как со значительной восприимчивостью населения к воздействию ОЯ из-за невысокого уровня жизни (особенно в Республиках Ингушетия и Тыва), так и с недостаточно эффективным реагированием властей на природные опасности, неразвитой сетью медицинских учреждений и т. д.

Наименьшая уязвимость населения отмечается в Московской и Ленинградской областях и на тихоокеанском побережье РФ за счет довольно высоких значений всех социально-экономических показателей, а также в Чукотском автономном округе из-за больших инвестиций в социальную инфраструктуру.

Итоговые значения риска, рассчитанные на основе указанных составляющих риска, представлены в п. 2.2.7.

Полученная таким образом информация может быть использована для выявления наиболее уязвимых субъектов РФ и определения конкретных причин, которые вызывают уязвимость населения к наиболее значимым опасным явлениям на территории каждого субъекта. К недостаткам данной методики следует отнести относительный характер выполненных оценок. Поэтому для более успешного управления риском полученные результаты, полезно дополнять величиной ущерба, выраженного в монетарной форме (см. п. 2.2.7). Надо также отметить, что для более полного анализа погодно-климатического риска в социальной сфере необходимо проанализировать последствия как экстремальных опасных явлений, так и медленно протекающих процессов, отмечаемых в данном субъекте РФ, т. е. получить так называемый комплексный социальный риск. Представленный подход оценки уязвимости с некоторыми изменениями и дополнениями может быть реализован и для отраслей технической сферы. В этом случае в составляющие уязвимости, отражающие восприимчивость, реагирование и потенциал адаптации, следует включить соответствующие показатели, характеризующие технические объекты и процессы (например, степень износа технических объектов, информация об ущербах при уже произошедших авариях, наличие инструментов страхования и т. д.)

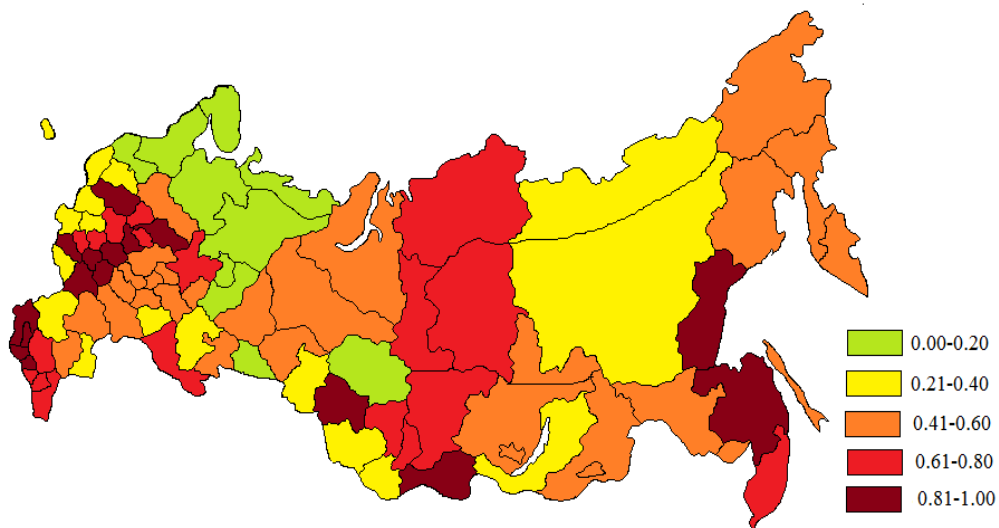


Рис. 2.8. Суммарная повторяемость опасных явлений (наводнений, очень сильных ветров и лесных пожаров), выраженная в относительных единицах от 0 до 1.

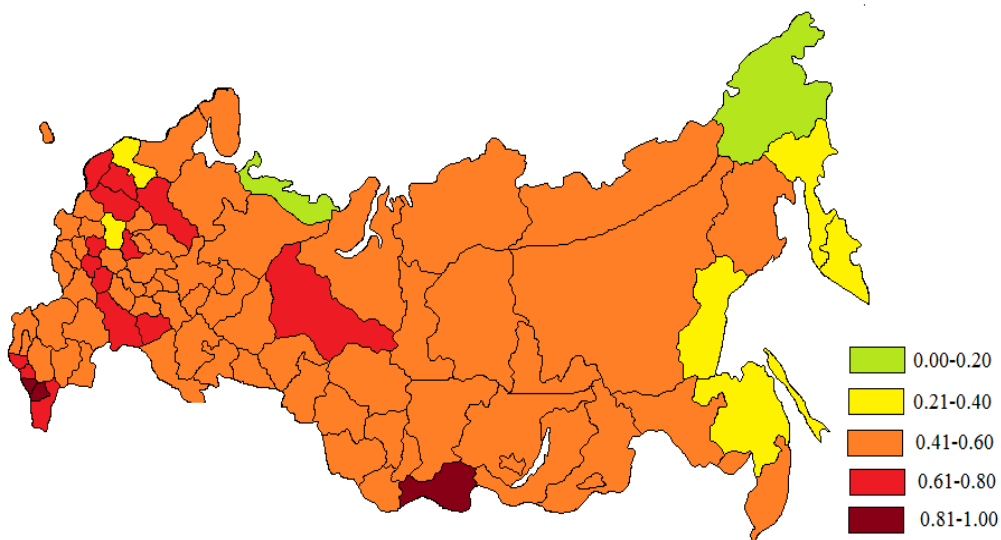


Рис. 2.9. Уязвимость социальной сферы (включая восприимчивость, реагирование и потенциал адаптации), выраженная в относительных единицах от 0 до 1.

В соответствие с концепцией Всемирного Банка уязвимость территории к изменению и изменчивости климата складывается из:

- ее подверженности воздействию изменения и изменчивости климата;
- чувствительности к воздействию (или восприимчивости);
- адаптационной способности.

На основе указанного подхода была выполнена общая оценка уязвимости стран Восточной Европы и Центральной Азии к изменению и изменчивости климата, приведенная ниже. [Адаптация..., 2009]

Уязвимость к изменению и изменчивости климата во многом определяется сегодняшним состоянием систем, будь то население, инфраструктура или экология. Недостаточно эффективное природопользование, когда экономический рост часто обеспечивался без учета экологических соображений, ослабили устойчивость природной среды в странах Восточной Европы и Центральной Азии. Так например, сельское хозяйство Узбекистана, опирающееся на неэкономичную систему орошения, является в высшей степени уязвимым к изменению климата. Неудовлетворительные меры по предотвращению эрозии почв, управлению водными ресурсами, борьбе с вредителями и сохранению питательных веществ делают систему сельскохозяйственного производства в странах Восточной Европы и Центральной Азии особенно уязвимой.

Риски для водных ресурсов в странах Европы и Центральной Азии в ближайшие двадцать лет также будут определяться, прежде всего, неклиматическими факторами, такими, как неэффективное водопользование и неустойчивая модель водопотребления.

Надо отметить, что нынешнее загрязнение окружающей среды усиливает негативное воздействие климатических изменений. Так, в промышленном центре Силламяэ на побережье Эстонии место захоронения радиоактивных отходов отделено от моря лишь узкой дамбой, и налицо опасность её разрушения при подъёме воды. Опасными источниками загрязнения являются места захоронения отходов вблизи побережья Черного моря: эрозия почв в прибрежных районах может привести к росту объемов загрязняющих веществ, попадающих в морскую воду, что создаст угрозу для рыболовного промысла [Адаптация..., 2009].

Всемирным Банком был разработан индекс уязвимости стран на основе трех индикаторов. Измерялись подверженность каждой страны воздействию изменения климата, её чувствительность к такому изменению и способность адаптироваться к нему [Адаптация..., 2009].

При разработке индекса использовался метод анализа главных компонент (АГК), с помощью которого были выявлены важные переменные, позволяющие определить степень чувствительности и способности к адаптации, а затем все три показателя были сведены в единый индекс уязвимости. АГК — это статистический метод, позволяющий взвешивать включенные переменные, чтобы дать оптимальное объяснение дисперсии данных. Использованный

показатель подверженности воздействию был предложен в работе [Baettig et al. 2007].

Первый индикатор — подверженность воздействию — был основан на индексе, позволявшем измерить интенсивность изменения климата в будущем относительно его нынешней естественной изменчивости; при этом учитывались годовые и сезонные показатели температуры и количества осадков.

Второй индикатор — чувствительность страны к изменению климата — основывался на показателях, которые с высокой долей вероятности способны усилить воздействие изменения климата (наличие или отсутствие возобновляемых водных ресурсов, степень загрязненности воздуха, структура экономики, зависимость от гидроэнергетики, состояние инфраструктуры, и т.п.).

Третий — способность к адаптации — рассчитывался на основе сочетания показателей социального (неравенство доходов), экономического (ВВП на душу населения) и институционального характера. При этом были использованы институциональные показатели из проекта «Мировые показатели эффективности государственного управления» (Worldwide Governance Indicators Project, Kaufmann et al. 2008).

При сведении этих трех компонентов в единый индекс уязвимости, была получена классификация, приводимая на рисунке 2.10.

На диаграмме видно, что при диапазоне изменения индекса уязвимости от 0 до 25 Россия занимает примерно среднее положение со значением индекса уязвимости равным 14.

На рисунке 2.11. использован иной масштаб, чтобы показать, каким образом подверженность воздействию изменения климата и чувствительность к нему увеличивают уязвимость страны, в то время как способность к адаптации её снижает.

Если рассмотреть самые уязвимые страны, то для Албании характерна относительно высокая подверженность воздействию изменения климата, а в Таджикистане и Кыргызстане структура социальной и производственной сферы такова, что эти страны оказываются очень чувствительными к воздействию климатических изменений. Способность к адаптации уменьшает уязвимость и, соответственно, как показано на рисунке, принимает отрицательные значения.

Так, например, у Словении способность к адаптации высока, поэтому соответствующий столбец уходит в область отрицательных величин, у Таджикистана способность к адаптации очень низка, следовательно, велика уязвимость [Fay et al. 2008].



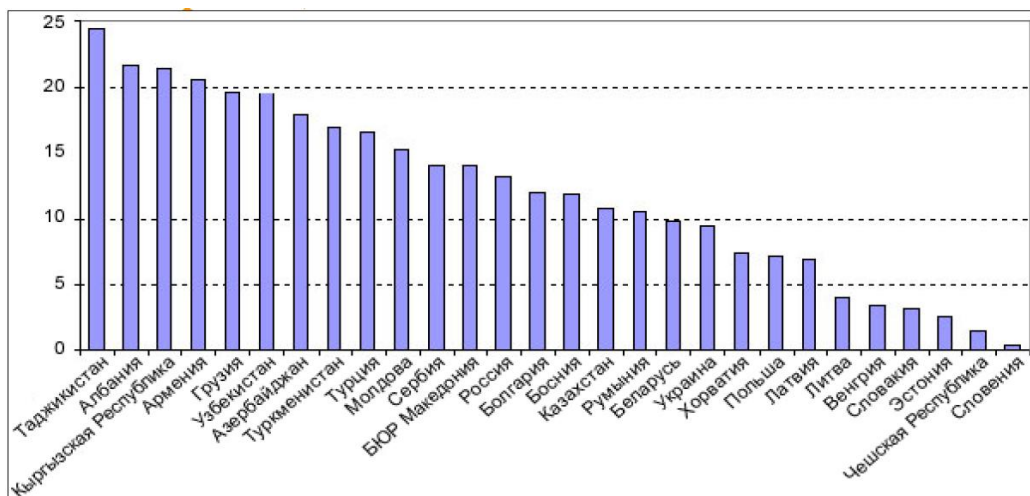


Рис. 2.10. Индекс уязвимости различных стран в отношении изменения климата [Адаптация..., 2009].

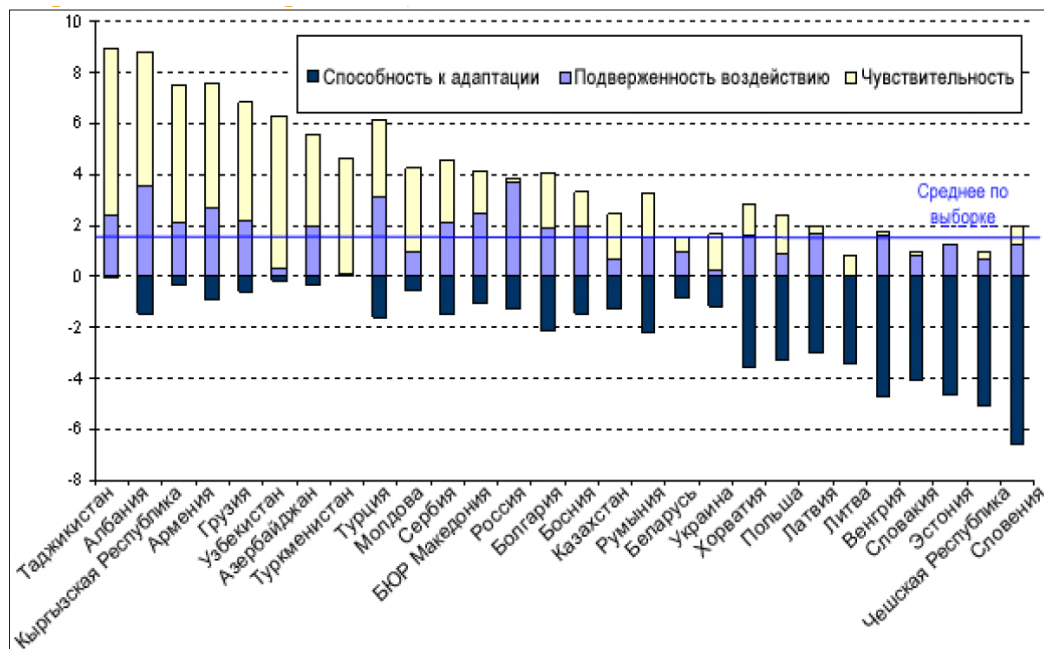


Рис. 2.11. Факторы, влияющие на уязвимость различных стран в отношении изменения климата [Адаптация..., 2009].

### 2.2.7. Оценка климатического риска

В настоящее время существуют два основных количественных подхода к оценке климатических рисков:

- эмпирический, основанный на статистической выборке из совокупности угрожающих факторов;
- вероятностный, привлекающий к оценке риска один из законов распределения вероятностей.

Представим примеры данных подходов к оценке рисков, создаваемых ОЯ, НУП и АКУ.

#### *Методы эмпирической (выборочной) оценки рисков, вызванных ОЯ*

В большей части работ, посвященных климатическим рискам, возникающим под воздействием ОЯ [Русин, 2003; Карлин, 2006; Адаптация..., 2009; Атлас МЧС, 2014 и др.], представлены в основном качественные оценки климатических рисков («весьма низкого» до «весьма высокого»).

Для расчета техногенных рисков в литературе начала XXI в. [Акимов и др., 2002] используются аналитические методы, содержащие системы сложных формул. Для климатических рисков аналогичные разработки до последнего времени отсутствовали.

Одной из первых работ, позволивших получить количественные результаты оценки рисков, является [Кобышева и др., 2001]. В дальнейшем авторы уточнили данный подход и апробировали его при выполнении диссертационных работ сотрудников различных УГМС (Панфутова Ю. А. — УГМС Республики Татарстан, Грищенко И. В. — Северное УГМС, Самолетова Н. А. — Северо-Кавказское УГМС).

В основе косвенного метода расчета экономического риска от опасных явлений, разработанного в ГГО [Кобышева, 2014] положена математическая интерпретация риска, иллюстрируемая схемой (рис. 2.12) и принятая в данной работе при определении техногенных и природных рисков. При таком подходе характеристика подверженности объекта включается в величину уязвимости.

При этом учитываются следующие соображения:

- развитие индустрии и сельского хозяйства тесно связано с плотностью населения;
- экономическим эквивалентом уязвимости или ценой риска является доля валового промышленного продукта (ВВП) и основного фонда, приходящегося на одного жителя России.

Риск определяется по формуле:

$$R = p \cdot U, \quad (2.9)$$

где:  $p$  — вероятность природного явления;

$У$  — уязвимость некоторого объекта, подвергающегося воздействию ОЯ (см.п.2.2.6).

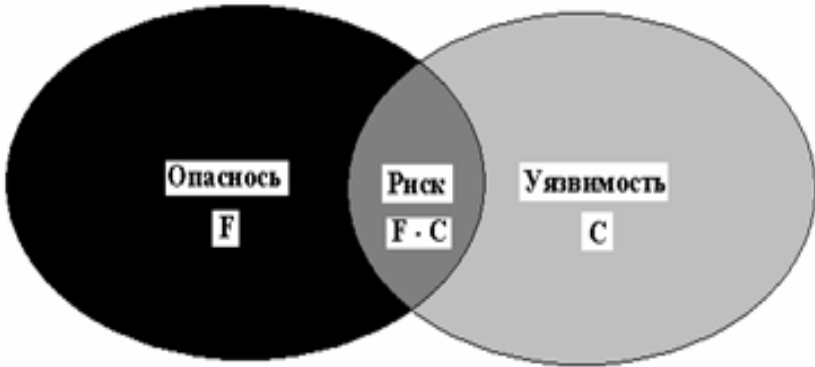


Рис. 2.12. Модель риска.

$F$  — частота возникновения опасности;

$C$  — условная вероятность уязвимости реципиента риска от опасности.

Социальный риск  $R_{соц}$ , представляет собой соотношение между числом людей, подвергшихся воздействию источника опасности, и вероятностью такого события.

Средняя площадь, охватываемая явлением, определяется при рассмотрении отдельных случаев возникновения ОЯ. В тех случаях, когда такую площадь, определить нельзя, в качестве радиуса данной площади принимается радиус корреляции данного явления.

В случае, когда ОЯ наблюдается только 1 раз в году:

$$p = n / N, \quad (2.10)$$

где:  $n$  — число ОЯ на данной территории за весь период наблюдений;  $N$  — число лет наблюдений;

Когда ОЯ наблюдается несколько раз в году, вероятность лет с ОЯ определяется по формуле:

$$p = N' / N \quad (2.11)$$

где  $N'$  — число лет с ОЯ.

Риск нанесения социального ущерба рассматриваемой территории определяется по формуле:

$$P_{соц} = p \cdot \frac{S}{S} \cdot t \cdot m \cdot K, \quad (2.12)$$

где  $t$  — средняя продолжительность ОЯ, дни,

$K$  — коэффициент агрессивности.

Если рассчитывается не вероятность явления, а вероятность лет с явлением, то полученный риск умножается на максимальное число явлений в году.

Общая формула социального риска или вероятности поражения конкретного (точечного) реципиента имеет следующий вид:

$$P_{соц} = p \cdot \frac{s_i}{S} \cdot \frac{S}{S} \cdot t \cdot m \cdot K \quad (2.13)$$

где  $s_i$  — площадь реципиента, км<sup>2</sup>.

Приведенные выше формулы позволяют оценить риски, создаваемые ОЯ для различных реципиентов, т. е. решать задачи оценки рисков на уровне объекта.

Основой экономического механизма управления риском является определение экономического ущерба, создаваемого опасным событием. Совокупный ущерб на данной территории может быть назван экономическим риском ( $P_э$ ):

$$P_э = A \cdot P_{соц}, \quad (2.14)$$

где  $A$  — коэффициент, называемый ценой риска, полагаемый равным доле ВВП и основного фонда России, приходящегося на одного жителя России.

Для перехода к экономическому риску необходимо количественно оценить ущерб, используя ВВП. При этом определяется продолжительность каждого ОЯ и рассчитывается доля ущерба за период равный продолжительности явления. Информация о средней продолжительности и площади охвата некоторых ОЯ представлена в таблице 2.8.

Предложенную методику оценки риска следует корректировать в тех случаях, когда процесс изменения метеорологической характеристики является нестационарным по математическому ожиданию и (или) дисперсии. В работе [Салль, 2015] рассматриваются случаи гетероскедастичной регрессионной модели климатических и гидрологических процессов и показано, что опасное явление может возникать гораздо чаще, чем это вытекает из использования стационарной модели. Авторы книги согласны с рассуждениями о том, что при обнаружении гетероскедастичности ее следует принимать во внимание. Однако опыт анализа многочисленных климатологических рядов показывает, что на практике гетероскедастичность климатологических процессов в пунктах наблюдений отмечается сравнительно редко. В тех случаях, когда она фиксируется с помощью статистических тестов (например, F-статистики), для ее устранения следует использовать разработанные статистические методы (например, обобщенный метод наименьших квадратов). [Нименья, 2004]. Надо отметить, что при исключении тренда из ряда модулей отклонений в подавляющем большинстве случаев обнаруживаются периодические изменения. Поэтому такие процессы можно полагать квазистационарными. В этом случае при расчете риска вероятность опасного явления следует рассчитывать с учетом ступенчатого тренда [Кобышева и др., 1984].

**Средняя продолжительность и площадь охвата территории некоторыми опасными явлениями**

Вид ОЯ	Продолжительность, ч	Площадь, кв. км
Очень сильный ветер	4,8	8500
Очень сильный дождь	9,7	25500
Очень сильный снег	11,8	36800
Смерч	0,14	1.6
Сильные гололедно-изморозевые отложения	90	1600
Крупный град	0,05	15
Сильный туман	13,5	-
Сильная метель	19,7	13000
Шквал	0,1	2400
Сильный ливень	1	20

***Методика оценки климатических рисков с использованием моделей статистических распределений угрожающих явлений***

Для количественной оценки климатических рисков, создаваемых комплексом ОЯ и подвергающих бедствиям инфраструктуру и экономику в целом, может быть использована вероятностная оценка рисков [Di Mauro, 2014]. Данный подход подготовлен в департаменте ООН по уменьшению опасности стихийных бедствий. Оценка рисков основывается на расчете вероятности превышения интенсивности ОЯ, НУП или АКУ и соответствующих значениях максимальных потерь (рис. 2.13).

Таким образом, климатический риск рассматривается как вероятность неблагоприятных последствий, возникающих в результате аномальных климатических явлений (ОЯ, НУП, АКУ).

При данном подходе повторяемость ОЯ, НУП и АКУ заменяется вероятностью, оцениваемой по определенной модели (нормального распределения, Пуассона, Гумбеля, Парето).

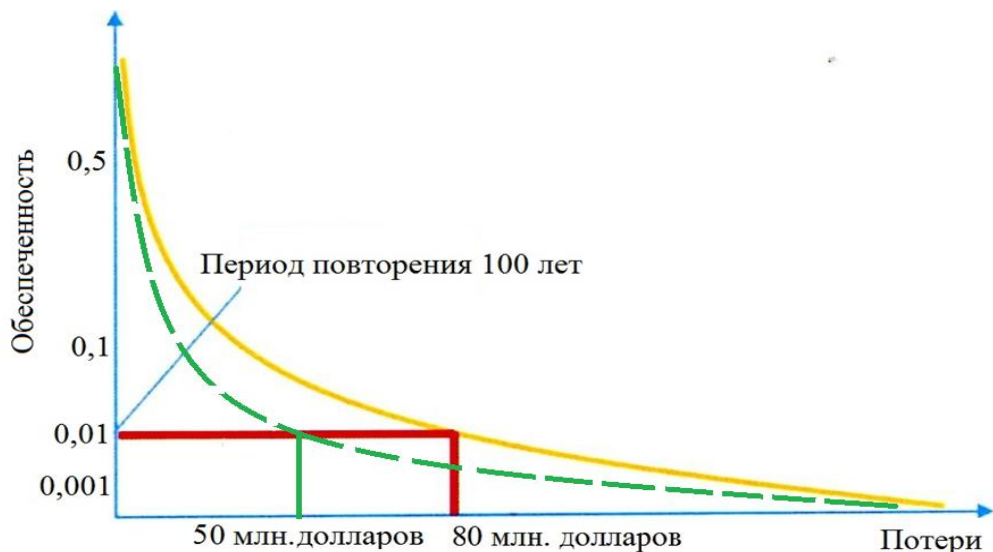


Рис. 2.13. Пример вероятностной оценки максимальных потерь [Di Mauro, 2014]. Сплошная линия отражает зависимость максимального ущерба от интенсивности опасного явления при отсутствии адапционных мер, пунктирная линия – при их наличии.

Институтами Росгидромета (ФГБУ Гидрометцентр, ЗапСиб НИИ) при выполнении НИР в 2014—2015 гг. использовался полуэмпирический метод для оценки климатического риска ураганов. Для его реализации требуется информация об ущербах.

Вероятностная реализация угроз оценивается по формуле:

$$P_S = F_{US} P_N, P_T, P_O \quad (2.15)$$

где  $P_N$  — вероятность появления неблагоприятного события, обусловленная человеческим фактором;  $P_T$  — вероятность, обусловленная состоянием объектов техносферы;  $P_O$  — вероятность, обусловленная воздействием окружающей среды. Ущерб  $U_S$  от реализации аварий в общем случае можно записать [Махутов, 2007]:

$$U_S = F_{US} U_N, U_T, U_O \quad (2.16)$$

где  $U_N$  — ущербы, наносимые населению при взаимодействии первичных и вторичных поражающих факторов при реализации аварийных ситуаций;  $U_T$  — ущербы, наносимые объектам техносферы;  $U_O$  — ущербы, наносимые окружающей среде. Эти величины измеряются как в натуральных единицах (например, числом погибших людей, числом разрушенных объектов и площадью поврежденных территорий), так и в эквивалентах (например, в экономических, денежных показателях).

Объективный метод определения вероятности основан на вычислении частоты, с которой происходят некоторые события. Частота при этом рассчитывается на основе фактических данных.

$$f(A) = n(A) / n; \quad (2.17)$$

где  $f$  — частота возникновения некоторого уровня потерь;  
 $n(A)$  — число случаев наступления этого уровня потерь;  
 $n$  — общее число случаев в статистической выборке.

Количественная модель рисков оперирует такими понятиями, как:

1. годовая частота происшествий (англ. Annualized Rate of Occurrence — ARO), иначе говоря, вероятность появления ущерба;
2. ожидаемый единичный ущерб (англ. Single Loss Expectancy — SLE), т. е. стоимость ущерба от одного явления;
3. ожидаемый годовой ущерб (англ. Annualized Loss Expectancy — ALE), величина, равная произведению ARO на SLE.

$$ALE = ARO \cdot SLE, \quad (2.18)$$

где ARO — это частота появления события, приносящего ущерб на годовой основе, т. е., если событие происходит раз в 5 лет, то величина ARO равна 1/5 или 0,2, а если событие происходит 3 раза в год, то ARO равно 3.

Как видим, эта величина отлична от математической вероятности, которая не может быть больше 1. Величина ARO не ограничена сверху. Если в организации из 100 человек 50 ежедневно эксплуатируют информационную систему, при этом 5 из них, обладая высокими правами, но низкой квалификацией, могут ежемесячно допускать серьезные ошибки, приводящие к нарушениям в работе системы, то ARO этой системы по данному событию будет равна  $5 \times 12 = 60$ .

SLE рассчитывается как произведение количественного (стоимостного) значения актива (англ. Asset Value — AV) на фактор воздействия (англ. Exposure Factor — EF). Фактор воздействия — это размер ущерба или влияния на значение актива (от 0 до 100 %), т. е. часть значения, которую актив потеряет в результате события.

$$SLE = AV \cdot EF \quad (2.19)$$

Таким образом, для расчета рисков ущербов от какого-либо явления нужно знать частоту его появления и величину порога его интенсивности, после которого может наступить ущерб. Задача осложняется тем, что помимо распределений этих величин по времени, существует различие в их распределении по географическому пространству. В табл. 2.9 представлены вероятности (повторяемости) возникновения ураганов, способных причинить социально-экономический ущерб, для 57 городов России.

Таблица 2.9

**Ураганные скорости ветра, наблюдающиеся с различной вероятностью (P) в населенных пунктах России (по данным ФГБУ «Гидрометцентр России»)**

Населенный пункт	Скорость ветра, м/сек		
	<i>P</i> = 0,2	<i>P</i> = 0,05	<i>P</i> = 0,02
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Абакан	30	35	40
Анадырь	45	53	62
Амдерма	43	52	59
Арзамас	27	32	37
Армавир	30	38	43
Ачинск	30	37	42
Аян	35	43	49
Барнаул	35	43	48
Боготол	30	35	40
Березово	25	30	35
Вилуйск	25	30	35
Владивосток	35	45	50
Волхов	27	32	37
Воркута	30	35	40
Диксон	42	50	57
Дудинка	32	38	44
Ейск	30	35	40
Зима	27	32	37
Иваново	23	27	31
Канин Нос	35	42	48
Камень на Оби	30	35	40
Кемь	25	30	35
Комсомольск-на-Амуре	28	33	38
Кострома	28	33	38
Магнитогорск	30	35	40
Малые Кармакулы	68	82	94
Махачкала	38	45	52
НарьянМар	30	35	40
Находка	45	54	62
Невельск	30	35	40
Новороссийск	42	50	57
Новосибирск	25	30	35
Норильск	40	50	55
Орел	27	32	37
Оха	35	45	50



Продолжение таблицы 2.9

1	2	3	4
Охотск	27	32	37
Петрозаводск	25	30	35
Пятигорск	26	31	38
Ростов на Дону	25	30	35
Рубцовск	30	35	40
Рязань	25	30	35
Салехард	32	38	44
Саратов	28	33	38
Сочи	28	33	38
Ставрополь	43	52	59
Сургут	25	30	35
Таганрог	27	32	37
Тайшет	27	32	37
Тобольск	25	30	35
Томск	32	38	44
Улан Удэ	25	30	35
Уфа	40	48	55
Челябинск	20	25	30
Черкесск	42	50	57
Хабаровск	27	32	37
Холмск	35	40	45
Южно-Сахалинск	27	32	37

Частотным анализом годового числа ураганов установлена возможность его описания распределением Пуассона:

$$f(x) = p \cdot \exp(-n) / x$$

где:  $f(x)$  — функция распределения;  $x$  — ежегодная частота;  $n$  — средняя ежегодная частота.

Например, для всех ураганов Атлантического побережья США  $p = 2$ . Функция распределения вероятностей образования урагана может быть положена в основу прогноза риска возможных разрушений.

Разрушительная способность ветра выражается условными баллами и зависит от скорости (табл. 2.10)

- 0 баллов — 18—32 м/с, слабые разрушения;
- 1 балл — 33—49 м/с, умеренные разрушения;
- 2 балла — 50—69 м/с, значительные разрушения;
- 3 балла — 70—92 м/с, сильные разрушения;
- 4 балла — 98—116 м/с, опустошительные разрушения.

Энергия скорости ветра, т. е. скоростной напор  $q$ , пропорционален произведению плотности атмосферного воздуха на квадрат скорости воздушного потока  $q = 0,5 \cdot \rho \cdot V^2$ .

Согласно строительным нормам максимальное нормативное значение ветрового давления для территории России составляет  $q = 0,85$  кПа, что при плотности воздуха  $\rho = 1,22$  кг/м<sup>3</sup> соответствует скорости ветра 30—35 м/с.

Таблица 2.10

**Степень разрушения зданий и сооружений при ураганах в зависимости от скорости ветрового потока (м/с)**

Тип сооружений	Степень разрушения		
	Слабая	Средняя	Сильная
Промышленные здания	25—30	30—50	50—70
Кирпичные малоэтажные дома	20—25	25—40	40—60
Трансформаторные подстанции закрытого типа	35—45	45—70	70—100
Резервуары наземные металлические	30—40	40—55	55—70
Газгольдеры	30—35	35—45	45—55
Ректификационные колонны	25—30	30—40	40—55
Подъемно-транспортное оборудование	35—40	40—50	50—60
Трубопроводы наземные	35—45	45—60	60—80
Воздушные линии низкого напряжения	25—30	30—45	45—60
Кабельные наземные линии связи	20—25	25—35	35—50

**Метод оценки рисков бедствий по шкале DIMAK**

Для оценки рисков бедствий по данным об уже произошедших бедствиях и известных потерях рекомендуется использоваться на сегодняшний день наиболее совершенную методологию, разработанную академиком М.А. Клячко [Клячко, 2004]. Показателями ее являются величина (магнитуда) бедствия, индекс относительной социальной уязвимости и показатель устойчивости к бедствию.

За единицы измерения в шкале DIMAK приняты «один фэйт» (fate) и «один лосс» (loss), которые являются мерой любого бедствия, определяя соответственно размеры социальных потерь  $D_1$  материального ущерба  $D_2$ . Количество погибших (безвозвратные потери) —  $K$ , количество раненых (санитарные потери) —  $I$  и размер финансовых потерь —  $S$ , млн. долларов — основные исходные параметры шкалы DIMAK. При определении размера бедствий не оценивается размер косвенного экономического ущерба. В соответствии с выбранным масштабом в DIMAK, мы можем конвертировать (преобразовать)  $D_1$ , измеренный в «фэйтах», к  $D_2$ , измеренному в «лоссах», при этом ранение человека оценено в \$ 10 000, а потеря жизни — в \$ 330 000, что соответствует средним страховым оценкам. Тогда размер любого бедствия в денежном выражении (млн. дол) можно представить:

$$L=0,33K+S \quad (2.20)$$

Чтобы было более удобно оперировать с размером социальных потерь, можно, учитывая вышеуказанные стоимости безвозвратных и санитарных потерь, использовать условное приведенное количество жертв:

$$K_1 = K + 0,03 I \quad (2.21)$$

В шкале DIMAK используются нижеследующие характеристики бедствия:

**а) магнитуда бедствия**

Величина (магнитуда) бедствия может изображаться как в векторной форме:

$$\overline{MD} = \overline{\lg K_1} + \overline{\lg 3S} \quad (2.22)$$

так и в скалярной форме:

$$M_d = \sqrt{[\lg K + 0.031 I]^2 + (\lg 3S)^2} \quad (2.23)$$

Таким образом, магнитуда бедствия измеряется длиной луча/вектора ON, где O — нулевая точка (начало ортогональных координат), а N — точка бедствия.

Луч ON называется «вектор бедствия». В шкале DIMAK принимается, что социальные ущербы откладываются по оси ординат, а экономические — по оси абсцисс.

**б) индекс относительной социальной уязвимости**

Индекс относительной социальной уязвимости при бедствии «р» зависит от угла  $\alpha$  между «вектором бедствия» и осью абсцисс и определяется по формуле:

$$p = \operatorname{tg} \alpha = \lg K_1 / \lg 3S \quad (2.24)$$

если  $p = \infty$ , бедствие называется «полностью социальным»

если  $p = 0$ , бедствие называется «чисто экономическим»

В шкале DIMAK принято считать значения индекса относительной социальной уязвимости р:

$p < 0,25$  — абсолютно приемлемыми для всех стран

$p < 0,5$  — допустимыми значениями для развитых стран

$p < 0,75$  — допустимыми для развивающихся стран

$p > 1$  — абсолютно недопустимыми.

**в) показатель устойчивости к бедствию**

Показатель устойчивости к бедствию  $d_m$  — экономическая характеристика, показывающая возможность той или иной пострадавшей территории (объекта, провинции, штата, страны, региона) противостоять бедствию и ликвидировать его собственными силами.

В шкале DIMAK за показатель устойчивости к бедствию  $d_m$  принимается:

$$d_m = L / \text{GNP} \quad (2.25)$$

где L — размер бедствия в денежном выражении

GNP — валовой продукт, производимый на рассматриваемой территории.

Показатель устойчивости к бедствию используется для характеристики «восстанавливаемости» пострадавшей от бедствия территории. Относительный уровень экономического потенциала территории с точки зрения способности ее к восстановлению или адаптации описывается в терминах относительного

масштаба произошедшего бедствия, а именно: объектового, муниципального/городского, территориального, национального, регионального и глобального масштаба. Критерием отнесения бедствия к тому или иному масштабу (относительности его величины) являются выбор/назначение такого масштаба, при котором индекс устойчивости к бедствию  $d_m$  будет иметь значение около 10.

В табл. 2.11. представлены качественные и количественные показатели бедствия

Таблица 2.11

**Классификация величин бедствия**

Степень бедствия	Термины для качественной оценки	Количественная оценка, $M_d$
1	нет бедствия	$< 1,0$
2	незначительное бедствие	1,0—2,5
3	бедствие	2,5—4,5
4	большое бедствие	4,5—6,0
5	жестокое бедствие	6,0—7,0
6	катастрофа	$\geq 7,0$

Примечание: для уточнения величины бедствия можно использовать следующие дополнительные термины: «достаточно», «весьма», «крайне».

Показатели бедствий ( $M_d$ ;  $p$ ) легко представляются на «поле бедствий» (рис. 2.14), которое образуется при построении графика в ортогональных координатах. Каждая точка  $N$  на «поле бедствий» соответствует какому-либо бедственному событию, измеряемому вектором  $ON$ .

Шкала «ДИМАК» может применяться для оценки последствий любого произошедшего стихийного или/и антропогенного бедствия, она позволяет оценивать вклад вторичных бедственных процессов, изучать конструктивную и планировочную уязвимость зданий, сооружений и городов.

С помощью разрабатываемых сценариев вероятных бедствий шкала «ДИМАК» помогает выяснять самые слабые и наиболее уязвимые места в городской среде и выбирать наиболее эффективные профилактические меры в политике и стратегии предотвращения и смягчения бедствий. Эта шкала эффективно используется в процессе анализа и картирования природно-техногенного риска, и в процедуре мониторинга и контроля допустимого риска для обеспечения устойчивой безопасности.

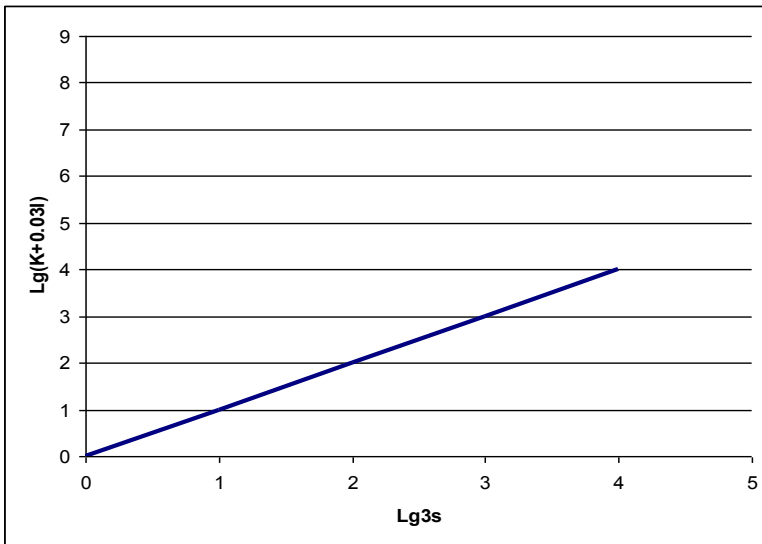


Рис. 2.14. Графическое изображение основных показателей бедствий.

### 2.2.8. Оценка допустимого риска

Когда риск так или иначе определен, для принятия дальнейших действий необходимо оценить его допустимость. Одним из вариантов решения этой задачи является методика, основанная на концепции приемлемого (допустимого) риска. Впервые она была разработана в Нидерландах и начала применяться в практической деятельности на государственном уровне с 1989 г. Для России рекомендован вариант оценки риска, представленный на рис. 2.15 (Быков и др. 2004). Диаграмма, похожая на светофор, позволяет соотнести число людей, затронутых ОЯ и повторяемость этих явлений. Согласно данному подходу, весь «спектр» значений риска разбивают на 3 области:

- недопустимого (чрезмерного) риска;
- приемлемого риска;
- пренебрежимого риска.

При попадании в область чрезмерного риска любая деятельность, характеризующаяся уровнем риска из этой области, недопустима, даже если она выгодна для общества в целом. Но если речь идет о риске вследствие изменения климата, адаптация необходима при любых затратах.

В области приемлемого риска принятие решения о допустимости риска является предметом контроля для регулирующего органа в направлении некоторого уменьшения риска. Вопрос об адаптации решается на основе экономических расчетов.

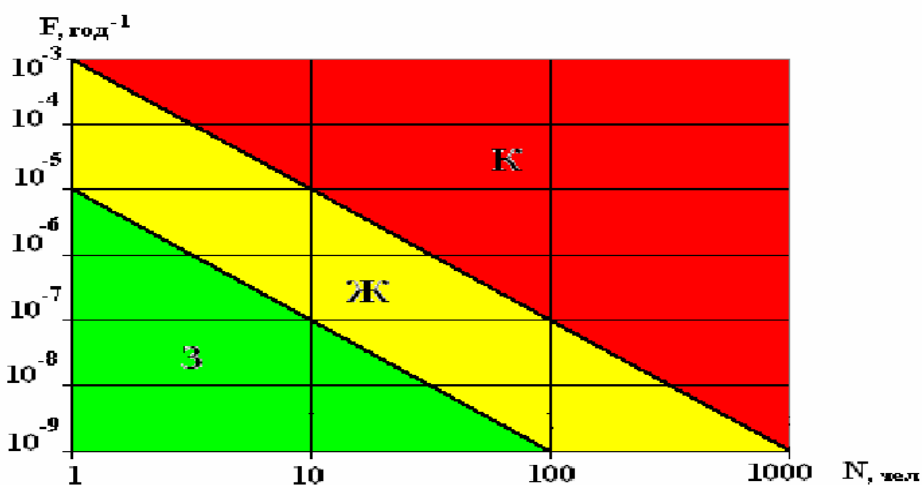


Рис. 2.15. Оценка допустимости риска.

$F$  — частота бедствий;  $N$  — число погибших;

К (красный) — область чрезмерных рисков; Ж (желтый) — область приемлемых рисков;

З (зеленый) — область пренебрежимых рисков.

Значения приемлемого риска зависят от комплекса природных, социально-экономических и политических факторов, поэтому в разных странах они различны. В России предельно допустимым уровнем индивидуального риска для человека принято значение в диапазоне  $10^{-5}$ — $10^{-4}$ , а пренебрежимо малым —  $10^{-7}$ — $10^{-6}$ .

В области пренебрежимого риска любая деятельность является приемлемой и не требует каких-либо дополнительных усилий по адаптации.

Окончательное решение о критериях допустимости величины риска в данной отрасли или на данной территории должны принимать соответствующие регулирующие органы.

Существуют и другие методы оценки риска (байесовский подход, моделирование методом Монте-Карло, экспертные оценки и др.). Байесовский подход следует использовать при наличии некоторой дополнительной информации, например, сведений об осуществившемся прогнозе ОЯ. Метод Монте-Карло наоборот, применяется тогда, когда отсутствует климатическая информация об ОЯ. Экспертные оценки применяют в крайних случаях при полном отсутствии информации для расчетов. Однако предлагаемый выше относительно простой метод позволяет получить приемлемые результаты для целей принятия решения об адаптации к изменениям и изменчивости климата в условиях значительной неопределенности.

### 2.2.9. Комплексные риски

В ряде случаев на реципиент воздействует комплекс опасных процессов (ОЯ, НУП и АКУ) или их сочетания, что создает комплексный риск. С другой стороны, даже при воздействии одного опасного явления может говорить о комплексном риске (например, подъем уровня моря может вызывать одновременно разрушение берега, засоление подземных вод, заболачивание территории и т. д.). Поэтому при анализе рисков для конкретной территории необходимо рассматривать весь комплекс воздействующих факторов и комплекс реципиентов риска. Примером комплексного риска может быть проект CLiPLivE (см. п. 2.2.4.), в котором оценка риска для береговой инфраструктуры основывалась на матрице риска, обобщающей информацию о геологической, климатической и экологической составляющих риска для городской среды. При этом климатическая составляющая включала как изменение уровня моря, так и усиление штормов в холодный период года.

Рассматривая методику оценки комплексных рисков, следует подчеркнуть, что климатический риск, создаваемый несколькими ОЯ, часто не является суммой рисков этих ОЯ. Комплексный риск определяется на основе многомерных распределений, составляющих комплекс ОЯ или комплекс последствий. При этом анализируются условные вероятности комплексированных ОЯ. Этому предшествует исследование физической картины совместного воздействия нескольких возможных ОЯ. Например, если требуется оценить риск «недотопа» здания (больницы, детского сада), то помимо температуры следует учитывать также влияние ветра, о чем свидетельствует анализ воздействия метеорологических факторов на отопительный процесс. С этой целью следует составить матрицу двумерного распределения комплекса температуры и ветра, а также матрицу эффективной температуры. Их совместный анализ показывает, что наибольший охлаждающий эффект создает не самая низкая температура воздуха и не самый сильный ветер, а сочетание некоторых промежуточных значений температуры и ветра. Данное сочетание можно считать критическим. Вероятностное отклонение от него можно рассматривать как риск «недотопа» (перетопа).

В случае недостаточного объема исходных данных для составления многомерных распределений метеовеличин, можно использовать метод комплексирования рисков с помощью теории нечетких множеств (Приложение 3)

Следует также иметь в виду, что для многих ОЯ дополнительную серьезную угрозу представляет так называемый «вторичный» риск. Так, например, вторичный риск сильного дождя связан с последующими наводнениями, размывами насыпей железных и автомобильных дорог и т. д. При окончательной оценке рисков и принятии решения об адаптации вторичный риск также необходимо идентифицировать и принять в расчет, т. е. использовать системный подход к анализу рисков.

## 2.2.10. Примеры климатических рисков, создаваемых ОЯ

В данном разделе приводится ряд результатов расчета климатических рисков, возникающих под действием ОЯ. Расчеты выполнены по методике авторов, изложенной в работах Панфутовой Ю. А., Грищенко И. В., Самолетовой Н. А. Представленный материал о наиболее важных секторальных и территориальных рисках может рассматриваться как основа при принятии адаптационных решений к опасным гидрометеорологическим явлениям, наносящим наибольший ущерб экономике страны.

Заметим, что критерии ОЯ менялись несколько раз в течение периода инструментальных наблюдений. Это значительно усложнило расчеты ОЯ, т. к. требовало обращения непосредственно к исходным данным наблюдений. Уточненный в 2015 г. список ОЯ представлен в Приложении 4. В дальнейшем при расчете климатических рисков следует иметь это обстоятельство в виду.

В течение последних 20 лет наблюдается значимый рост числа ОЯ, вызвавших экономический ущерб (рис. 2.16). Это требует повышенного внимания к оценке климатических рисков ОЯ.

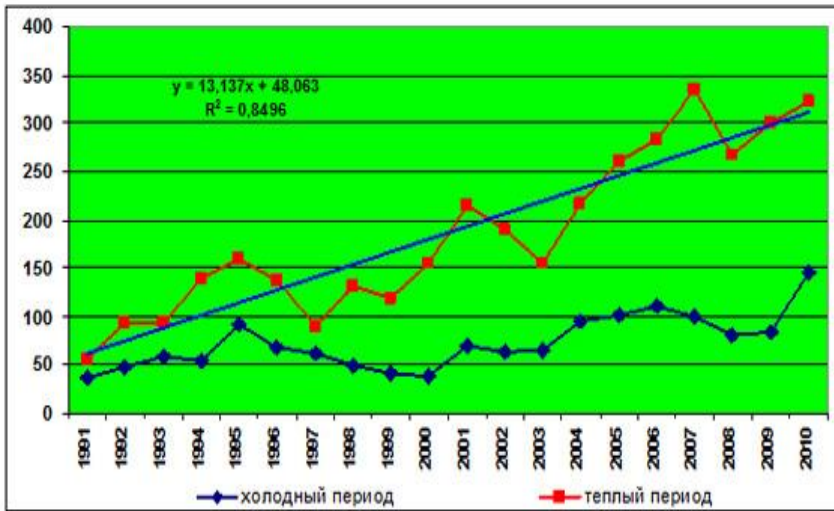


Рис. 2.16. Распределение суммарного числа случаев ОЯ и НУП, вызвавших экономический ущерб (по периодам года) за 1991—2010 гг. (по А. А. Коршунову и М. З. Шаймарданову).

В таблице 2.12—2.15 приведены значения климатических, социальных и технических рисков от различных ОЯ для равнинной территории России, а также социальный и технический риски, рассчитанные для одного ОЯ и для максимально возможного числа опасных явлений [Панфутова и др., 2007].



Таблица 2.12

## Социальный риск от одного явления (чел.)

Субъект РФ	ветер	дождь	смерч	град	гол.-изм. отл.	метель	шквал	ливень	снег
Ярославская область	0	1 424	45	105	27 913	0	15 631	1	506 625
Костромская область	58 614	430	0	69	3 065	0	7 723	0	225 568
Кировская область	45 136	481	6	27	7 080	30 681	7 930	1	195 413
Ивановская область	72 612	1 633	55	0	0	0	9 568	2	272 225
Владимирская обл.	27 918	1 675	0	148	39 414	0	0	4	476 250
Нижегородская обл.	158 150	2 254	67	314	46 515	0	15 629	7	1 454 980
Марий Эл	80 017	437	30	0	6 276	0	5 272	1	254 800
Удмуртия	81 164	1 071	37	258	7 639	0	19 250	5	140 557
Чувашия	179 225	1 029	67	0	0	0	35 423	8	646 614
Татарстан	164 566	1 975	53	249	0	258 880	9 293	8	712 472
Рязанская область	64 115	1 346	0	85	15 086	39 223	12 672	1	416 370
Мордовия	43 248	605	49	76	6 784	35 277	17 096	0	177 740
Пензенская область	41 555	914	0	73	0	16 948	5 475	1	239 877
Ульяновская область	45 428	1 181	0	160	0	37 055	17 958	3	196 678
Самарская область	25 286	1 669	29	268	11 899	92 814	39 981	4	656 839
Саратовская область	99 022	858	37	233	51 776	40 386	30 445	5	714 515
Оренбургская область	59 308	489	8	118	6 977	72 565	20 514	3	320 961
Красноярский край	28 651	160	2	43	963	12 520	5 663	1	53 160
Томская область	20 986	126	0	44	3 950	0	2 212	1	66 628
Омская область	112 700	557	15	316	0	89 224	10 482	2	172 208
Новосибирская обл.	113 831	645	21	335	5 952	54 163	19 999	1	164 274
Кемеровская область	232 304	852	0	547	6 073	126 325	25 508	2	670 492
Алтайский край	124 501	472	0	278	9 251	112 244	25 902	1	255 324

## Социальный риск от максимально возможного числа явления (чел.)

Субъект РФ	ветер	дождь	смерч	град	гол.-изм.		шквал	ливень	снег
					отл.	метель			
Ярославская область	0	8 541	45	105	27 913	0	15 631	1	1 013 250
Костромская область	175 842	1 719	0	69	3 065	0	7 723	1	451 136
Кировская область	270 818	2 407	6	27	7 080	92 043	7 930	3	586 240
Ивановская область	72 612	8 167	55	0	0	0	9 568	2	544 450
Владимирская область	27 918	3 350	0	148	39 414	0	0	4	952 500
Нижегородская область	474 450	11 268	67	314	46 515	0	31 258	14	8 729 880
Марий Эл	80 017	1 310	60	0	6 276	0	5 272	1	509 600
Удмуртия	81 164	2 143	73	258	7 639	0	19 250	5	140 557
Чувашия	358 449	4 116	67	0	0	0	35 423	17	1 293 228
Татарстан	493 697	11 849	53	249	0	776 639	9 293	8	1 424 945
Рязанская область	64 115	5 386	0	255	15 086	39 223	25 344	1	832 739
Мордовия	43 248	2 422	49	153	6 784	35 277	34 191	0	355 480
Пензенская область	41 555	1 828	0	73	0	16 948	5 475	1	479 753
Ульяновская область	45 428	2 362	0	160	0	37 055	35 915	3	393 355
Самарская область	25 286	3 338	29	268	11 899	185 628	79 963	4	1 313 678
Саратовская область	297 067	5 149	37	233	414 212	242 314	60 889	19	2 858 060
Оренбургская область	177 924	1 957	8	118	6 977	217 695	41 027	8	1 283 845
Красноярский край	200 555	1 277	2	43	963	37 559	11 325	5	106 321
Томская область	83 943	504	0	44	3 950	0	4 424	1	199 884
Омская область	1 014 297	2 784	45	316	0	446 119	20 964	5	1 033 249
Новосибирская область	1 138 313	3 225	21	1 004	5 952	216 651	59 996	1	328 548
Кемеровская область	3 019 948	3 407	0	547	6 073	378 974	51 016	2	2 681 969
Алтайский край	3 112 528	2 359	0	833	37 003	785 706	77 707	1	510 647

Таблица 2.14

## Экономический риск от одного явления (тыс. руб. в ценах 2010 г.)

Субъект РФ	ветер	дождь	смерч	град	гол.-изм. отл	метель	шквал	ливень	снег
Ярославская область	0	740	8 477	19 867	14 515	0	8 128	265	263 445
Костромская область	30 479	224	0	13 088	1 594	0	4 016	87	117 295
Кировская область	23 471	250	1 075	5 039	3 682	31 908	4 124	269	101 615
Ивановская область	37 758	849	10 377	0	0	0	4 975	324	141 557
Владимирская область	14 517	871	0	28 053	81 981	0	0	748	247 650
Нижегородская область	82 238	1 172	12 713	59 592	72 563	0	8 127	1 324	756 590
Марий Эл	41 609	227	5 718	0	3 263	0	2 741	179	132 496
Удмуртия	42 205	557	6 959	48 933	3 972	0	10 010	870	73 090
Чувашия	93 197	535	12 806	0	0	0	18 420	1 601	336 239
Татарстан	85 574	1 027	10 079	47 246	0	269 235	4 832	1 575	370 486
Рязанская область	33 340	700	0	16 106	7 845	40 792	6 590	215	216 512
Мордовия	22 489	315	9 271	14 485	3 528	18 344	8 890	0	92 425
Пензенская область	21 608	475	0	13 918	0	17 626	2 847	186	124 736
Ульяновская область	23 623	614	0	30 432	0	19 269	9 338	609	102 272
Самарская область	13 149	868	5 420	50 816	6 188	193 053	20 790	678	341 556
Саратовская область	102 983	446	7 076	44 222	619 246	42 001	15 831	884	743 096
Оренбургская область	30 840	254	1 589	22 348	7 257	75 468	10 667	497	166 900
Красноярский край	14 898	83	439	8 225	1 502	13 020	2 945	247	27 643
Томская область	10 913	65	0	8 435	2 054	0	1 150	112	34 646
Омская область	58 604	290	2 842	59 952	0	92 793	5 451	444	89 548
Новосибирская область	118 385	335	4 067	63 545	3 095	56 329	10 399	254	85 423
Кемеровская область	120 798	443	0	103 744	3 158	131 378	13 264	346	348 656
Алтайский край	129 481	245	0	52 674	4 810	116 733	13 469	263	132 768

Таблица 2.15

## Экономический риск от максимально возможного числа явления (тыс. руб. в ценах 2010 г.)

Субъект РФ	ветер	дождь	смерч	град	гол.-изм. отл.	метель	шквал	ливень	снег
Ярославская область	0	4 442	8 477	19 867	14 515	0	8 128	265	526 890
Костромская область	91 438	894	0	13 088	1 594	0	4 016	175	234 591
Кировская область	140 825	1 252	1 075	5 039	3 682	95 724	4 124	538	304 845
Ивановская область	37 758	4 247	10 377	0	0	0	4 975	324	283 114
Владимирская область	14 517	1 742	0	28 053	81 981	0	0	748	495 300
Нижегородская область	246 714	5 859	12 713	59 592	72 563	0	16 254	2 649	4 539 538
Марий Эл	41 609	681	11 435	0	3 263	0	2 741	179	264 992
Удмуртия	422 052	1 114	13 919	48 933	3 972	0	10 010	870	73 090
Чувашия	186 394	2 140	12 806	0	0	0	18 420	3 202	672 479
Татарстан	256 722	6 161	10 079	47 246	0	807 705	4 832	1 575	740 971
Рязанская область	33 340	2 801	0	48 318	7 845	40 792	13 179	215	433 024
Мордовия	22 489	1 259	9 271	28 971	3 528	18 344	17 779	0	184 850
Пензенская область	21 608	951	0	13 918	0	17 626	2 847	186	249 472
Ульяновская область	23 623	1 228	0	30 432	0	19 269	18 676	609	204 545
Самарская область	13 149	1 736	5 420	50 816	6 188	386 107	41 581	678	683 112
Саратовская область	308 950	2 678	7 076	44 222	4 953 970	252 006	31 662	3 538	2 972 382
Оренбургская область	92 521	1 018	1 589	22 348	7 257	226 403	21 334	1 490	667 599
Красноярский край	104 289	664	439	8 225	1 502	39 061	5 889	987	55 287
Томская область	43 650	262	0	8 435	2 054	0	2 301	112	103 939
Омская область	527 434	1 448	8 527	59 952	0	463 964	10 902	888	537 289
Новосибирская область	1 183 846	1 677	4 067	190 634	3 095	225 318	31 198	254	170 845
Кемеровская область	1 570 373	1 772	0	103 744	3 158	394 133	26 528	346	1 394 624
Алтайский край	3 237 029	1 227	0	158 023	19 242	817 134	40 408	263	265 537

Графическое распределение рисков отдельных ОЯ по территории России иллюстрирует ряд карт (рис 2.17—2.19), значения рисков представлены на них как в монетарной форме, так и в долях единицы.

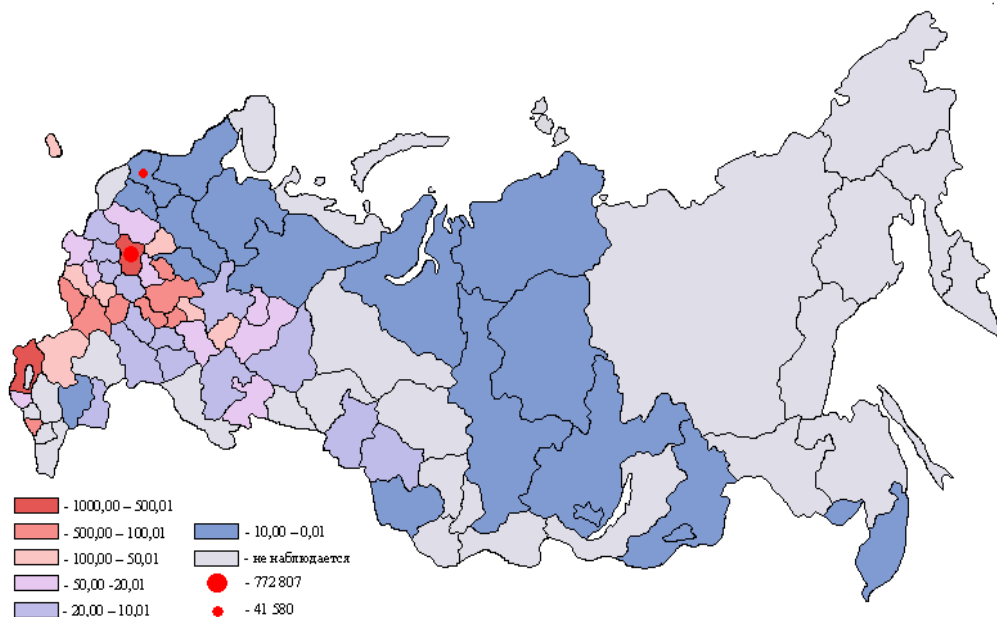


Рис. 2.17. Экономический риск от смерчей (тыс. руб. в ценах 2010 г.).

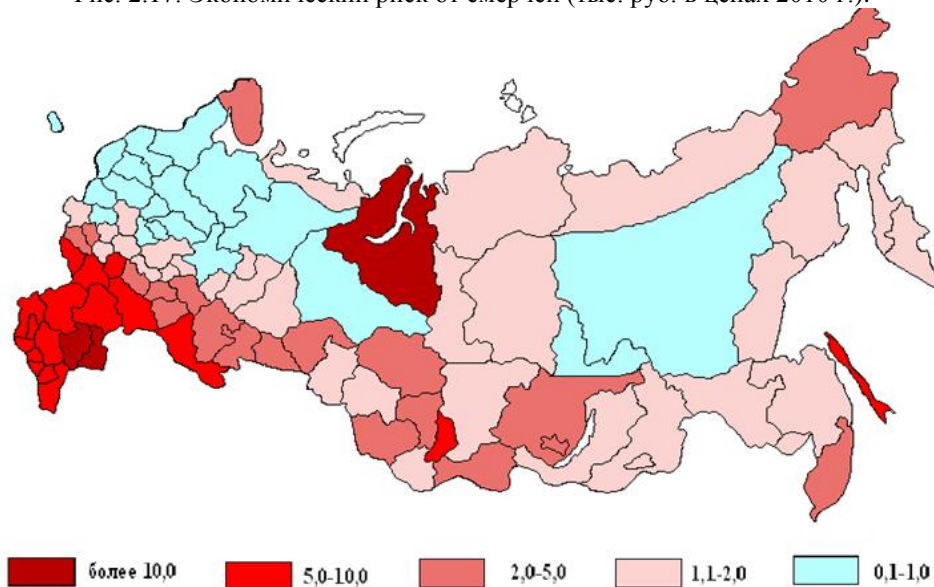


Рис. 2.18. Риски аварий и прекращения работ на буровых установках (%)

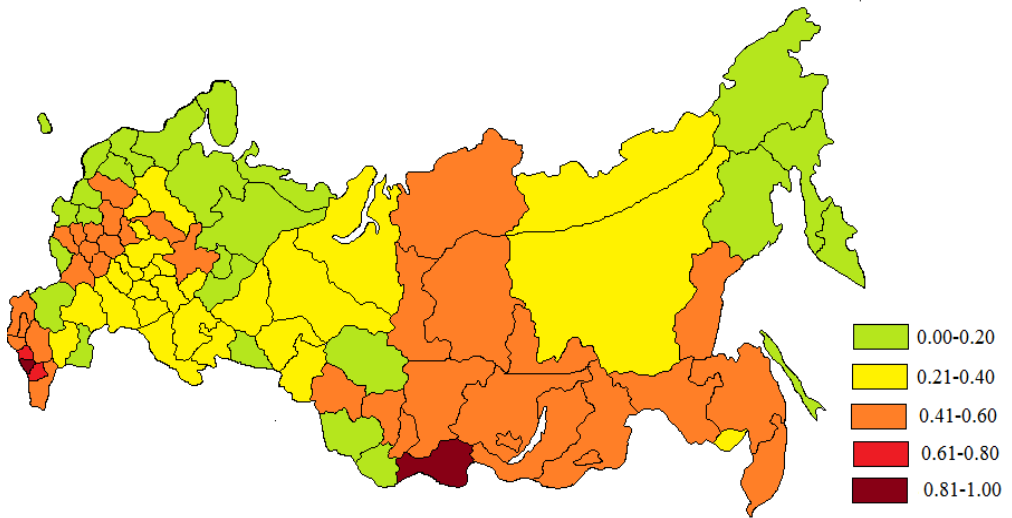


Рис. 2.19. Итоговые значения риска от опасных явлений для социальной сферы РФ (по методике расчета Индекса Всемирного Риска, см. п. 2.2.6).

Как видно на рис. 2.19, наибольшие значения социального риска, характерные для республик Северного Кавказа и для республики Тыва, объясняются сочетанием значительной повторяемости опасных явлений (на Северном Кавказе — наводнений и опасных ветров, в Тыве — лесных пожаров и наводнений) с высокой уязвимостью социальной сферы в этих республиках. Последний фактор обусловлен как высокой восприимчивостью населения к воздействию опасных явлений из-за низкого уровня жизни (особенно в республиках Ингушетия и Тыва), так и недостаточно эффективными действиями властей при реагировании на природные опасности, неразвитой сетью медицинских учреждений и т.д.

Наименьшие риски отмечаются в северных районах ЕТР (минимальные — в республиках Коми, Карелии, Ленинградской области и Санкт-Петербурге) и на северо-востоке РФ. На севере ЕТР малые значения социального риска обусловлены с одной стороны небольшой повторяемостью опасных явлений и с другой стороны — довольно малой уязвимостью населения к ним за счет относительно высоких социально-экономических показателей в этих субъектах. В северо-восточных регионах страны повторяемость опасных погодных явлений близка к средним значениям по стране. Однако уязвимость социальной сферы невелика из-за больших инвестиций в социальную инфраструктуру (особенно в Чукотском автономном округе) [Васильев и др., 2015].

Расчет риска ОЯ для отдельного объекта рассмотрим на примере оценки риска от смерча для Волгодонской АЭС (Ростовская область) [Галюк и др., 2008]. Вероятность возникновения смерчеопасного события рассчитывается в пределах территории площадью 1000 км вокруг АЭС. Для оценки риска используются данные о ВВП и числе людей, попадающих в область действия смерча.

Территория Ростовской области, на которой расположена Волгодонская АЭС, является одним из смерчеопасных районов. Именно смерчи представляют наибольшую опасность для данной АЭС. При вычислениях вероятности прохождения смерчей через Волгодонскую АЭС используются характеристики самых опасных смерчей, зафиксированных за весь период наблюдений с 1844 по 2005 гг. в смерчеопасном районе, в котором расположена АЭС, и близлежащих районах с аналогичными физико-географическими условиями.

Таким образом, результаты расчетов получены с максимально возможным запасом надежности, который должен гарантировать целостность защитных конструкций реактивного отделения, а также защиты конструкции спецкорпуса и других объектов хозяйственной зоны вокруг АЭС.

Введем следующие обозначения:

$S$  — суммарная площадь возможных разрушений (т.е. площадь общего числа смерчей различной интенсивности, возможных в рассматриваемом смерчеопасном районе);

$S_A$  — площадь смерчеопасного района;

$S_{AЭС}$  — площадь территории основного производства АЭС, принятая равной  $1 \text{ км}^2$ ;

$P_A$  — вероятность прохождения смерча через смерчеопасный район;

$P_{S_{AЭС}}$  — вероятность прохождения смерча через площадку АЭС ( $1 \text{ км}^2$ ).

В смерчеопасном районе, включающем Ростовскую область, наблюдались смерчи нулевого, первого и второго классов по шкале Фуджита [Борисенко, 1986].

Максимальная площадь смерча класса  $k$  ( $S_k$ ) определяется как произведение длины пути смерча  $L$ (км) на ширину пути смерча  $W$ (м) соответствующего класса интенсивности:

$$S_k = L_k \cdot W_k$$

Период постоянных наблюдений за смерчами ( $E$ ) составляет 26 лет. Площадь смерчей наблюдавшихся классов интенсивности рассчитывалась по формулам:

$$S_0 = L_0 \cdot W_0 = 3 \cdot 0,1 = 0,3 \text{ км}^2$$

$$S_1 = L_1 \cdot W_1 = 30 \cdot 0,3 = 9,0 \text{ км}^2$$

$$S_2 = L_2 \cdot W_2 = 80 \cdot 0,6 = 48,0 \text{ км}^2$$

Максимальная площадь смерча определяется по формуле:

$$S = \sum_0^2 (n_k \cdot a_k \cdot S_k), \quad (2.26)$$

где  $n_k$  — число случаев

$a$  — коэффициент, увеличивающий число смерчей за счет возможно незарегистрированных слабых смерчей:  $a = 3$  для  $k = 0$  и  $k = 1$  и  $a = 1$  для  $k = 2$ .

Характеристики смерчей для Ростовской области приведены в табл. 2.16

Таблица 2.16

**Характеристики смерчей различных классов (по Самолетовой Н.А.)**

$k$	$n_k$	$a$	$L_k, \text{ км}$	$W_k, \text{ км}$	$S_{\text{км}}^2$
0	1	3	3	0,1	0,9
1	3	3	30	0,3	81,0
2	3	1	80	0,6	144,0
3	7	—	—	—	225,9

Рассчитанная по формуле 2.26 общая (суммарная) площадь всех смерчей, наблюдавшихся за 26 лет,  $S$  составила 225,9 км<sup>2</sup>.

Вероятность смерча в смерчопасном районе определяется по формуле

$$P_A = S / T \cdot S_A$$

В рассматриваемом случае  $S_A = 225,9 / (26 \cdot 534 \cdot 10^3) = 1,6 \cdot 10^{-5}$

Вероятность прохождения смерча через площадку АЭС описывается формулой:

$$P_{S_{\text{АЭС}}} = (S_{\text{АЭС}} / S_A) P_A$$

и, таким образом,  $P_{S_{\text{АЭС}}} = 1 / (534 \cdot 10^3) \cdot 1,6 \cdot 10^{-5} = 3 \cdot 10^{-11}$

Вероятность прохождения смерча через площадь 1000 км<sup>2</sup>, внутри которой располагается АЭС, составляет:  $P_{\text{АЭС}} = 3 \cdot 10^{-8}$

Таким образом, вероятность угрозы, создаваемой смерчем, для Волгодонской АЭС оказалась меньше допустимых значений.

Для определения риска необходима дополнительная оценка ущерба. Социальный ущерб может быть определен как число людей, попавших в зону возможных разрушений, связанных с прохождением смерча. Число жителей в Ростовской области составляет  $4,4 \cdot 10^6$  человек. Площадь области равна  $10^5$  км<sup>2</sup>. На территорию, равную 225,9 км<sup>2</sup>, приходится около 10 000 жителей за 26 лет и 380 жителей за 1 год. Если считать, что люди, попавшие в смерч, погибли, а исчезнувшая доля ВВП, приходившаяся на каждого из них, составляет примерно 200 000 руб., то нижняя граница экономического ущерба в данном случае равна 76 млн.рублей. Таким образом, риск возможного ущерба не менее 76 млн. рублей составляет  $10^{-8}$ , а то время как допустимый риск принят равным  $10^{-4}$ . Понятно, что оценить полный экономический ущерб в случае разрушения АЭС практически невозможно.



Другим примером расчета рисков ОЯ являются оценки, выполненные для территории Архангельской области. В отличие от центральных и южных областей России Архангельская область и НАО характеризуются крайне низкой плотностью населения — 2,1 и 0,3 человека на 1 км<sup>2</sup> соответственно, что значительно снижает риск и размеры прямого ущерба [Грищенко, 2008].

Наиболее ощутимые экономические и социальные риски вероятны в немногочисленных промышленных центрах Архангельской области — Архангельске, Северодвинске, Котласе, Коряжме, Новодвинске, в которых, кроме того, сосредоточены опасные производства: машиностроительные предприятия и целлюлозно-бумажные комбинаты. Поэтому там вероятно будет более значительным вторичный ущерб, вызванный техногенной аварией, экологической катастрофой и т. д. Исходя из анализа повторяемости ОЯ, наблюдающихся в муниципальных образованиях, наибольшую угрозу для них представляют шквалы, сильный ветер, сильный мороз.

Риск возникновения ОЯ, рассчитанный в качестве примера для г. Коряжмы, в случае воздействия шквалистых усиления ветра составил  $6,4 \cdot 10^{-8}$ , что относится к пренебрежимым рискам (Быков и др., 2004). Экономический риск, создаваемый этим ОЯ, получается крайне малым ввиду того, что на данной территории сосредоточено относительно небольшое население — 42 600 человек.

Расчет риска, вызванного таким ОЯ, как сильный ветер, для территории, на которой производится добыча нефти (Южно-Хыльчужское месторождение), ее транспортировка до Варандейского отгрузочного терминала и затем перегрузка на танкеры, показывает, что величина риска возрастает и становится равной  $1,1 \cdot 10^{-4}$ , что уже соответствует границе «приемлемого риска» (Быков и др., 2004). Соответственно и экономический риск будет возрастать.

При анализе ущербов и рисков большое значение имеет повторяемость (вероятность) опасного явления. Как видно из анализа географического положения региона и его климата наиболее вероятные погодные угрозы сводятся для значимых отраслей экономики Архангельской области и НАО к трем-четырем видам ОЯ, которые, как правило, приурочены к конкретным сезонам (например, сильный мороз). При этом ущерб и риски, обусловленные этими ОЯ, могут быть больше, чем в случае ОЯ, повторяемость которых выше.

В частности, несмотря на то, что по повторяемости среди ОЯ заморозки на территории Архангельской области занимают лидирующее положение, они не причиняют заметного ущерба. Это связано с тем, что число людей, занятых в сельском хозяйстве области, и соответственно площади, занятые посевами, невелики. С начала 1990-х годов доля сельского хозяйства в общем объеме экономики области неуклонно снижается. В последние годы, в частности с 2004 по 2008 г, посевные площади уменьшились с 148 до 111 тыс. га, в том числе наиболее распространенной культуры — картофеля — с 15,4 до 11,3 тыс. га. В 2008 г. валовой региональный продукт в сельском хозяйстве составил всего 2,6 % валового продукта области [Архангельская область..., 2009].

### 3. Стратегия адаптации к изменениям и изменчивости климата для России

#### 3.1. Адаптация как управление климатическими рисками

Итеративный менеджмент климатических рисков является полезной основой для принятия решений по учету меняющегося климата в сложных социальных экономических ситуациях и обеспечения приемлемого уровня гидрометеорологической опасности и устойчивого развития экономики страны.

Основные этапы управления климатическими рисками включают в себя:

- тесное и непрерывное сотрудничество пользователя и поставщика климатической продукции;
- мониторинг и оценку климатических рисков;
- распространение информации о климатических рисках;
- адаптацию и развитие потенциала устойчивости экономики;

Адаптация определяется как приспособление природных и антропогенных систем к произошедшим или ожидаемым изменениям климата или к их последствиям и зависит от чувствительности, уязвимости и меняющейся во времени приспособляемости систем к этим изменениям.

Разработка адаптационных мер рассматривается как основной вид процесса управления риском. Фундаментом при этом служит система специализированной климатической информации и оценки последствий возможных изменений климата для различных секторов экономики.

Можно считать, что в настоящее время эти проблемы в первом приближении решены. На международном уровне они освещены в изданиях ВМО и МГЭИК; в России представлены в публикациях Росгидромета [Энциклопедия климатических ресурсов, 2005; Руководство..., 2008; Оценочный доклад ,2008; Второй Оценочный доклад..., 2014] и в ряде статей и методических рекомендаций.

Несмотря на то, что система специализированных климатических показателей (индексов влияния) нуждается в дальнейшем совершенствовании и более полной интеграции в нормативные и технические документы (СП и др.), в ней нашли отражение особенности влияния меняющегося климата на экономику. Данная система является отправным моментом для разработки методологии адаптации.

Настоятельную необходимость разработки стратегии адаптации экономики к ожидаемым климатическим изменениям обуславливают уже происходящие изменения, проявляющиеся, в частности, в увеличении повторяемости опасных метеорологических явлений (ОЯ) и медленных климатических изменениях.

Ряд стран уже разработали и приняли государственные стратегии адаптации, и поскольку проблема адаптации стала всеобщей, она нашла отражение и в международной деятельности. Исполнительный совет ВМО в 2010 г. утвердил в

качестве приоритетной тематическую область исследования «Климатическая информация для адаптации и учета факторов риска». В состав МГЭИК также введена специальная рабочая группа, которая занимается проблемами адаптации.

Адаптационная стратегия дополняет меры по смягчению изменения климата и одновременно является альтернативной им. Поэтому адаптационные меры должны согласовываться с мерами по смягчению изменения климата и наоборот. Н. Стерн в докладе «Экономика изменения климата» (2006) предостерег мировое сообщество от задержки с принятием жестких мер по сокращению выбросов парниковых газов, заметив, что чем дольше будет продолжаться эта задержка, тем дороже будут меры по адаптации, которые необходимо будет принимать в обязательном порядке.

Хотя целью адаптации является как уменьшение ущерба, так и использование благоприятных возможностей изменений климата, наиболее важные адаптационные мероприятия осуществляются в целях снижения неблагоприятных последствий изменения климата.

Особенность адаптации технических систем состоит в том, что большинство из них лишь чувствительны к изменениям климата, и только часть из них уязвима по отношению к этим изменениям в отличие от природных систем, исключительно уязвимых. Тем не менее, изменение климата в целом ряде случаев ведет к колоссальным ущербам в технической сфере. Например, вследствие учащения и увеличения гололедных и ветровых нагрузок на ЛЭП происходят аварии, которые могут вызвать энергетический коллапс на обширной территории. Еще одна особенность влияния изменения климата на антропогенные, в том числе, на технические системы является их высокий адаптационный потенциал. Экосистемы обладают адаптационной способностью не всегда и их потенциал обычно меньше.

### **3.2. Схемы разработки адаптационных мер**

Адаптация и оценка ее последствий является заключительным этапом процесса обеспечения секторов экономики климатической информацией в условиях меняющегося климата. Однако этот процесс носит циклический характер и может повторяться неоднократно, т.к. выполненная адаптация создает новые технические возможности. Всю цепочку исследований изменения и изменчивости климата и их влияния на технические системы, предшествующую принятию адаптационных мер и оценке последствий адаптации можно представить в виде следующей схемы (рис. 3.1). На рис. 3.1. представлен процесс принятия экономического решения об адаптации в заданном техническом секторе, регионе, области или городе.

По исходной базовой климатологической информации на первом этапе определяется необходимая специализированная информация для текущих

климатических условий из архивных данных, а на будущее — по результатам моделирования.

На втором этапе эта информация трансформируется в нормативную, ресурсную или показатели риска. Для расчета рисков предварительно оценивается чувствительность климатозависимого объекта, а также его уязвимость. Следует заметить, что риски, создаваемые изменениями климата, зависят от наличия природных, в том числе климатических, ресурсов, т. к. рисковать целесообразно при наличии таковых ресурсов. Полученная на втором этапе информация, включая адаптационный потенциал, позволяет судить о возможных последствиях изменения климата.

На третьем этапе решаются с экономической точки зрения две задачи по адаптации. Первая задача состоит в расчете потенциального ущерба воздействия угрозы и выборе оптимума между затратами на адаптацию и ликвидацию негативных последствий. Эта задача сравнительно легко решается, если есть данные об ущербах и выгодах. Учитывая, что эти данные ограничены, приходится прибегать к косвенным методам оценки. При этом не следует стремиться к полной адаптации, также как и к нулевому риску. На практике это обычно бывает экономически нецелесообразно или недостижимо. Вторая задача более сложная и долгосрочная: требуется рассчитать стоимость мер по адаптации или энергетические затраты на адаптацию при различных сценариях изменения климата. При этом нужно выбрать временной оптимум с учетом дисконтирования затрат (т.е. учесть будущие затраты и выгоды).

Четвертый, заключительный, этап включает расчет экономической эффективности инвестиций в проект.

Итерационный характер процессов управления климатическими рисками можно также представить в виде цикла (рис. 3.2.): от сбора и анализа информации следует двигаться к оценке современных и будущих рисков, затем наступает этап разработки адаптации и мониторинг ее результатов. На основе вновь полученных климатических и социально-экономических данных предполагается выход на следующий виток риск-менеджмента.

Понятно, что каждый этап предполагает тесное взаимодействие с потребителями климатической информации и лицами, принимающими решения.

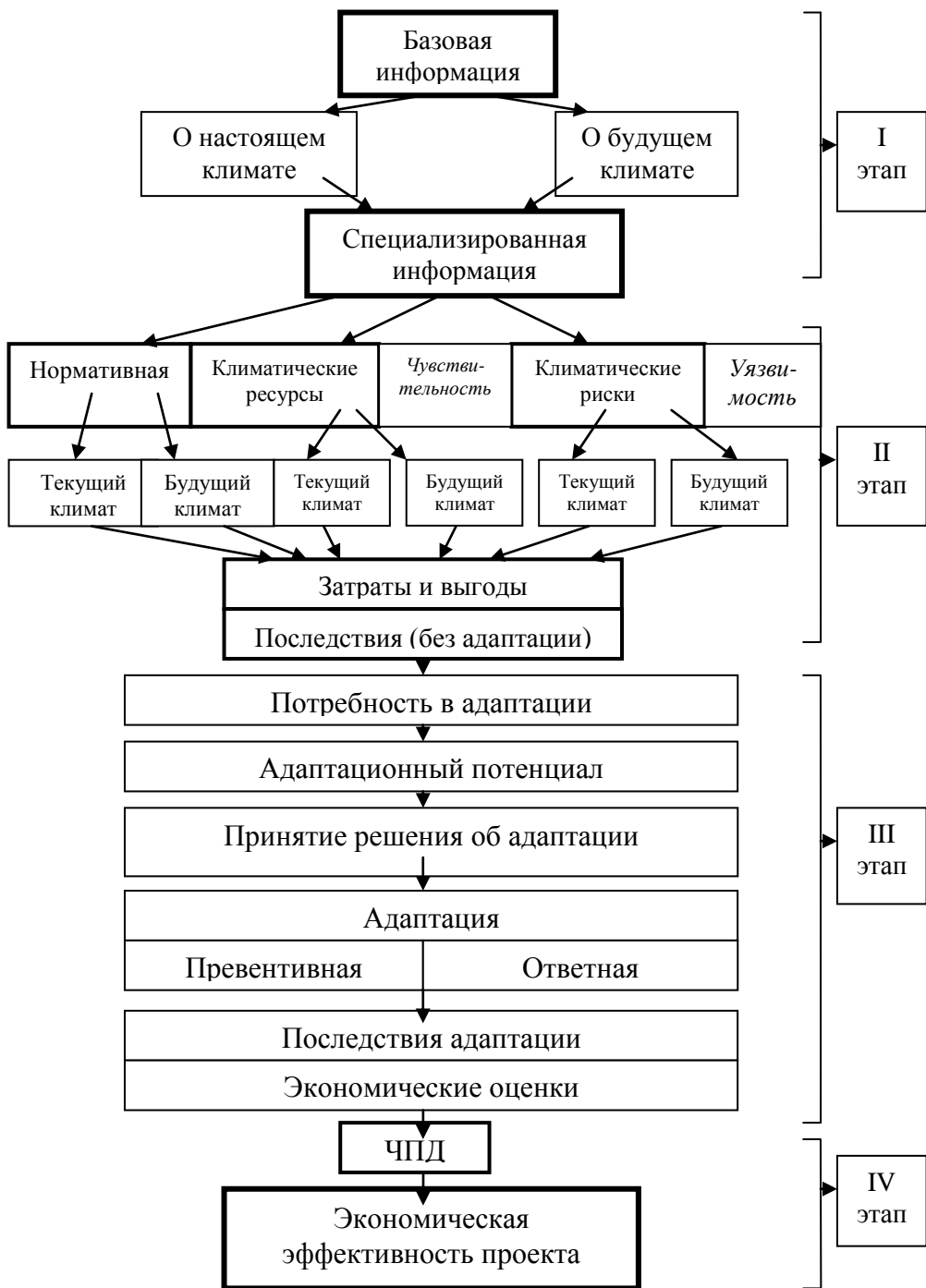


Рис. 3.1. Схема оценки экономических последствий изменения климата и принятия адаптационных мер для технической сферы.

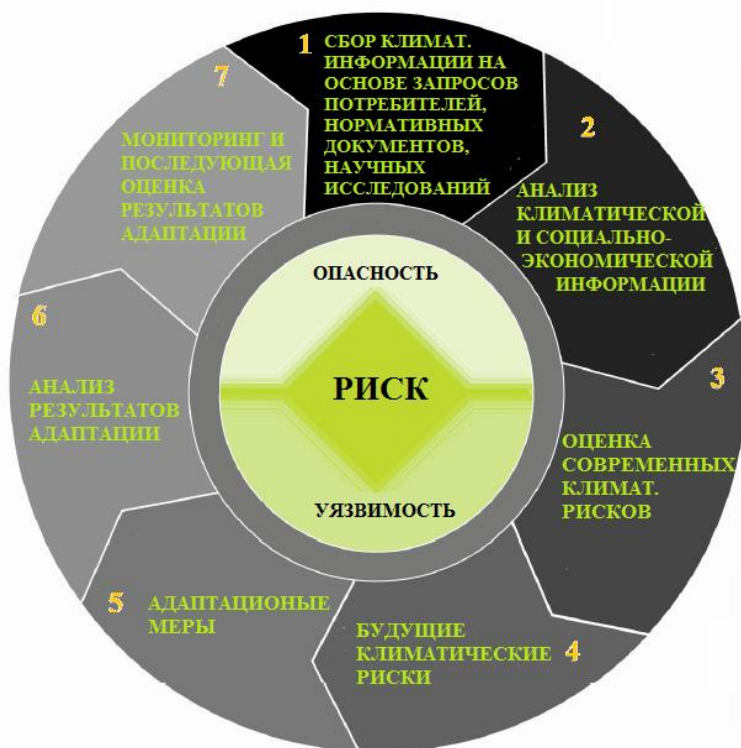


Рис. 3.2. Итеративный подход к управлению рисками и разработке адаптации.

### 3.3. Классификации адаптационных мероприятий

Управление климатическими рисками в виде адаптации к нестабильности климата является основной проблемой специализированного климатического обслуживания. Конечная цель ГРОКО — «Принять лучшую систему управления рисками климатической изменчивости и изменений на всех уровнях путем развития и внедрения научно-обоснованной климатической информации и прогнозирования как в планирование, так и в практику» по многом является и целью написания данной книги. Авторы попытались представить в ней разные подходы к решению данной проблемы.

Можно выделить следующие основные стратегии адаптации к современному и будущему климату:

1. Жесткие стратегии — развитие инфраструктуры, более устойчивой к климатическим воздействиям
2. Мягкие стратегии — совершенствование институтов и систем управления:

- подготовка учреждений по координации откликов на климатические вызовы и поддержке комплексных решений;

- учет достижений передовой науки в соответствующих областях для разработки современных технических решений

- соответствующее финансирование и страхование.

Система различных видов адаптационных мер, разработанная Всемирным Банком и принятая в зарубежной практике, представлена в табл. 3.1.

*Таблица 3.1*

**Виды адаптационных мер и их определения**

<b>Вид адаптации</b>	<b>Определение</b>
Превентивная	адаптация, которая имеет место до того, как проявятся последствия изменения климата.
Автономная	адаптация, которая не представляет собой сознательную ответную реакцию на климатические стимулы, а вызывается экологическими изменениями в естественных системах и изменениями в деятельности рынков.
Планируемая	адаптация, которая является результатом продуманного решения о действиях, основанного на осознании того факта, что климатические условия изменились и что необходимо предпринять определенные действия для возвращения к первоначальному или иному желаемому состоянию.
Личная	адаптация, которая инициируется и осуществляется отдельными людьми, домашними хозяйствами или бизнесом. Личная адаптация осуществляется, как правило, хозяйствующими субъектами.
Общественная	адаптация, которая инициируется и осуществляется правительственными органами на всех уровнях. Общественная адаптация направлена, как правило, на удовлетворение общественных нужд.
Ответная (реактивная)	адаптация, которая осуществляется после того, как были обнаружены последствия изменения климата.

Одна из принятых классификаций адаптации по наиболее крупным признакам представлена в таблице 3.2.

*Таблица 3.2*

**Классификация адаптационных мер по наиболее крупным признакам**

<b>Классификационный признак</b>	<b>Примечания</b>
Технологический	Инновации
Поведенческий	Изменение принятых правил
Управленческий	Изменение методологии

Классификация адаптационных мер по секторальным признакам представлена в таблице 3.3.

## Классификация адаптационных мер по секторальным признакам

Меры адаптации	Примечания
Секторальные	Разрабатываются отдельно для каждой климатозависимой отрасли экономики данного региона.
Мульти- секторальные (многофакторные)	Касаются управления природными ресурсами, например, управление водными ресурсами или управление бассейном реки для устойчивого развития территории в целом. Например, комплексное управление прибрежной зоной предполагает учет как геоморфологических (конфигурация береговой линии, состав горных пород), так и климатических (усиление штормовой деятельности, сгонно-нагонные явления, постепенный рост уровня моря, таяние вечной мерзлоты) характеристик прибрежной территории.
Крос- секторальные	<p>Охватывают много секторов и включают следующие аспекты:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— повышение образовательного и профессионального уровня специалистов различных отраслей;</li> <li>— улучшение осведомленности общества о проблемах изменения климата и адаптации к нему,</li> <li>— укрепление финансового сектора, который может поощрить и поддержать адаптацию к климатическим изменениям как государственного, так и частного сектора посредством учреждения финансовых стимулов или субсидий в конкретных регионах,</li> <li>— меры по борьбе с последствиями опасных явлений, включающие развитие систем раннего оповещения; разработку планов действия в чрезвычайной ситуации, меры по оперативному восстановлению инфраструктуры, развитие системы страхования погодно-климатических рисков,</li> <li>— развитие региональных и локальных систем гидрометеорологических наблюдений и системы сбора, передачи, обработки и распространения данных,</li> <li>— научно-исследовательские и технологические разработки, позволяющие оценить уязвимость конкретных объектов, определить экономические затраты и выгоды адаптационных действий, разработать технологии стабилизации мерзлых грунтов и т. д.</li> </ul>

Подробная специализированная классификация видов адаптации разработана авторами в ГГО. Адаптационные мероприятия классифицируются по принципу разделения на информационные и технические меры (рис. 3.3.).



Информационные меры адаптации, включенные в данную схему, связаны с гидрометеорологическими факторами.

Особое место среди информационных мер занимает страхование. Различные системы страхования являются эффективной мерой передачи и распределения риска, т. к. значительно облегчают процессы восстановления объектов экономики и социальной сферы на территории, подвергшейся воздействию опасного гидрометеорологического явления. Во многих странах мира интенсивно развивается страхование погодных рисков в сельском хозяйстве, в туристическом и жилищном секторах, в здравоохранении и т. д. Однако в России система страхования рисков такого типа не развита из-за недостаточной материальной базы страховых компаний и значительной неопределенности в оценках погодно-климатических рисков. В связи с этим вопросы объективного анализа рисков приобретают особое значение, т. к. кроме очевидного экономического эффекта оценка погодно-климатического риска, выполненная для страховых компаний, часто служит для привлечения внимания к потенциальной опасности, помогает повысить осведомленность общества и дает новые возможности для управления рисками. Следует, однако, подчеркнуть, что страхование (включая микрострахование) не является универсальным средством для всех типов потерь и ущерба в результате климатических изменений. Варианты страхования могут поддерживать адаптацию и устойчивость к экстремальным погодным условиям, но, как правило, не подходят для многих медленно протекающих климатических изменений.

Среди технических адаптационных мер необходимо обращать внимание на эксплуатационные, например:

- осмотр ЛЭП, сбивание и плавка льда,
- дополнительное охлаждение генераторов при высокой температуре воздуха, и перевод части оборудования на ремонт,
- более широкое использование грозозащитной аппаратуры и т. п.

Несмотря на локальный характер этих мероприятий, экономический эффект от их применения может превышать выгоды от более масштабных мер.

При разработке адаптационных мер важным аспектом является понимание пределов адаптации. Эти пределы могут быть

(а) физические или экологические — невозможность предотвращения отрицательных воздействий техническими средствами или институциональными изменениями;

(б) технические, политические или социальные — например, трудность найти подходящие места для новых водоемов или невозможность уменьшения водопотребления;

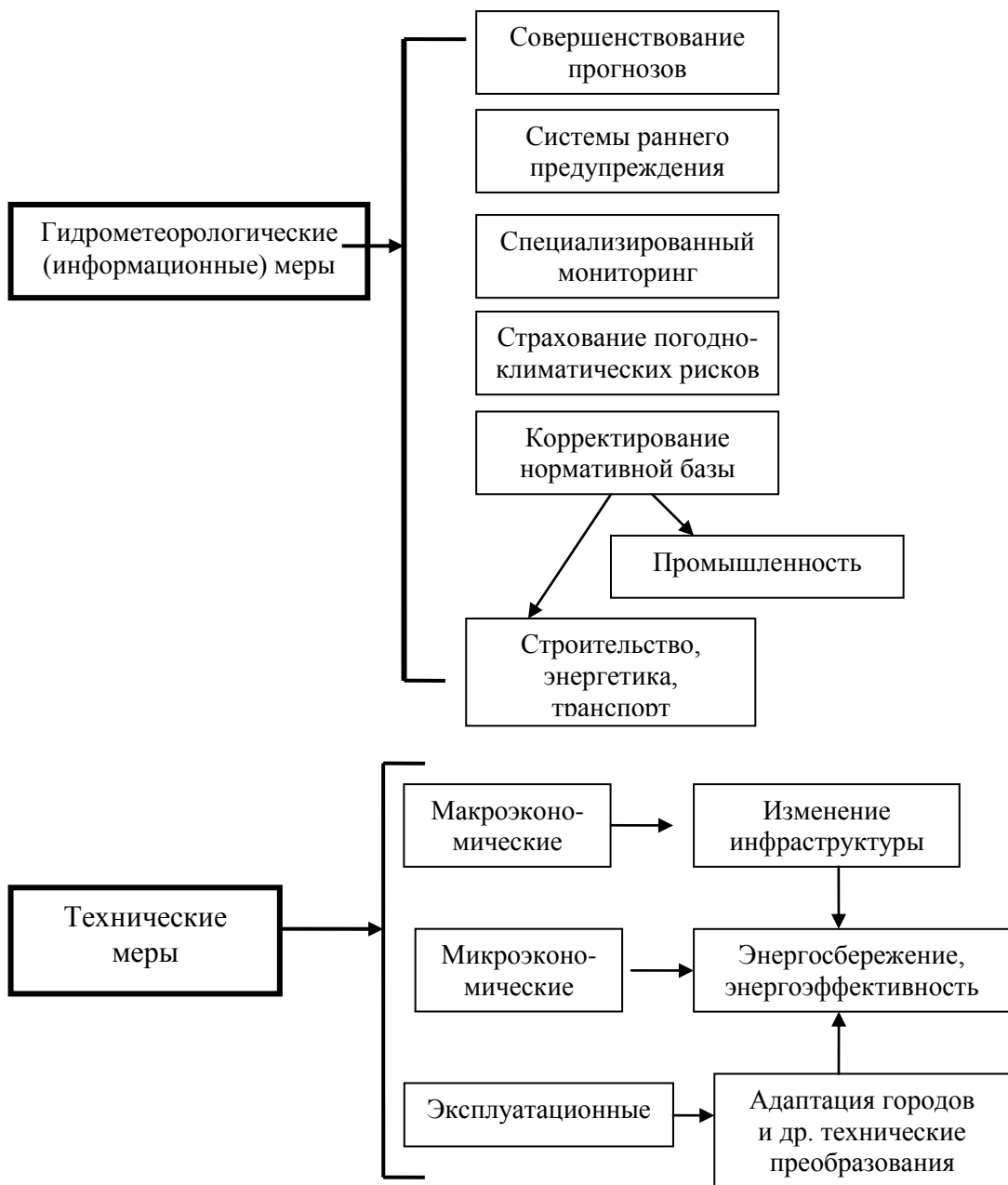


Рис. 3.3. Классификация адаптационных мер, разработанная в ГГО.

(с) экономические — стратегия адаптации может быть слишком дорогостоящей по сравнению с полученной выгодой ее внедрения;

(d) культурные и институциональные — например, недооценка роли управления водными ресурсами, отсутствие координации между прибрежными странами, неопределенности будущего климата, национальные традиции водопользования;

(е) когнитивные и информационные — недопонимание проблемы изменения климата или ее недооценка по сравнению с другими проблемами; плохой доступ к современным методологиям противостояния изменению климата.

Адаптация к неопределенности будущего климата включает следующие основные направления:

- разработка адаптационных процедур, которые не зависят от абсолютно точных проекций изменения климата, беспроигрышная адаптация;
- успешная адаптация к нынешней изменчивости климата как предпосылка адаптации к будущему климату;
- адаптационный менеджмент, или использование методов управления, относительно устойчивых к неопределенности. Например, уменьшение подверженности к наводнениям предпочтительнее традиционных мер физической защиты от наводнений (пошаговая адаптация с помощью метода реальных опционов);
- интегрированное управление природными ресурсами.

При составлении планов адаптации целесообразно концентрировать усилия, прежде всего, на «беспроигрышных» или малозатратных мерах по уменьшению подверженности и уязвимости объектов инфраструктуры, включая обновление нормативных документов, мониторинг и контроль их выполнения, управление остаточным риском, например, системы раннего предупреждения, передача риска путем страхования и т.д.

Планы адаптации, составленные на разных уровнях (отраслевом, ведомственном, региональном и территориальном), должны быть взаимно согласованы. Адаптационные действия должны приниматься на самом подходящем для конкретных обстоятельств уровне и быть взаимодополняющими (например, обновление нормативных документов должно происходить на отраслевом уровне, а уменьшение уязвимости наиболее подверженных климатическому воздействию объектов и районов — на региональном и территориальном уровнях).

### **3.4. Методы экономической оценки адаптационных мероприятий**

Как следует из схемы 3.1, перед проведением адаптационных мероприятий необходимо оценить потребность в них. С этой целью определяется диапазон возможных воздействий изменения и изменчивости климата на основании

информации о рисках. Риски выражаются в стоимостных или энергетических единицах. Исследования влияния климатических факторов на технические конструкции, требующего адаптационных мер, ведутся в двух основных направлениях. Первое направление, при котором внимание концентрируется на исследовании всех серьезных повреждений в технической сфере вследствие изменения или изменчивости климата, определяется как **«снизу вверх» (bottom-up)**. Анализ этого типа данных может выявить специализированные климатические параметры, выражающие влияние на конкретный объект, например, повреждение здания вследствие «косых» дождей указывает путь для дальнейшего проектирования зданий в данных климатических условиях. Такой подход иногда называют принципом частичного равновесия. Второе направление — **«сверху вниз» (top-down)** — концентрирует внимание на анализе механизмов климатического воздействия, которые приводят к массовым авариям.

**В первом случае** исследуется влияние на конкретный объект или конкретную область. Этот подход основан на технической информации о последствиях для данного географического района. **Во втором случае** рассматриваются все отрасли одновременно и то, как последствия в одной отрасли влияют на другие отрасли и на всю экономику в целом. Он дает возможность использовать результаты наблюдений при макроэкономическом моделировании.

На первый взгляд подход «сверху вниз» кажется более важным и общим для теоретических построений влияния меняющегося климата. Но значительная неопределенность многих параметров климата, как показывают исследования, может привести к существенным ошибкам в конечных результатах.

Подход «снизу вверх» несмотря на большую эмпиричность и менее широкую применимость в настоящее время часто обеспечивает более надежные результаты. В долгосрочной перспективе основной целью является разработка методологии, которая позволит оценивать влияние изменений климата на группы типовых зданий, конструкций или целую отрасль.

Кроме того, существует еще **третий подход**, называемый **методом комплексной оценки**, который сочетает в себе первый и второй подходы и применяет их для оценки экономических последствий сначала на «восходящих» моделях, а затем на основе анализа более обширных воздействий в определенных отраслях, с помощью нисходящих моделей. Комплексные модели имитируют причинно-следственные связи внутри отраслей и между ними — как взаимосвязанные восходящие физические и социально-экономические системы. Комплексный подход позволяет более точно оценить виды планируемой адаптации.

Основные экономические методы поддержки принятия решений об адаптации представлены в таблице 3.4.

## Применение различных методов для принятия решений с целью оценки рисков и выбора адаптационных мер

Метод	Возможности метода	Требования	Применение
Анализ затрат и выгод	Выполняются строгие оценки на основе сравнения затрат и выгод.	Необходима монетарная оценка всех выгод, что создает сложности в представлении нематериальных воздействий, таких как цена жизни человека, экосистем и т. д.	Проекты с большой степенью надежности и с четко определенными выгодами от их реализации (например, предотвращение риска наводнений).
Анализ эффективности затрат	Задается фиксированный уровень риска, сравниваются только затраты. Нематериальные выгоды (в частности цена человеческой жизни) не оцениваются в денежном выражении	Заданный уровень риска должен быть обоснован.	Мероприятия с важными нематериальными последствиями, которые не должны быть превышены (потери жизней и т.д.).
Анализ по множеству критериев	Рассматривается множество объектов как материальной, так и нематериальной сферы. Оценки производятся в условных единицах.	Требуются субъективные оценки, которые затрудняют сравнение результатов. Однако использование балльной системы оценок помогает решить эту проблему.	Многочисленные и систематические мероприятия, привлекающие различные институты (например, инвестирование в образование, охрану природы и т.д.).
Робастные подходы	Анализ неопределенности и устойчивости критериев.	Требуются сложные технические и компьютерные навыки.	Проекты с большой неопределенностью и длинными временными рамками.

При выборе адаптационных мер помимо указанных методов экономических оценок следует определять **эффективность инвестиций в адаптационные мероприятия**, а также эффективность конечного результата с учетом адаптации. Конкретный проект адаптационного мероприятия принимается в случае, если показана окупаемость инвестиций. Известен ряд методов оценки эффективности инвестиционных проектов. Наиболее часто зарубежными менеджерами используются следующие методы [Климатические факторы...2010]:

- **метод коэффициентов (индексов) чистой существующей стоимости** — отношение чистой существующей стоимости к общим начальным инвестициям; чистая существующая стоимость определяется как разность между дисконтированной стоимостью доходов за расчетный период и инвестициями на проведение адаптационной меры, наибольший индекс указывает на наибольшую прибыльность;
- **метод средней нормы прибыльности инвестиций** — отношение среднегодовой прибыли к средней величине инвестиций в проект; данный показатель сопоставляется с нормой прибыли;
- **метод срока возврата инвестиций**, основан на оценке срока окупаемости, т. е. числа лет, которые необходимы для возмещения стартовых инвестиционных расходов при получении равных годовых доходов или сбережений.

Несмотря на то, что все три метода имеют недостатки, их попарное применение позволяет составить достаточно надежную оценку инвестиций в адаптационный проект. Экономическая эффективность окончательного результата оценивается по методу, описанному в работе [Хандожко, 2005].

### **3.5. Методы учета неопределенности при принятии адаптационных решений**

Адаптационная стратегия, как уже отмечалось выше, осложняется факторами неопределенности. Одним из способов учета неопределенности климатического прогноза, прогнозов развития экономики, финансовой политики, изменения ВВП и т.д. является оценка приспособляемости объекта к последствиям изменения климата.

Учет приспособляемости обеспечивает метод **анализа реальных опционов** (один из вариантов анализа затрат и выгод), в частности построение **дерева решений**, отражающего влияние адаптационной меры на доходность инвестиций при различных сценариях изменения климата и последствиях этих изменений при проведении адаптационных мер и без них. [Accounting for the Effects of Climate Change, 2009].

Принцип использования данной методики можно схематично показать на следующем примере (рис. 3.4) [Акентьева и др., 2011].

Допустим, что известна некая адаптационная мера, например, построение дамбы, для защиты прибрежной территории от наводнений, связанных с возможным повышением уровня моря. Альтернативой этому мероприятию может быть строительство не столь мощной защитной стены меньшей стоимостью, которая может быть в случае необходимости относительно просто модернизирована в будущем. На основе данной информации строится дерево решений, где все стоимости представлены в относительных единицах (о.е.). Пусть стоимость дамбы равна 75 о.е. Она создает выгоды в размере 100 единиц, защищая от наводнений в течение 50 лет. Стена, которая может быть изменена в будущем, стоит 50 единиц, еще 50 единиц стоят мероприятия по ее модернизации. В результате защиты от наводнений будет получен экономический эффект 200 единиц. Предположим, что существует равная вероятность сильных или слабых воздействий, связанных с изменением климата ( $P = 0,5$ ), и, следовательно, равная вероятность значительного подъема уровня моря или его отсутствия. Тогда определение ЧПД (чистого приведенного дохода) может быть проведено по следующей схеме (рис. 3.4).

Оценка экономического эффекта от инвестирования в стандартную стену получается в результате расчета ЧПД для каждого из возможных вариантов климатических изменений. При этом итоговый ЧПД  $= 0,5 \cdot (5 - 75) = -35$ , это показывает, что инвестирование в строительство дамбы проводить не следует.

В случае инвестирования в стену, которая может быть модернизирована в случае необходимости в будущем, оценка ЧПД проводится по следующей схеме.

Если воздействие климатических изменений будет достаточно велико чтобы оправдать модернизацию, выигрыш от инвестиций составит 70 о.е. Если же воздействия незначительны, модернизация проводиться не будет. Ожидаемая величина ЧПД для варианта с возможной модернизацией в будущем составляет  $0,5 \cdot (70 - 50) = +10$ . Таким образом, возможность модернизации в будущем отражается в более высоком ЧПД и определяет принятие решений.

Еще один метод учета неопределенности разработан в ГГО [Галюк и др., 2011]. Он основан на **расчете риска с привлечением теории нечетких множеств**. Данная теория применяется в случаях, когда по мере роста сложности системы уменьшается возможность делать точные и в то же время значащие утверждения относительно ее поведения. Именно такой можно считать климатическую систему, ее изменения и их последствия, включая адаптацию. Данный метод позволяет определить, насколько прогнозируемые значения метеорологических параметров вписываются в нечеткое множество ретроспективных данных о климате (см. Приложение 3)

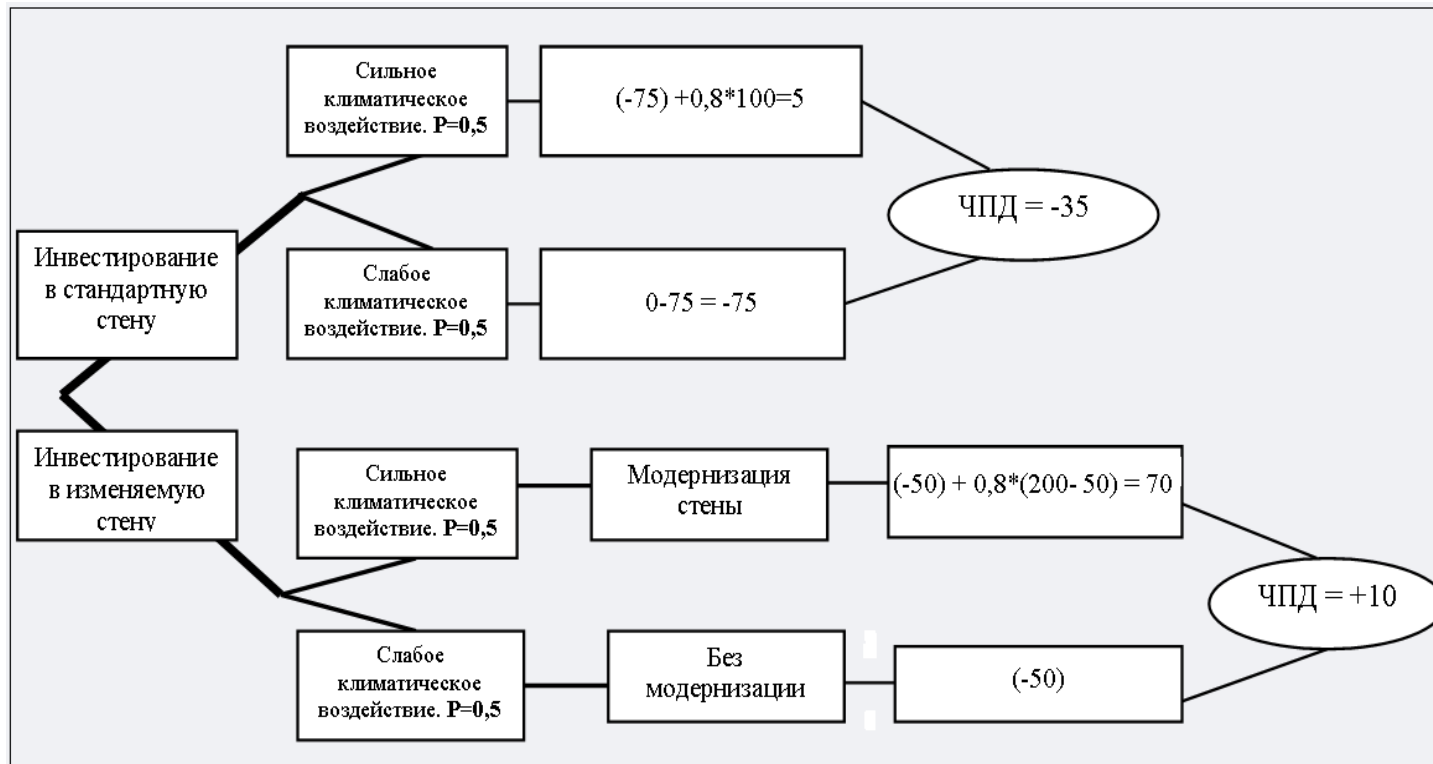


Рис. 3.4. Дерево решений



### **3.6. Обзор потребностей технических секторов экономики России в адаптации.**

#### **Примеры возможных адаптационных мер**

Одним из важных направлений государственной политики России в области экономики являются оценки последствий изменения климата, требующие принятия адаптационных мер. Решение о необходимости адаптации принимаются в результате анализа настоящего и ожидаемого развития технических отраслей экономики (энергетики, строительства, транспорта, ЖКХ и др.). Развитие данных секторов определяют принятые в настоящее время стратегии до 2020 г., а для некоторых из отраслей — до 2030 г.

Например, в соответствии с принятой стратегией развития энергетики в РФ важнейшие стратегические ориентиры — энергобезопасность, энергетическая эффективность экономики, экономическая (бюджетная) эффективность энергетики, экологическая безопасность. Вытекающие из стратегических установок главные вектора перспективного развития ТЭК это, прежде всего

- изменение структуры и масштабов производства,
- переход на путь инновационного развития,
- интеграция в мировую энергетическую систему.

Реально осуществляются такие действия как:

- развитие инфраструктуры (до 2020 г. установленная мощность атомных станций вырастет вдвое, угольных — более чем в два раза, ГЭС — на 45 %, газовой генерации — более чем на 40 %),
- последовательно реализуются программы газификации российских регионов,
- на российском нефтегазовом рынке уже работают международные газовые компании.

На макромасштабном уровне адаптация в энергетике должна заключаться, прежде всего, в ее децентрализации и диверсификации.

Одним из путей осуществления этих адаптационных направлений является развитие возобновляемой энергетики, которая получила в современных условиях новый импульс [Климатические факторы..., 2011]. Большое разнообразие возобновляемых источников энергии позволяет выбрать такие, которые можно использовать для энергоснабжения удаленных регионов, а также решить вопрос об автономном энергоснабжении компрессорных станций, уменьшив риск перерывов при авариях на ЛЭП, и повысить энергоэффективность за счет выбора наиболее экономичных и подходящих к определенным климатическим условиям ветроэнергетических установок (ВЭУ). Например, для обеспечения теплом загородного строительства на территории России (за исключением области вечной мерзлоты) одним из перспективных направлений является использование

тепловых насосов. В целях обеспечения устойчивого тепло- и электроснабжения населения и производства в зонах децентрализованного и неустойчивого централизованного электроснабжения рекомендуется создавать независимые производители энергии на базе ВЭУ.

Технической адаптацией такого же масштаба можно считать модернизацию трубопроводного транспорта на всем пространстве России, а также развитие энергосервисных компаний (ЭСКО), которые обеспечивают учет, контроль и оптимизацию энергопотребления. В результате деятельности ЭСКО обеспечивается ресурсоэффективный технологический уровень государства. Это очень важное обстоятельство, т. к. в настоящее время энергоемкость ВВП в России в 2—4 раза превышает показатели западных стран.

Гидрометеорологическая (информационная) адаптация состоит в усовершенствовании нормативных документов в области энергетики, таких как Правила устройства электроустановок (ПУЭ), Правила и нормы по атомной энергетике (ПНАЭ) и т. д. Эти документы составлены по методическим до 1980 г. и нуждаются в обновлении и усовершенствовании.

Примерами технических мер адаптации меньшего масштаба могут служить предложения:

- организовать наблюдения за динамикой криогенной зоны,
- пересмотреть в сторону уменьшения расчетные сроки эксплуатации подводных переходов трубопроводов, построенных до 1990 г,
- для южной ветви магистральных трубопроводов, проектируемых по югу Якутии, Амурской области и Хабаровскому краю, где опасности в основном связаны с возможными просадками грунта, найти инженерные решения для закрепления грунтов,
- в Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском автономных округах провести обследование состояния опор для магистральных трубопроводов с целью стабилизации опорных конструкций и т. п.

Стратегия развития строительства в качестве одного из наиболее важных направлений предписывает совершенствование нормативной базы, включая информацию о меняющемся климате. В настоящее время разработана электронная система «Реформа технического регулирования».

Актуализация СНиП «Строительная климатология» и «Нагрузки и воздействия» предусматривает учет изменения климата. Кроме этой основной адаптационной меры должны быть разработаны и другие, менее масштабные меры (разработка новой методологии расчета климатической информации для создания менее энергоемких систем кондиционирования и вентиляции, корректировка генпланов южных городов в направлении увеличения площади зеленых насаждений и водных объектов и т. д.).

В качестве основных адаптационных мер для транспорта в соответствии со стратегией его развития рекомендуется:

- модернизация дорог с учетом зимней скользкости, необходимости улучшенной системы дренажа (водоотведения) для предупреждения размыва насыпи,
- создание комфортных условий для водителей и инструктаж их об особенностях движения в сложных условиях погоды и т. д.

Дальнейшему совершенствованию адаптационных мер способствует развитие экономики в целом, при этом появляются возможности для планирования адаптационных мероприятий на более высоком техническом и организационном уровне.

Перед климатологическим сообществом стоят задачи уточнения механизмов физического воздействия изменения климата на конкретные объекты и процессы в технической сфере и разработки системы климатических параметров, подводящих потребителей к принятию решений об адаптации. Началом разработки современной адаптационной стратегии может явиться фокусирование на так называемой беспроектной адаптации, экономически эффективной при любых возможных изменениях климата.

В настоящее время выбор правильной стратегии адаптационной политики является одним из определяющих фактором экономического роста страны и ее устойчивого развития (включая увеличение ВВП).

Рассмотрим примеры разработанных адаптационных мер в различных регионах для принятия стратегических решений.

### **Примеры принятия решений об адаптации**

Ключевым направлением научных исследований, реализующих ГРОКО в области управления климатическими рисками, является разработка практических методов для интеграции знаний о климате в процессы принятия решений.

Ниже приводятся примеры принятия экономически обоснованных адаптационных решений:

- адаптационные меры для предотвращения последствий ОЯ в технической сфере, представленные в данном издании,
- адаптационные меры для Восточной Европы и Центральной Азии, разработанные Всемирным Банком,
- дифференцированное по районам использование различных видов возобновляемой энергии для Дальневосточного региона России,
- модернизация ЛЭП на территории Северо-Западного экономического округа, ввиду чрезвычайного риска воздействия ветра на ЛЭП в Калининградской, Мурманской и Ленинградской областях.

В этих примерах содержатся методы принятия экономически обоснованных решений, которые рекомендуется использовать и в других работах по адаптации.

В общем случае при экономическом обосновании принятия адаптационных мер могут привлекаться следующие экономические методы:

- оценка эффективности использования климатологических параметров для обоснования инвестиций в проект,
- прямые методы оценки целесообразности инвестиций:
  - оценка срока окупаемости (возврата) инвестиций — РВ;
  - метод чистой существующей стоимости — NPV;
  - метод внутренней нормы доходности — JRR.
- методы теории принятия решений для анализа инвестиционных проектов: метод главного критерия, метод линейной свертки, метод максиминной свертки.

В Приложениях 5 и 6 приведены:

- комплексы адаптационных мер для прибрежных районов (побережья северных и южных морей России);
- комплексы адаптационных мер, предложенных администрации Ростовской области исходя из социально-экономических особенностей данной территории.

### **Обоснование инвестиций в технические системы, подверженные влиянию климата [по Хандожко, 1993]**

Климатические условия — важнейший фактор, определяющий функционирование технических систем. В каждом техническом проекте начальным этапом процесса является обоснование инвестиций в данный проект. Климатологи должны при этом обосновывать часть инвестиций, связанных с учетом климатической информации.

Для обоснования полезности использования климатологических данных разработан ряд методов. Выбор одного из них зависит от наличия специализированной климатологической информации и экономических данных

Метод оценки годового экономического эффекта от использования режимной метеорологической (климатологической) информации в комбинации с методом NPV.

Основная формула данного метода имеет вид:

$$\mathcal{E} = \beta [N \cdot (P_1 - P_2) - E_{\text{ни}} \cdot Z_{\text{пп}}] \quad (3.1),$$

где  $\beta$  — доля Росгидромета от общего эффекта,

$N$  — объем используемой информации,

$P_1$  и  $P_2$  — приведенные затраты потребителя в базовом и новом вариантах,

$Z_{\text{пп}}$  — пред-производственные затраты в Росгидромете,

$E_{\text{ни}}$  — нормативный коэффициент эффективности затрат на получение климатической информации, где

$$E_{\text{ни}} = E_{\text{н}} + 1/T_{\text{гм}} \quad (3.2);$$

$$E_n = 1/T_{ок} \quad (3.3.);$$

$$E_{ни} = 1/T_{ок} + 1/T_{гм} \quad (3.4)$$

$E_n$  — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;  
 $T_{гм}$  — период действия гидрометеорологической информации до ее обновления (в данном случае за 1 год);  
 $T_{ок}$  — период окупаемости инвестиций.

$$\Pi_1 = C_1 + E_n K_1, \quad \Pi_2 = C_2 + E_n K_2 \quad (3.5)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — себестоимости;

$K_1$  и  $K_2$  — капитальные (единовременные) затраты.

В окончательном варианте формула приобретает вид:

$$\Xi = \beta \{N [(C_1 - C_2) + E_n(K_1 - K_2)] - E_{ни} Z_{пп}\} \quad (3.6)$$

*Пример:*

На ЛЭП возросла гололедная нагрузка из-за увеличения толщины стенки гололеда.

При проектировании ЛЭП использованы нормативные данные о гололеде, содержащиеся в СНиП 2.01.07-85. В СП 20.13330.2011 содержатся новые значения стенки гололеда.

Исходя из устаревших данных СНиП, приведенные затраты в базовом варианте будут

$$\Pi_1 = C_1 + E_n K_1.$$

Текущие затраты включают возможные разрушения опор электросети и потери смежников при непоступлении энергии при авариях.

Потери при использовании новых данных СП

$\Pi_2 = C_2 + E_n K_2$  будут включать  $K_2 > K_1$  и  $C_2 \ll C_1$ .

Положим (по Л.А.Хандошко), что:

– капитальные расходы на восстановление одной опоры — 30 тыс. руб.;

– дополнительные затраты на укрепления каждой повреждающейся опоры 3 тыс. руб.

– аварийные расходы и убытки смежника

$$C_{ср} = C_2 - C_1 = 500 \text{ тыс. руб.}$$

– всего надо поставить 10 опор

Предпроектные затраты составляют 200 тыс. руб. по формуле (4):

$$E_{ни} = 1/6,7 + 1/1 \quad (4)$$

(т.к. экономическая эффективность рассчитывается за один год)

Тогда по формуле (3.6):

$$\Xi = 0,3 \{10 [0,15(30-3) + 500] - 0,15 \cdot 200\} = 1503 \text{ тыс. руб.}$$

В целом, экономическая эффективность эксплуатации ЛЭП в условиях увеличения гололедной нагрузки для общества будет больше и составит 3507 тыс. руб. за год.

Экономическая эффективность с позиций инвестора с учетом ставки дисконтирования, равной 0,8 без учета периода амортизации ЛЭП, можно оценить в 2805,6 тыс. руб. за год.

Чистый дисконтированный доход или NPV при этом будет равен сумме денежных ежегодных потоков в 2805,6 тыс. руб. за число лет эксплуатации ЛЭП после достижения срока окупаемости при 20-летнем периоде действия климатологического норматива информации до ее пересмотра, но не более чем за 13 лет.

Если капитальные и текущие затраты неизвестны, то можно воспользоваться более простым способом обоснования инвестиций (см. примеры).

Комплексы адаптационных мер для предотвращения и смягчения последствий ОЯ при эксплуатации технических систем содержатся в таблицах 3.5—3.9.

Таблица 3.5

**Адаптационные меры для энергетики**

<b>Неблагоприятные явления погоды</b>	<b>Воздействия на объекты ТЭК</b>	<b>Предупредительные мероприятия</b>
Ветер со скоростью более 30м/сек	Обрыв проводов, поломка опор	Прекращение работ на открытом воздухе.
Отложения на проводах гололеда мокрого снега или сложного отложения льда	Повреждение изоляции. Потери электрической энергии. Обрыв проводов.	Проведение осмотров пострадавших ЛЭП — сбивание и плавка льда.
Сильные дожди и ливни (более 30 мм/1час).	Образование дождевых паводков и подтопление подстанций. Повреждение оборудования.	Своевременное переключение режима выработки электроэнергии.
Продолжительные морозы — ниже $-25^{\circ}\text{C}$ .	Деформация металлических конструкций или разрыв труб. Опасность обморожений.	Все агрегаты ставятся под полную нагрузку. Прекращение работ на открытом воздухе.
Продолжительная жара — $+30^{\circ}\text{C}$ .	Изменения натяжения проводов. Нагрев генераторов.	Охлаждение генераторов. Перевод части оборудования на ремонт.

<i>Продолжение табл. 3.5</i>		
Резкие изменения температуры воздуха — на 10 °С и более.	Быстрое старение и разрушение (коррозия) материалов и конструкций	Регулирование работы ТЭЦ при экономном расходовании топлива.
Грозы	Массовое отключение ЛЭП, трансформаторных подстанций, недоотпуск электроэнергии потребителям.	Использование грозозащитной аппаратуры. Временное прекращение основных работ и работ по восстановлению опор ЛЭП.

*Таблица 3.6*

**Адаптационные меры для ЖКХ**

<b>Неблагоприятные явления погоды</b>	<b>Воздействия на коммунальное хозяйство</b>	<b>Предупредительные мероприятия</b>
Снегопады и метели	Простой транспорта. Аварии на магистралях города.	Ввод в действие оптимального количества снегоуборочной техники.
Гололед и гололедица на дорогах	Опасные условия для движения городского транспорта и населения.	Обработка противогололедными реагентами.
Ливневые дожди	Подтопление подвалов, протечка кровель	Своевременная проверка и очистка водостоков.
Паводки. Подъем воды выше критической отметки.	Затопление коммуникаций в прибрежных частях города.	Использование гидротехнических берегоукреплений.
Грозы	Повреждение электрических систем.	Профилактическое отключение оборудования.
Сильный ветер	Обрыв проводов, повал деревьев. Угроза рекламным конструкциям, стр.технике	Своевременное предупреждение организаций и населения.
Град	Нанесение ущерба автотранспорту, жилым объектам, населению.	Своевременное предупреждение населения и организаций.

## Адаптационные меры для речного хозяйства

<b>Неблагоприятные явления погоды</b>	<b>Воздействия на речное хозяйство</b>	<b>Предупредительные мероприятия</b>
Ветер 8—13 м/сек	Затрудняет проводку плотов и судов на озерах и водохранилищах	Ограничения плавания судов, проводки и буксировки
Ветер 14—24 м/сек	Сбивает судно с курса, затрудняет подход к берегу, к причалам и отход от них, создает аварийные ситуации в момент прохождения под ж/д мостами.	Суда направляются в укрытия. Применяются дополнительные крепления. Отменяются рейсы. Прекращаются производственные операции в портах.
Ветер более 25 м/сек	Опасен для плавания любых судов и для производственных операций на реках и водоёмах.	Полное прекращение производственных операций на реках и водоёмах.
Изменения уровня воды в период весеннего или дождевого паводка или сгонно-нагонных явлений.	Влияют на загрузку судов, при переходах на сложных трассах. Возможно подтопление и затопление портового хозяйства.	Ограничения проводки и буксировки (заход в порты). Прекращение производственных операций в портах.
Заторные явления на реках	Могут вызвать наводнения в местах, прилегающих к затону, разрушение ледяного покрова и повреждение судов.	Прекращение ремонтных и других видов работ в затонах. Предохранение судов от повреждения на зимнем отстое.
Ухудшение видимости до 2 км и менее.	Возрастает опасность столкновения судов и посадки на мель.	Запрещение движения судов, не оборудованных радиолокатором.
Раннее ледообразование.	Сокращение сроков навигации. Нарушение плана по перевозке грузов.	Корректировка планов перевозок грузов и пассажиров.



## Адаптационные меры для транспорта

Неблагоприятные явления погоды	Воздействия на автотранспорт	Предупредительные мероприятия
Ветер более 15м/с	Сдвиг и перевертывание автомобилей, нарушение траектории. Перерасход топлива и износ шин.	Снижение скорости движения. Отмена загородных пассажирских рейсов.
Гололедица	Снижение сцепных качеств дорожного покрытия, увеличение тормозного пути, занос автомобиля. Потеря маневренности и ДТП. Снижение скорости движения в 2—2,5 раза.	Отправка технических бригад на особо гололедице – опасные участки на трассе. Обработка дорог песчано-солевой смесью.
Метель, сильный снегопад (более 7 мм за 12 ч)	Снежные заносы на дорогах.	Подготовка аварийных бригад, уборочной техники.
Дождь более 7 мм за 12 час, ливни, сели, лавины.	Затопление низких участков дороги, размыв дорожного полотна и увеличение ДТП.	Подготовка аварийных бригад. Инструктирование водителей об особенностях движения.
Температура воздуха ниже $-25^{\circ}\text{C}$ .	Поломка автомобилей. Увеличение времени на запуск двигателя машины. Ухудшение комфортности для водителей.	Принятие дополнительных мер по недопущению разморозки двигателей. Утепление одежды для водителей.
Температура воздуха от $0^{\circ}\text{C}$ до $-5^{\circ}\text{C}$	Образование мокрого покрытия на дорогах, местами скользко, наблюдаются условия для образования гололедицы.	Инструктирование водителей об особенностях движения. Снижение скорости движения автотранспорта.
Температура воздуха выше $30^{\circ}\text{C}$	Образование неровностей на дорогах, сдвиг асфальта. Ухудшение состояния водителей (появление миражей).	Создание комфортных условий для водителей. Использование теплостойких дорожных покрытий.
Явления погоды, ухудшающие видимость на автодорогах до 100 метров.	Снижение скорости транспортного потока и пропускной способности дороги. Увеличение ДТП.	Снижение скорости движения, соблюдение безопасной дистанции между автомобилями.
Видимость менее 50 метров	Высокая вероятность ДТП	Прекращение движения автомобилей.

## **Возможные пути адаптации стран Восточной Европы и Центральной Азии к изменению и изменчивости климата**

Опыт этих стран показывает, как важно строить планы адаптации на основе оценки нынешней уязвимости к нынешнему климату и не допустить, чтобы неопределенность будущего препятствовала выполнению этих планов. Например, Албания получает 97 процентов электроэнергии на гидроэлектростанциях, но с точки зрения гидрологии будущее страны неопределенно, и она должна разработать перспективную, более диверсифицированную стратегию обеспечения электроэнергией. В Польше насчитывается свыше пяти миллионов квартир, расположенных в домах неудовлетворительного качества, и стране необходима программа их капитального ремонта в условиях уменьшения долговечности зданий. [Адаптация..., 2009]. Лицам, формулирующим политику, следует привлекать к разработке планов адаптации к изменению климата основные заинтересованные стороны. Это повысит шансы реализации адаптационных планов и учета адаптационных соображений. Кроме того, заинтересованные стороны обычно яснее осознают сегодняшние факторы уязвимости и предлагают способы уменьшить воздействие таких факторов.

### **Адаптация к климатическим изменениям в городах**

Города являются зонами повышенного риска к изменениям климата, т. к. в них сосредоточены основные промышленные предприятия, автомобильный транспорт, большая плотность населения и повышенное загрязнение атмосферы.

Хотя сегодня города занимают около 2 % поверхности Земли, они несут основную ответственность за изменения климата. Они потребляют около 75 % энергии, производимой в мире, и выбрасывают до 80 % парниковых газов. К 2030 г. в городских центрах всего мира будет насчитываться около 4 млрд. жителей. Поэтому, адаптация в городах является приоритетной задачей.

По сравнению с пригородами, в городах наблюдается более высокая температура благодаря эффекту «острова тепла». По мере развития города температура воздуха в городе растет. К концу дня воздух в центре города может быть на несколько градусов выше, чем на окраине.

Для режима городской атмосферы важно происходящее изменение повторяемости дымки и туманов. Это необходимо учитывать в генпланах городов при их росте. Так, например, в результате микроклиматических наблюдений за этими метеорологическими явлениями была отмечена целесообразность расширения г. Владивосток вдоль побережья, а не в направлении горной территории.

Многие города, расположенные вблизи водных пространств (на реках или побережьях морей), находятся под угрозой наводнений. А увеличение

повторяемости ливней, штормов, разливов, половодий увеличивает вероятность подтоплений.

Начиная с 2008 г., достигнут большой прогресс в осознании необходимости адаптации России к изменениям и изменчивости климата. Росгидрометом была проведена Конференция по адаптации к изменениям климата. По ряду городов (Торонто, Канада; Нью-Йорк, США; Лондон, Великобритания и Москва) были разработаны стратегии адаптации к климатическим изменениям [Обзор..., 2009].

В масштабе России с учетом происходящих изменений климата были выделены следующие ключевые меры:

- повысить готовность к стихийным бедствиям и «волнам жары»;
- предпринять практические меры по профилактике болезней, распространению которых способствует изменение климата, усилить эпидемиологический надзор за инфекционными заболеваниями;
- усилить контроль за водными ресурсами в зонах их дефицита. Начать соответствующие защитные мероприятия, в частности, лесопосадки;
- планировать работу энергетических объектов и транспорта в условиях дополнительной нагрузки при экстремальных температурах воздуха и других негативных последствиях изменения климата;
- организовать широкую информационно-образовательную кампанию по разъяснению проблемы изменения климата и путей ее решения;
- поддерживать особо охраняемые природные территории и при необходимости расширять их границы;
- начать перестройку инфраструктуры в зоне вечной мерзлоты;
- принять более жесткие экологические нормы и правила для работы в Арктике;
- способствовать адаптации коренного населения к изменившимся климатическим условиям.

Реализация мер по адаптации представляет собой сложный процесс, в который должны быть включены все заинтересованные стороны: государство, ученые, бизнес, общественные организации, население.

В настоящее время подготавливаются и частично уже подготовлены стратегии адаптации многих городов, а также государственные стратегии ряда стран (Дания, Финляндия, Австралия, США и Канада). Для крупных городов выпускаются специализированные документы о разработке стратегии адаптации. В этих документах описаны основные изменения климата, происходящие и прогнозируемые возможные последствия, и указываются адаптационные меры, которые уже проводятся и планируются на будущее (табл. 3.9).

Т. к. изменения климата в городах определенных широтных зон происходят во многом в одинаковом направлении, перечислим для них наиболее общие методы адаптации. Разработка соответствующей системы адаптационных мер

позволит снизить ущерб от ОЯ, уменьшить затраты на ликвидацию чрезвычайных ситуаций, повысит устойчивость отдельных отраслей экономики.

Таблица 3.9

**Основные меры адаптации к изменениям климата в городах умеренных широт**

Угрожающие факторы	Меры снижения негативных последствий
Негативные последствия «волны жары» и эффекта «острова тепла»	<p>системы оповещения о жаркой погоде и план действий в жаркую погоду</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– программа по озеленению города с помощью дополнительных зеленых территорий, планирования «зеленых кровель», удвоение площади крон деревьев,</li> <li>– разработка общего руководства по проектированию для архитекторов и инженеров с тем, чтобы обеспечить строительство зданий, учитывая риск перегрева</li> <li>– передача информации о ключевых группах риска представителям органов здравоохранения</li> </ul>
Угроза наводнений	<ul style="list-style-type: none"> <li>– значительное улучшение дренажной системы и ливневой канализации с учетом изменившихся характеристик осадков,</li> <li>– картирование дренажной системы,</li> <li>– план мер по снижению риска подъема уровня поверхностных вод.</li> </ul>
Угроза засухи и проблема обеспечения города водой из-за снижения скорости пополнения запасов грунтовых вод, повышения испарения, утечек на водопроводе и увеличения потребности населения в воде	<ul style="list-style-type: none"> <li>– снижение объема утечек в системе водоснабжения,</li> <li>– учет использования воды и построение системы стимулирующей эффективное использование воды,</li> <li>– поощрение сбора дождевой воды и повторное использование бытовых сточных вод в новых зданиях.</li> </ul>
Ураганный ветер, обледенение, сильные морозы, приводящие к повреждению ЛЭП и других коммуникаций, находящихся на поверхности	<ul style="list-style-type: none"> <li>– размещение объектов инфраструктуры в подземном пространстве</li> <li>– регулярное уточнение прогнозов и их совершенствование.</li> </ul>

## Экономическое обоснование выбора возобновляемых источников энергии (на примере Дальневосточного региона России)

Катастрофические события, произошедшие в 2011 году в Японии, показали необходимость корректировки энергетической политики не только в Японии, но и в ближайших к ней районах России, таких как Дальний Восток, который также можно считать входящим в зону риска. Это обстоятельство заставляет обратить повышенное внимание на обеспечение безопасности этого региона, что накладывает некоторые ограничения на строительство новых АЭС, ТЭС и крупных ГЭС. Безопасность можно обеспечить переходом на возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

Как уже отмечалось выше, переход к альтернативным видам энергетики является одним из важных видов адаптации традиционной энергии.

Стратегия развития энергетики до 2020 и ее уточнения до 2030 года придали новый импульс использованию альтернативных источников энергии. Этому способствовал прогресс в области энергетических технологий, позволяющий практически исключить энергетическую нестабильность и тем самым ответить на быстрый рост спроса на тепловую и электрическую энергию.

Развитие возобновляемой энергетики определяет климатическая составляющая, т. к. источником этих видов энергии служат климатические ресурсы, в частности ресурсы солнца, ветра, тепла Земли и т. п.

Ресурс (ресурсный потенциал) возобновляемого источника энергии — это объем энергии, заключенный или извлекаемый при определенных условиях из возобновляемого источника энергии в течение года.

При оценке эффективности ВИЭ рассчитываются следующие потенциалы [Климатические факторы..., 2010]:

**Валовой (теоретический) потенциал** — среднегодовой объем энергии, содержащийся в данном виде ВИЭ при полном ее превращении в полезную используемую энергию.

**Технический потенциал** — часть валового потенциала, преобразование которого в полезно используемую энергию возможно при данном уровне развития технических средств, при соблюдении требований по охране окружающей среды.

**Экономический потенциал** — часть технического потенциала, преобразование которого в полезно используемую энергию экономически целесообразно при данном уровне цен на ископаемое топливо, тепловую и электрическую энергию, оборудование, материалы и транспортные услуги, оплату труда и др.

Валовой потенциал не позволяет количественно оценить целесообразность использования данного вида возобновляемой энергии. По величине он очень велик и практически каждый из ВИЭ перекрывает все потребности в энергии региона. Технический потенциал ближе к реальному, однако, он также не может

быть введен в экономический баланс. Оценка экономического баланса обычно затруднена и носит характер экспертной оценки, тем не менее, именно она представляет собой наибольший практический интерес и является наиболее объективной характеристикой.

В монографии [Климатические факторы..., 2010] сделана попытка представить некоторую методику оценки экономического потенциала. Однако, данная методика не доведена до стадии принятия с ее помощью решения по оптимизации применения ВИЭ.

Целесообразность и масштабы экономически оправданного применения ВИЭ всех видов должны определяться с учетом их конкурентоспособности с традиционными энергоисточниками. При этом определяющим экономикой фактором является себестоимость производимой тем или иным способом энергии, окупаемость и рентабельность энергоисточника, зависящие от капитальных и эксплуатационных затрат, стоимости топлива, КПД энергоисточника и числа часов его работы с номинальной мощностью, от налоговой и кредитной политики и проч.

В данной книге автором методика оптимизации выбора ВИЭ доведена до конкретного использования на территории Дальнего Востока.

**Генераторы солнечной энергии.** Информационной базой для определения солнечного энергетического (гелиоэнергетического) потенциала являются климатические характеристики солнечного излучения, полученные по данным наблюдений актинометрических измерений на государственной сети метеостанций. Климатические характеристики содержатся в электронном Научно-прикладном справочнике по климату России.

Технический и экономический потенциалы солнечной энергии определяются раздельно для производства тепла и электроэнергии, а также в виде суммы этих слагаемых. Наиболее освоенными в отечественной практике являются установки и системы солнечного горячего водоснабжения, являющиеся основой определения технического потенциала преобразования солнечной энергии в тепло. Необходимым параметром для определения технического потенциала является площадь, на которой потенциально могли бы быть размещены солнечные установки. Обычно принимается, что суммарная площадь, занятая солнечными энергетическими установками, не превышает 1 % территории региона, а оптимальным соотношением площадей, занятых тепловыми и электрическими солнечными установками, является 4 : 1 .

Технический потенциал субъекта РФ, таким образом, определяется умножением средней удельной теплопроизводительности установок солнечного горячего водоснабжения в данном регионе на площадь его территории и на коэффициент 0.008. Полученные значения технического потенциала пересчитываются в размерность т. у. т. (тонн условного топлива) с учетом КПД замещаемого топливного устройства, значение которого обычно применяется равным 0,7 [Климатические факторы..., 2010].

В качестве средства производства электроэнергии за счет солнечной радиации рассматриваются фотоэлектрические установки (ФЭУ). Рабочая площадь солнечных ФЭУ принимается равной 0,1 % от площади территории каждого субъекта РФ.

Также рассчитываются отдельно экономические потенциалы. Для их определения обычно используют различные упрощенные подходы. Для каждого субъекта РФ определяется число пользователей энергетическими установками и соответственно общая площадь солнечных коллекторов (СК) из расчета 1 м<sup>2</sup> СК на 1 человека. Экономический потенциал в размерности ТУТ/год рассчитывается умножением общей потребной площади солнечных коллекторов на их годовую удельную тепловую выработку с учетом КПД СК. Экономический потенциал для производства электроэнергии установлен для каждого субъекта РФ как 0,05 % от значений годового потребления электроэнергии в каждом из субъектов РФ (по данным Росстата за 2005 год).

**Генераторы ветровой энергии.** Валовой потенциал региона является средней многолетней величиной энергии ветровых потоков на территории региона. Для его определения регион представляется совокупностью зон с площадью каждой  $S_i$ , в которой средняя годовая мощность ветровой энергии  $J_i$  определяется по данным наблюдений за ветром. В каждой зоне валовой потенциал оценивается в кВтЧ по формуле

$$W_{\text{val}}^i = J_i \cdot T \cdot S_i, \quad (3.7)$$

где  $T = 8760$  часов.

Удельная мощность  $J_i$  пропорциональна кубу скорости ветра. Валовой потенциал региона определяется как сумма валовых потенциалов составляющих его зон.

Технический потенциал региона определяется как суммарная средняя многолетняя величина энергии ветра, выраженная в кВт·ч, которая может быть получена в регионе при современном уровне развития технологий и техники, а также соблюдении экологических норм. Технический потенциал зависит от площади региона (считается, что ветроэнергетические установки (ВЭУ) могут занимать от 20 % до 30 % всей площади региона), среднегодовой удельной мощности ветра в зонах, составляющих регион, а также средней энергетической эффективности ВЭУ (долей энергии ветра, превращаемой ВЭУ в полезную работу).

Экономический ветроэнергетический потенциал ВЭУ — возможная среднегодовая выработка энергии всех ВЭУ в регионе, строительство и использование которых экономически целесообразно при существующем уровне стоимости их производства или приобретения, доставки, строительно-монтажных работ и эксплуатации, а также стоимости доставки выработанной ими энергии потребителю и обеспечения соответствующих экологических требований. Обычно экономический потенциал каждого региона, на основании

мирового опыта и российской специфики, принимается равным 0,5 % от величины технического ветропотенциала.

**Гидроэнергетические генераторы.** Технический потенциал малых рек изучался по малым рекам в 7 административных округах. При этом учитывались количественные характеристики субъектов РФ в составе федеральных округов с соответствующими площадями их территорий. Установить экономический гидроэнергетический потенциал всех малых рек России весьма затруднительно из-за отсутствия технико-экономических показателей природных и строительно-хозяйственных условий сооружения малых ГЭС.

**Гидрогеотермальные генераторы.** Оценка гидрогеотермальных ресурсов состоит в определении возможной производительности водозаборного сооружения. Ресурсы термальных вод определяются по месторождениям или эксплуатационным участкам. На месторождениях и регионах оценка выполняется по результатам специальных разведочных работ или по данным эксплуатации действующих водозаборных сооружений. Региональные оценки осуществляют в пределах отдельных гидрогеологических структур по основным перспективным водоносным горизонтам, определяющих в комплексе размеры ресурсов и теплоэнергетический потенциал термальных вод, а также геолого-экономические показатели их промышленного освоения.

Остальные виды ВИЭ не рассматриваются в связи с их не конкурентоспособностью по сравнению с перечисленными выше.

### **Географическое распределение экономических потенциалов возобновляемых энергоресурсов на Дальнем Востоке**

Территория Дальнего Востока является весьма перспективной для перевода на энергообеспечения за счет ВИЭ, создавая этим его энергетическую независимость и безопасность.

По данным [Безруких и др., 2007], использовавших данные потенциальных ресурсов полученных в ГГО [Кобышева, 1983; Борисенко, 2008; Стадник, 2008 и др.], авторами настоящей статьи построены карты экономических потенциалов различных видов энергии для данного региона.

Дальневосточный федеральный округ является единственным регионом России, в котором возможно использование геотермальной энергии. Однако ее можно использовать не на всей территории Дальнего Востока, а лишь в отдельных районах Чукотки, Камчатки и Курильских островов.

Регион также обладает большими запасами солнечной, ветровой и гидроэнергии. На рисунках 3.5, 3.6, 3.7 представлено распределение экономических потенциалов этих трех видов энергии. Так как солнечная энергия используется не только для выработки электричества, но и для отопления, ее потенциал традиционно измеряется в тоннах условного топлива (т. у. т.).



Различные географические районы России характеризуются разными видами электроснабжения. В наиболее технически развитых районах используется централизованное энергоснабжение. И наоборот: в малонаселенных и технически неразвитых районах централизованное энергоснабжение полностью отсутствует. В то же время, в ряде районов используется смешанное энергоснабжение.

На территории Дальнего Востока имеют место все эти три вида энергоснабжения. В южной части (Приморский, Хабаровский края) развито централизованное энергоснабжение. В центральной части (Магаданская область) — смешанное энергоснабжение, а на Камчатке и Курильских островах централизованное электроснабжение отсутствует.

Из анализа карт следует, что наибольшие возможности для развития всех видов ВИЭ наблюдаются в южной части Дальнего Востока. В центральной части малоэффективно развитие геотермальной и гелиоэнергетики. Наконец, в северной части возможным видом ВИЭ можно считать геотермальные источники.

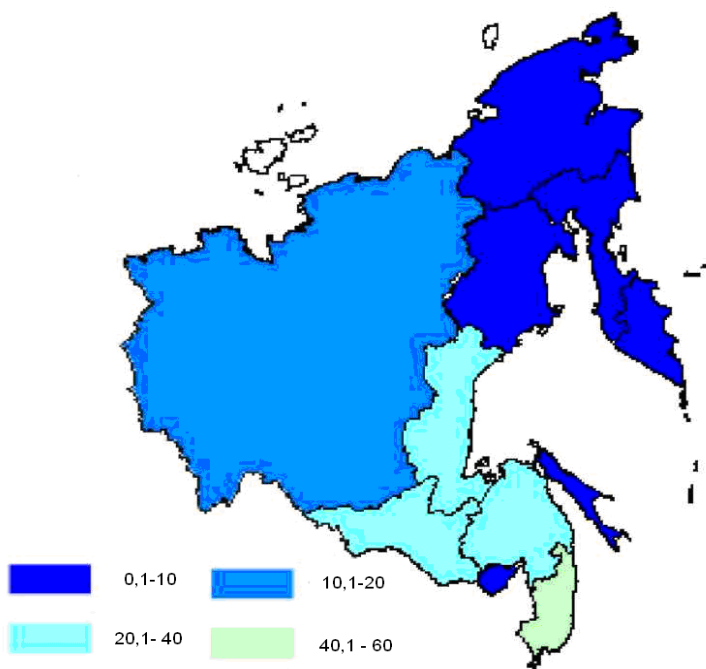


Рис. 3.5. Распределение экономического потенциала солнечной энергии, млрд т.у.т.

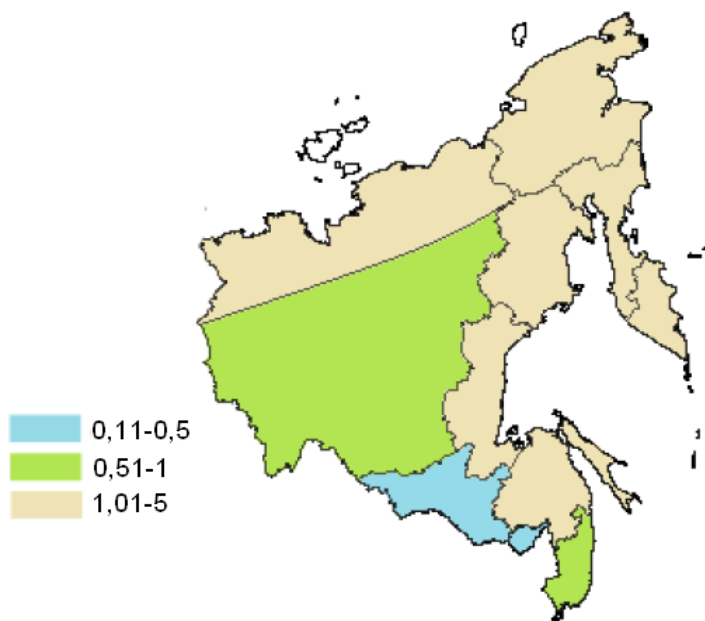


Рис. 3.6. Распределение экономического потенциала ветровой энергии, ТВт·ч.

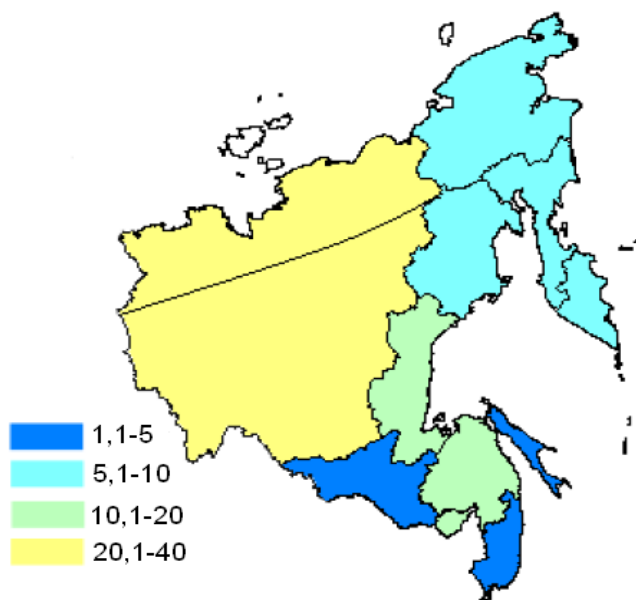


Рис. 3.7. Распределение экономического потенциала гидроэнергии, ТВт·ч.

## Методы оценки эффективности инвестиций в возобновляемую энергетику

Существует несколько способов обоснования эффективности инвестирования. Наиболее часто в зарубежной практике используются следующие методы [Климатические факторы..., 2010]:

**Оценка срока окупаемости (возврата) инвестиций — РВ.** Оценка срока окупаемости (РВ — Pay-Back Period) используется для вычисления периода времени, необходимого для того, чтобы доходы, генерируемые инвестициями, покрыли затраты на проект. При расчете данной характеристики не учитывается временная ценность денег. Этот показатель определяют последовательным расчетом чистого дохода (РВ — Present Value) для каждого периода проекта. Точка, в которой РВ принимает положительное значение, является точкой окупаемости. При выборе из нескольких инвестиционных проектов выбирается тот, срок окупаемости которого меньше.

**Метод чистой существующей стоимости — NPV.** Оценка чистой приведенной стоимости (NPV — Net Present Value) — это сумма дисконтированных значений потока платежей, приведённых к ценности денег на момент расчета. Показатель NPV характеризует величину денежных средств, которую инвестор ожидает получить от проекта после того, как денежные притоки окупят его первоначальные инвестиционные затраты и периодические денежные оттоки, связанные с осуществлением проекта. Таким образом, значение NPV может быть интерпретировано как общая прибыль инвестора. Расчет NPV производится по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{CF_t}{(1+i)^t} = -IC + \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+i)^t}, \quad (3.8)$$

где  $i$  — ставка дисконтирования,  $CF_t$  — поток платежей (CF — Cash Flow) в  $t$  период,  $N$  — количество периодов,  $IC$  — величина инвестированного капитала.

**Метод внутренней нормы доходности — IRR.** Значение внутренней нормы доходности (IRR — Internal Rate of Return) характеризует процентную ставку, при которой чистый дисконтированный доход NPV равен 0. Значение IRR определяется следующей формулой:

$$NPV = -IC + \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0, \quad (3.9)$$

или

$$IC = \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t}. \quad (3.10)$$

### Использование теории принятия решений для анализа инвестиционных проектов

Так как выбор наилучшего инвестиционного проекта является задачей выбора вариантов из заданного множества альтернатив при условии определенности, для ее решения целесообразно воспользоваться методами теории принятия решений.

В рамках принятия решения в условиях определенности справедлива следующая модель задачи принятия решений :

- $X$  — множество альтернатив (инвестиционных проектов);
- $Y$  — множество исходов;
- $f_i : Y \rightarrow R, i = 1, \dots, m$  — множество критериев (показателей качества).

Здесь  $R$  - множество вещественных чисел;

- $\Phi : X \rightarrow Y$  — детерминистская функция, отображающая множество альтернатив во множество исходов.

Таким образом, предполагается, что каждому решению  $x \in X$  соответствует единственный элемент  $y \in Y$ , где  $y = \Phi(x)$ . Исходы  $y$  оцениваются  $m$  числами в соответствии зависимости  $f_i$ . Предполагается, что каждую из функций  $f_i$  необходимо максимизировать (в противном случае, выполняется замена  $f_i^* \leftarrow -f_i$ ). С помощью суперпозиции

$$J_i(x) = f_i(\phi(x)), i = 1, \dots, m \quad (3.11)$$

можно непосредственно оценивать качество решения  $x$ . Кроме того, можно работать с векторным отображением

$$J : x \rightarrow R^M, J = (J_1, \dots, J_m), J(X) = F \subset R^m. \quad (3.12)$$

Задание бинарного отношения  $R$  на множестве исходов  $Y$  индуцирует соответствующее бинарное отношение  $R''$  на множестве  $X$ :

$$(x_1, x_2) \in R'' \Leftrightarrow (\phi(x_1), \phi(x_2)) \in R'. \quad (3.13)$$

Соответственно возникает бинарное отношение  $R'''$  на множестве оценок  $F \subset R^m$ :

$$\forall z_1, z_2 \in F : (z_1, z_2) \in R''' \Leftrightarrow (y_1, y_2) \in R', \quad (3.14)$$

где  $z_1 = f(y_1), z_2 = f(y_2)$

Из приведенных выражений следует, что в условиях определенности (данное условие выполняется в случае выбора инвестиционного проекта) отношения

предпочтения могут задаваться в любом из множеств  $X, Y, F$ . Обычно в качестве основного рассматривается отображение

$$J : X \rightarrow F \subset R^m \quad (3.15)$$

т. е. системы предпочтений задаются во множествах  $X$  и  $F$ .

В задаче выбора инвестиционного проекта рассматривается многокритериальная оптимизация вида

$$f_i(x) \rightarrow \max_{x \in D} f_i : D \rightarrow R, i = 1, \dots, m; D \subseteq R^n \quad (3.16)$$

Выражение (3.16) подразумевает, что задано  $m$  функций  $f_i$ , отображающих множество  $D$   $n$ -мерных векторов  $x = (x_1, \dots, x_n)$  во множество вещественных чисел  $R$ . Предполагается, что выбор оптимальных значений  $x$  производится не во всем  $n$ -мерном пространстве  $R^n$ , а в некотором его подмножестве  $D$ . Существует ряд методов решения задачи (4.6), основные из которых приведены ниже.

**Метод главного критерия.** В методе главного критерия в качестве целевой функции выбирается один из функционалов  $f_i$  (обычно функционалы индексируют таким образом, чтобы им оказался  $f_1$ ), который наиболее полно отражает цель принятия решения. Остальные требования к результату, описываемые функционалами  $f_2, \dots, f_m$ , учитываются с помощью введения дополнительных ограничений. Таким образом, задача (4.6) сводится к следующей:

$$f_1(x) \rightarrow \max_{x \in D} D' \subseteq D \subseteq R^n \quad (3.17)$$

$$D' = \{x \in D / f_i(x) \geq t_i, i = 2, \dots, m\}$$

Метод главного критерия может быть расширен на случай допустимости принятия более одного решения. Это расширение может быть полезно, когда значения  $f_i(x), x \neq x^*$  ( $x^*$  удовлетворяет условию (3.18) близки к значению  $f_i(x^*)$ . В этом случае критерий можно переписать в виде:

$$\left\{ f_1(x^*) \rightarrow \max_{x \in D} D', x : |x - x^*| < \epsilon |x^*| \right\}, D' \subseteq D \subseteq R^n \quad (3.18)$$

$$D' = \{x \in D / f_i(x) \geq t_i, i = 2, \dots, m\}$$

Значение  $\epsilon, 0 < \epsilon < 1$  определяет степень близости допустимых альтернатив. Назначение главного критерия и допустимых ограничений на остальные частные критерии - задача лица, принимающего решение. Очевидно, этот шаг оказывает решающее влияние на результат выбора окончательного решения.

Необходимо отметить, что, несмотря на то, что задача (3.18) не эквивалентна задаче (3.16), однако ее решения достаточно для обоснованного принятия решений.

**Метод линейной свертки.** Данный метод заключается в скаляризации задачи (3.16), позволяющей заменить векторный критерий оптимальности на скалярный. Он основан на линейном объединении функционалов

$$f_1, \dots, f_m:$$

$$J(x) = \sum_{i=1}^m \alpha_i f_i(x) \rightarrow \max_{x \in D}, \alpha_i > 0, \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1. \quad (3.19)$$

Весовые коэффициенты  $\alpha_i$  характеризуют значимость отдельных критериев для задачи оптимизации. Чем большее значение устанавливается для коэффициента  $\alpha_j$ , тем больший вклад вносит критерий  $f_j$  в сумму (3.19). Значения весовых коэффициентов устанавливаются методом экспертных оценок; как и в случае метода главного критерия их выбор обычно является определяющим для результата работы метода.

**Метод максиминной свертки.** Метод максиминной свертки применяется в форме

$$J(x) = \min_i f_i(x) \rightarrow \max_{x \in D} \quad (3.20)$$

В отличие от метода линейной свертки, здесь на целевой функционал  $J(x)$  оказывает влияние только тот критерий оптимальности, которому в данной точке  $x$  соответствует наименьшее значение соответствующей функции  $f_i(x)$ . Данное свойство несет некоторое преимущество перед формулой 3.19: если в ней возможны высокие значения функционала  $J$  за счет высоких значений некоторых  $f_i$ , то в формуле 4.10 значение функционала  $J$  обеспечивается минимальным значением  $f_i$ . Таким образом, производится расчет по самому плохому значению критерия для каждого варианта.

Возможна также взвешенная форма максиминного критерия, характеризующая формулой

$$J(x) = \min_i \alpha_i f_i(x) \rightarrow \max_{x \in D} \quad (3.21)$$

где коэффициенты  $\alpha_i$  удовлетворяют требованиям выражения 3.19

При принятии решения обычно применяются все указанные критерии, а затем на основании экспертных оценок или методом усреднения принимается окончательное решение.

## Оценка возможности использования ВИЭ на Дальнем Востоке

Для вычисления инвестиционных характеристик ВИЭ были использованы данные, приведенные в табл. 3.10 [Николаев, 2010]. Цена 1 кВт электроэнергии принята равной 3,4 руб.

Для заданных экономических характеристик ВИЭ были рассчитаны показатели инвестиционной эффективности. Срок окупаемости (РВ) представлен в табл. 3.11. Значения чистой существующей стоимости для различных видов ВИЭ представлены в табл. 3.12. Серым цветом выделены значения, соответствующие годам, начиная с которых ВИЭ начинает приносить доход (с учетом инфляции 12 % годовых). График изменения NPV приведен на рис. 3.8. Значения IRR были вычислены при предположении, что срок окупаемости проекта соответствует значениям, определенным при расчете NPV в табл. 3.12. Результаты расчета IRR сведены в табл. 3.13. Кроме данных показателей, рассчитана ежегодная прибыль, получаемая при использовании различных видов ВИЭ, на 1 кВт номинальной мощности. Рассчитанные показатели представлены в табл. 3.14.

Таблица. 3.10

### Экономические характеристики ВИЭ

Вид ВИЭ	Капзатраты на строительство ЭС; тыс.руб. на 1 кВт номинальной мощности	Годовая выработка, кВт·ч на 1кВт номинальной мощности ЭС	Затраты на эксплуатацию, тыс.руб. на 1 кВт номинальной мощности за ресурс	Себестоимость электроэнергии ЭС, руб/кВт·ч
Ветровые ЭС	50	3000	25	1,24
Гидро-ЭС	30	3000	24	1,04
Геотермальные ЭС	67	4500	83,8	1,34
Гелио-ЭС	34	4700	16	1,1

Таблица 3.11

### Значения срока окупаемости (РВ) для различных видов ВИЭ

Вид ВИЭ	Количество лет окупаемости
Ветровые ЭС	8
Гидро-ЭС	5
Геотермальные ЭС	8
Гелио-ЭС	4

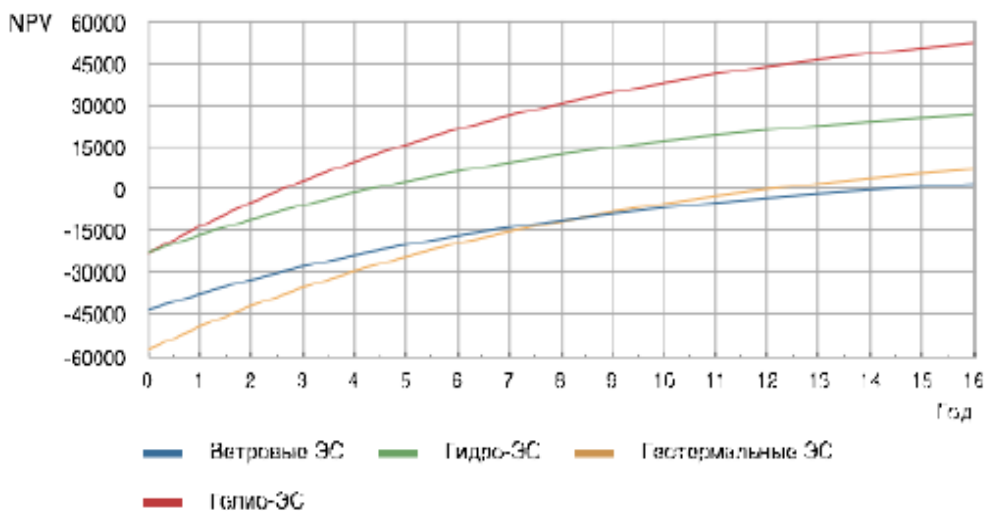


Рис. 3.8. Зависимость NPV от времени для различных ВИЭ.

Таблица 3.12

**Значения чистой существующей стоимости (NPV) для различных видов ВИЭ при инфляции за год 12 %**

Вид ВИЭ	Значение NPV					
	2	3	4	5	13	15
Ветровые ЭС	-32568,4	-27956,1	-23837,9	-20161,0	-1895,4	614,4
Гидро-ЭС	-10954,4	-5915,0	-1415,5	2601,8	22558,7	25300,9
Геотермальные ЭС	-42063,2	-35465,0	-29573,7	-24313,7	1816,2	5406,7
Гелио-ЭС	-4920,5	2773,7	9643,7	15777,6	46248,5	50435,4

Таблица.3.13

**Значения внутренней нормы доходности (IRR) для различных видов ВИЭ**

Вид ВИЭ	Значение IRR
Ветровые ЭС	0,123
Гидро-ЭС	0,165
Геотермальные ЭС	0,126
Гелио-ЭС	0,188

По данным об экономических потенциалах субъектов региона и таблицы 3.14. были рассчитаны значения потенциальной прибыли, получаемой при использовании различных видов ВИЭ. Они сведены в табл. 3.15. В таблице не приведена информация геотермальных ВИЭ, так как их использование возможно лишь в Камчатском крае и на Курильских островах.



Таблица 3.14

**Ежегодная прибыль при использовании различных видов ВИЭ  
на 1 кВт номинальной мощности**

Вид ВИЭ	Прибыль на 1 кВт номинальной мощности, руб.
Ветровые ЭС	10200
Гидро-ЭС	10200
Геотермальные ЭС	15300
Гелио-ЭС	15980

В результате проведенных расчетов получена информация, на базе которой можно сделать вывод об инвестиционной привлекательности различных ВИЭ для субъектов Дальнего Востока. Ниже будет приведена комплексная оценка полученных факторов.

Таблица 3.15

**Потенциальная годовая прибыль от ВИЭ  
для различных субъектов Дальнего Востока, млн руб.**

Регион	Вид ВИЭ		
	Ветровые ЭС	Гидро-ЭС	Гелио-ЭС
Амурская область	648	33276	2384,914
Еврейская АО	259,2	3540	466,422
Камчатский край	9136,8	43188	26,401
Магаданская область	11599,2	41772	35,202
Приморский край	5637,6	85668	4699,425
Сахалинская область	907,2	7788	35,202
Хабаровский край	11469,6	72216	2692,929
Чукотский АО	16200	67260	8,800
Якутия	22615,2	283200	1267,261

Для применения методов теории принятия решений, рассчитанных в предыдущем разделе, показатели сведены в таблицы принятия решений. Таблица 3.16 иллюстрирует построение такой таблицы для Амурской области.

Таблица 3.16

**Значения функционалов для принятия решений для Амурской области**

Вид источника	Функционал			
	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$
Ветровые ЭС	6,48E+8	-8	-15	0,123
Гидро-ЭС	3,3276E+10	-5	-5	0,165
Геотермальные ЭС	—	-8	-13	0,126
Гелио-ЭС	2,38491E+9	-4	-3	0,188

В данной таблице для функционалов  $f_i$ ,  $i = 1, \dots, 4$  приняты следующие значения:  $f_1$  — годовая прибыль, руб.,  $f_2$  — простой срок окупаемости,  $f_3$  — срок окупаемости с учетом инфляции,  $f_4$  — значение IRR.

Значения функционалов  $f_2$  и  $f_3$  взяты с измененным знаком для того, чтобы к ним могли быть применены методы принятия решений.

Ниже рассмотрены результаты примененных методов принятия решений.

Метод главного критерия. Как было отмечено в разд. 2, ключевым принципом метода является выбор главного критерия, по которому осуществляется оптимизация. В настоящей работе в качестве такого критерия была рассмотрена величина годовой прибыли ВИЭ. Ограничений на другие критерии не устанавливались.

Результаты применения метода главного критерия приведены в табл. 3.17

Из табл. 3.17 видно, что применение простого метода главного критерия к задаче выбора ВИЭ привело следующему результату: для всех областей предпочтительнее всего развитие гидроэнергетики. Это объясняется не столько высокими годовыми прибылями данного вида ВИЭ, сколько большим экономическим потенциалом региона для развития гидроэнергетики.

Кроме простого метода главного критерия была применена его модификация на случай принятия более одного варианта решения (значение б принималось равным 0,9). Результаты ее применения сведены в табл. 3.18. В данной таблице используется следующая условная система обозначений:

- + + проект является оптимальным или очень близок к оптимальному;
- + проект не является оптимальным, но сравнительно близок к нему.

Из построенных таблиц видно, что, согласно методу главного критерия, гидроэлектростанции являются приоритетным выбором в большинстве регионов, однако ветровые- и гелио электростанции также могут использоваться в большинстве регионов.

Таблица 3.17

**Результаты применения простого метода главного критерия**

Регион	Вид ВИЭ		
	Ветровые ЭС	Гидро-ЭС	Гелио-ЭС
Амурская область		+	
Еврейская АО		+	
Камчатский край		+	
Магаданская область		+	
Приморский край		+	
Сахалинская область		+	
Хабаровский край		+	

**Результаты применения модификации простого метода главного критерия  
для возможности принятия нескольких вариантов решения**

Регион	Вид ВИЭ		
	Ветровые ЭС	Гидро-ЭС	Гелио-ЭС
Амурская область		++	+
Еврейская АО	+	++	+
Камчатский край	+	++	
Магаданская область	++	++	
Приморский край	+	++	+
Сахалинская область	+	++	
Хабаровский край	++	++	+
Чукотский АО	++	++	
Якутия	+	++	

**Метод линейной свертки.** Для использования метода линейной свертки значения функционалов  $f_1, \dots, f_4$  необходимо привести к единой системе величин измерения. В качестве такой системы используется градация по значениям функционалов по 10-бальной шкале.

Для функционалов  $f_2, f_3, f_4$  перевод в новую систему осуществлялся по формуле:

$$v_i = \left[ \frac{f_i(x) - \min_x f_i(x)}{\max_x f_i(x) - \min_x f_i(x)} \cdot 10 \right], i = 2, \dots, 4 \quad (3.22)$$

В то же время значения функционала  $f_1$  имеют значения разного порядка (например, см. табл. 3.16). Для него целесообразно использовать логарифмическую формулу перехода:

$$v_1 = \left[ \frac{\log f_1(x) - \log \min_x f_1(x)}{\log \max_x f_1(x) - \log \min_x f_1(x)} \cdot 10 \right] \quad (3.23)$$

Все показатели были приведены к новой системе; пример для функционала  $f_1$  представлен в табл. 3.19.

Для применения метода взяты значения весовых коэффициентов  $\alpha_1, \dots, \alpha_4$ , приведенные в табл. 3.20.

Расчитанное значение максимизируемой функции

$$\sum_{i=1}^4 \alpha_i f_i(x)$$

приведено в табл. 3.21.

Из данной таблицы можно сделать вывод об оптимальности использования различных видов ВИЭ при применении рекомендаций, полученных методом

линейной свертки. Аналогично случаю метода главного критерия, можно рассматривать не только варианты, соответствующие максимальному значению критерия, но и варианты, функционал которых достаточно близок к максимальному.

Таблица 3.19

**Приведенное значение функционала  $f_1$**

Регион	Вид ВИЭ		
	Ветровые ЭС	Гидро-ЭС	Гелио-ЭС
Амурская область	5	8	6
Еврейская АО	4	6	4
Камчатский край	7	8	1
Магаданская область	8	8	2
Приморский край	7	10	6
Сахалинская область	5	7	2
Хабаровский край	8	9	6
Чукотский АО	8	9	1

Таблица 3.20

**Значения весовых коэффициентов  $\alpha_i$**

$\alpha_1$	0,4
$\alpha_2$	0,1
$\alpha_3$	0,3
$\alpha_4$	0,2

Таблица 3.21

**Значение функции  $\sum_{i=1}^4 \alpha_i f_i(x)$**

Регион	Вид ВИЭ		
	Ветровые ЭС	Гидро-ЭС	Гелио-ЭС
Амурская область	2,6	6,1	8,4
Еврейская АО	2,2	5,3	7,6
Камчатский край	3,4	6,1	6,4
Магаданская область	3,8	6,1	6,8
Приморский край	3,4	6,9	8,4
Сахалинская область	2,6	5,7	6,8
Хабаровский край	3,8	6,5	8,4
Чукотский АО	3,8	6,5	6,4

Результаты анализа вариантов принятия решения по методу линейной свертки приведены в табл. 3.22. В данной таблице используется следующая условная система обозначений:

++ выбор является оптимальным.

+ выбор не является оптимальным, но значение его функционала отличается от максимального менее чем на 1.

Таблица 3.22

**Оценка выбора ВИЭ по методу линейной свертки**

Регион	Вид ВИЭ		
	Ветровые ЭС	Гидро-ЭС	Гелио-ЭС
Амурская область			++
Еврейская АО			++
Камчатский край		+	++
Магаданская область		+	++
Приморский край			++
Сахалинская область			++
Хабаровский край			++
Чукотский АО		++	+

**Метод минимаксной свертки.** Как было показано в разд. 2 данный метод ориентирован на максимизацию минимального значения

$$\alpha_i f_i(x), i = 1, \dots, 4$$

Таким образом, он ориентирован на увеличение наихудшего параметра варианта выбора. Результаты оценки  $\min \alpha_i f_i(x)$  приведены в табл. 3.23.

Таблица 3.23

**Значения функции  $\min \alpha_i f_i(x)$  для метода минимаксной свертки**

**с учетом весовых коэффициентов  $a_i$**

Регион	Вид ВИЭ		
	Ветровые ЭС	Гидро-ЭС	Гелио-ЭС
Амурская область	0,1	0,6	1
Еврейская АО	0,1	0,6	1
Камчатский край	0,1	0,6	0,4
Магаданская область	0,1	0,6	0,8
Приморский край	0,1	0,6	1
Сахалинская область	0,1	0,6	0,8
Хабаровский край	0,1	0,6	1
Чукотский АО	0,1	0,6	0,4
Якутия	0,1	0,6	1

Результаты выбора ВИЭ по методу минимаксной свертки приведены в табл. 3.24.

В основном значение оценки  $\min_i \alpha_i f_i(x)$  определяется величиной простого периода окупаемости (РВ). Это связано с тем, что значение

соответствующего весового коэффициента  $\alpha_2 = 0.1$  выбрано сравнительно низким. Такой выбор обусловлен малой информативностью значения функционала  $f_2$ . Значение простого периода окупаемости проекта не может иметь решающего значения, так как он не учитывает показатель инфляции. Согласно данному методу, наибольший приоритет практически во всех регионах получили гелиостанции. Это связано со сравнительно коротким сроком простой окупаемости у данного типа станций.

Таблица 3.24

**Приоритеты использования различных ВИЭ по методу минимаксной свертки с учетом весовых коэффициентов  $\alpha_i$**

Регион	Вид ВИЭ		
	Ветровые ЭС	Гидро-ЭС	Гелио-ЭС
Амурская область			+
Еврейская АО			+
Камчатский край		+	
Магаданская область			+
Приморский край			+
Сахалинская область			+
Хабаровский край			+

Применение простого метода минимаксной свертки, не учитывающего весовых коэффициентов (формула 3.20), может быть более рационально в случае наличие коэффициента  $\alpha_i$ , обладающего сравнительно низким значением. Результаты применения данного метода указаны в табл. 3.25

Видно, что для данного метода распределение наилучших ВИЭ получилось более разбросанным. Стоит, однако, отметить, что ветровые ЭС не были признаны лучшим решением по данному методу ни в одном субъекте, что вызвано их большим сроком окупаемости.

Окончательный выбор предпочтительных возобновляемых источников энергии на территории Дальнего Востока РФ можно сделать, руководствуясь таблицами 3.22—3.27.

При принятии окончательного решения наибольшее внимание уделялось результатам метода главного критерия и линейной свертки, так как они, за счет дифференциации функционалов, были ориентированы на экономический потенциал субъектов.

Таблица 3.26

Значения функции  $\min \alpha_i f_i(x)$  для метода минимаксной свертки без учета весовых коэффициентов  $a_i$

Регион	Вид ВИЭ		
	Ветровые ЭС	Гидро-ЭС	Гелио-ЭС
Амурская область	1	3	6
Еврейская АО	1	3	4
Камчатский край	1	3	1
Магаданская область	1	3	2
Приморский край	1	3	6
Сахалинская область	1	3	2
Хабаровский край	1	3	6

Таблица 3.27

Приоритеты использования различных ВИЭ по методу минимаксной свертки без учета весовых коэффициентов  $a_i$

Регион	Вид ВИЭ		
	Ветровые ЭС	Гидро-ЭС	Гелио-ЭС
Амурская область			+
Еврейская АО			+
Камчатский край		+	
Магаданская область		+	
Приморский край			+
Сахалинская область		+	
Хабаровский край			+

### Выбор проектов ВИЭ для различных субъектов

При анализе таблиц был сделан следующий вывод: все три вида энергетики (ветровую, гидро-, и гелиоэнергетику) можно развивать на территории Еврейской АО, Приморского и Хабаровского краев. На территории Чукотки, Магаданской и Сахалинской областей, а также Камчатского края малоэффективно развитие солнечной энергетики (ввиду низкого потенциала территории для данного вида энергетики). На территории Якутии целесообразно развивать в основном гидроэнергетику (широко приемлемая для всего региона ветроэнергетика не может быть сильно развита из-за полугодичного антициклона), а в Амурской области решающее значение должны играть ветро- и гелиоустановки.

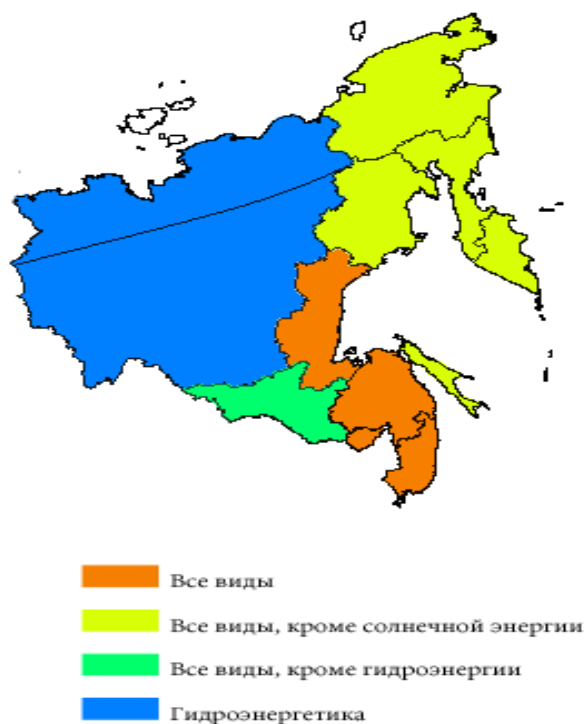


Рис. 3.9. Рекомендуемые ВИЭ для различных районов Дальнего Востока.

Из анализа карты следует, что на юге Дальнего Востока можно эффективно развивать солнечную энергетику, а на северных и прибрежных территориях ветроэнергетику. Практически на всей площади Дальнего Востока имеется обоснованная возможность развития гидроэнергетики.

Ввиду отсутствия данных, оказалось невозможным применение теории принятия решений для определения возможности использования геотермальной энергетики на всей территории региона. Однако известно, что большой потенциал северных регионов для развития данного вида энергетики рассматривается как весьма перспективный.

Методика объективного выбора оптимальных ВИЭ и ее реализации представлена впервые.

### **Адаптация электросетевого хозяйства (на примере Северо-Западного ФО)**

Оценка возможной адаптации электросетевого хозяйства к опасным явлениям погоды была выполнена на примере Северо-Западного ФО. Характеристики территорий и объектов электросетевого хозяйства субъектов РФ, входящих в Северо-Западный ФО, представлены в таблице 3.28.



**Характеристики территорий и объектов электросетевого хозяйства**

Субъект РФ	Площадь территории, км <sup>2</sup>	Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>	Общая протяженность ЛЭП, км	Плотность ЛЭП, %
Мурманская	144 902	5,3	5 280	3,6
Калининградская	15 125	64,1	14 039	92,8
Вологодская	144 527	8,2	40 300	27,9
Коми	416 774	2,1	21 057	5,1
Архангельская	589 913	2,0	26 000	4,4
Карелия	180 520	3,5	11 964	6,6
Ленинградская	83 908	83,0	61 885	73,8
Новгородская	54 501	11,4	23 000	42,2
Псковская	55 399	11,8	45 000	81,2

Из данных таблицы видно, что наибольшей плотностью ЛЭП обладают Калининградская, Ленинградская и Псковская области. При этом Калининградская и Ленинградская области имеют так же и наибольшую плотность населения — 64,1 и 83,0 чел./км<sup>2</sup> соответственно. Наименьшая плотность ЛЭП характерна для Мурманской, Архангельской областей, Республик Карелия и Коми, где и плотность населения также мала.

**Оценка экономической эффективности модернизации ЛЭП, нацеленной на снижение риска от сильного ветра, шквала и гололедно-изморозевых отложений**

В качестве адаптационной меры по предотвращению последствий сильных ветров, шквала и ГИО в условиях оцененных рисков для объектов электросетевого хозяйства, и в первую очередь воздушных линий электропередач (ЛЭП), принимается стратегия поэтапной модернизации — замены изношенной и устаревшей инфраструктуры на более устойчивые к воздействию ветра и менее затратные конструкции.

Обоснование мер по адаптации к сильным ветрам, шквалу и ГИО объектов передачи электроэнергии на основе технической модернизации ЛЭП выполнено с использованием метода экономического оценивания эффективности инвестиционных проектов. Основные показатели метода — сумма предполагаемых вложений в проект, поток доходов, срок окупаемости, уровень доходности.

Объем инвестиций в проект состоит из затрат на материалы, установку, эксплуатацию, контроль состояния опор и линий, плановый ремонт для

протяженности электросетей различного напряжения. Электросети высокого и среднего класса напряжения отличаются по степени оснащенности. Последние оснащены хуже, но их протяженность гораздо больше. Аварии ЛЭП — обрыв проводов и прекращение электроснабжения среднего класса напряжения происходят заметно чаще (показателем является число аварий в год). Износ объектов инфраструктуры электросетевого хозяйства по Северо-Западному федеральному округу составляет 35—75 %. При расчетах принимается условие, что износу подвержено 40 % ЛЭП для субъектов РФ исследуемой территории.

Для характеристики протяженности ЛЭП приняты следующие условия.

Экономический риск, связанный с воздействием определенного ОЯ, характеризует потенциально возможную величину ущерба, наносимого этим опасным явлением, и адекватен величине затрат на ликвидацию последствий, т. е. имеет смысл расхода на ответную адаптацию. Отсюда следует, что на территории с известным режимом ОЯ и уровнем индустриального развития, капитальные вложения в превентивные меры адаптации поэтапно приведут к снижению экономического риска и будут соответствовать потоку прибыли от реализации проекта.

В качестве годовой прибыли принят суммарный экономический риск, создаваемый такими опасными явлениями, как очень сильный ветер, шквал, сильное гололедно-изморозевое отложение. В модель экономического оценивания включена величина экономического риска при максимально возможном числе случаев ОЯ в году. Экономический риск, создаваемый очень сильным ветром, шквалом и сильными гололедно-изморозевыми отложениями, а так же сумма этих экономических рисков представлены в таблице 3.29.

В таблице 3.30 представлены экономические характеристики проекта по модернизации ЛЭП, мотивированной на снижение рисков, создаваемых опасными явлениями. Стоимость установки одного километра ЛЭП с учетом материалов взята по средней цене — 850 тысяч рублей [[http://elektrik-master.ru/ceny\\_na\\_stroitelstvo\\_lep](http://elektrik-master.ru/ceny_na_stroitelstvo_lep)]. В размер прибыли включена средняя статистическая жизнь россиянина — 40 млн руб. [Быков, 2007]. Этот гуманитарный стоимостный эквивалент рекомендуется учитывать при проведении проектных социально-экономических расчетов, связанных с гибелью людей, а так же при оптимизации мероприятий и затрат на их реализацию, направленных на снижение риска и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций.

Простой срок окупаемости проекта рассматривался для нескольких уровней масштаба модернизации: 100 % линий электропередач, т. е. гипотетически обеспечение нулевого риска, 50 % и 20 %. Данные о простом сроке окупаемости для субъектов Северо-Западного Федерального округа для различных долей модернизации представлена в таблице 3.31.

Таблица 3.29

**Экономический риск (млн руб.), создаваемый опасными явлениями  
погоды при максимально возможном числе случаев в году**

Субъект РФ	Экономический риск, млн руб.			Всего
	Ветер	Шквал	ГИО	
Мурманская	388,3	0,01	654,0	1042,3
Калининградская	420,5	0,16	0,0	420,6
Вологодская	11,0	0,01	0,0	11,0
Коми	7,5	0,01	12,1	19,6
Архангельская	48,0	0,04	154,7	202,8
Карелия	45,0	0,02	55,1	100,1
Ленинградская	243,4	2,73	520,7	766,8
Новгородская	6,3	0,02	22,4	28,7
Псковская	3,2	0,02	24,7	27,9

Таблица 3.30

**Экономические характеристики инвестиции в проект модернизации ЛЭП**

Субъект РФ	Протяженность ЛЭП, L км	Инвестиция, IC L · 850 тыс. руб.	Прибыль, CFt тыс. руб. / год
Мурманская	2 112	1 795 200	1 082 308
Калининградская	5 615	4 773 260	460 642
Вологодская	16 120	13 702 000	51 005
Коми	8 422	7 159 380	59 646
Архангельская	10 400	8 840 000	242 763
Карелия	4 785	4 067 760	140 127
Ленинградская	24 754	21 040 900	806 840
Новгородская	9 200	7 820 000	68 712
Псковская	18 000	15 300 000	67 940

Таблица 3.31

**Простой срок окупаемости (число лет) для различных долей  
протяженности ЛЭП**

Субъект РФ	Доля протяженности ЛЭП, %		
	<i>100</i>	<i>50</i>	<i>20</i>
Мурманская	2	1	0
Калининградская	10	5	2
Вологодская	269	134	54
Коми	120	60	24
Архангельская	36	18	7
Карелия	29	15	6
Ленинградская	26	13	5
Новгородская	114	57	23
Псковская	225	113	45

По материалам таблицы можно сделать вывод, что реальным представляется построение схем экономического обоснования по модернизации 20 %-ной доли ЛЭП на территории Архангельской, Ленинградской области и Республики Карелия, 50 %-ной доли ЛЭП на территории Калининградской области и 100-ной доли ЛЭП на территории Мурманской области. В таблице данные значения отмечены светло-зеленым цветом. Для республики Коми, Вологодской, Новгородской и Псковской областей предложенная адаптационная мера в виде модернизации ЛЭП не выгодна вследствие длительного срока окупаемости проекта (в таблице выделены светло-красным цветом). Для указанных территорий выгодней принять вариант ответной адаптации — ликвидацию последствий.

В таблице 3.32 представлена величина чистой приведенной стоимости при ставке дисконтирования 10 % (уровень инфляции), на рисунке 3.10 показано изменение NPV во времени. Значения чистой приведенной стоимости (NPV) при различных ставках дисконтирования для проектов адаптации ЛЭП в субъектах РФ, входящих в Северо-Западный ФО, представлены на рисунках 3.11—3.15.

Уточненные сроки окупаемости *PPd* составляют: в Мурманской области — 1,9 года, в Калининградской области — 7,7 лет, в Архангельской области — 13,7 лет, в Республике Карелия — 9,1 года, в Ленинградской области — 7,7 лет.

Для оценок инвестиционной привлекательности проведено рассмотрение соотношения прироста капитала к величине инвестиционных затрат ( $NPV / IC$ ): чем оно больше, тем выгодней вариант. Для рассматриваемых субъектов этот показатель имеет значительные различия. Отношение NPV к IC составляет: в

Мурманской области — 1:22, в Калининградской области — 1:34, в Архангельской области — 1:87, в Республике Карелия — 1:18 года, в Ленинградской области — 1:44.

Внутренняя норма доходности (IRR) определялась методом последовательного приближения и графической интерполяции для срока окупаемости рассматриваемого проекта. Так же для каждого проекта был проведен автоматизированный расчет значения IRR с помощью финансовой функции программы Microsoft Excel.

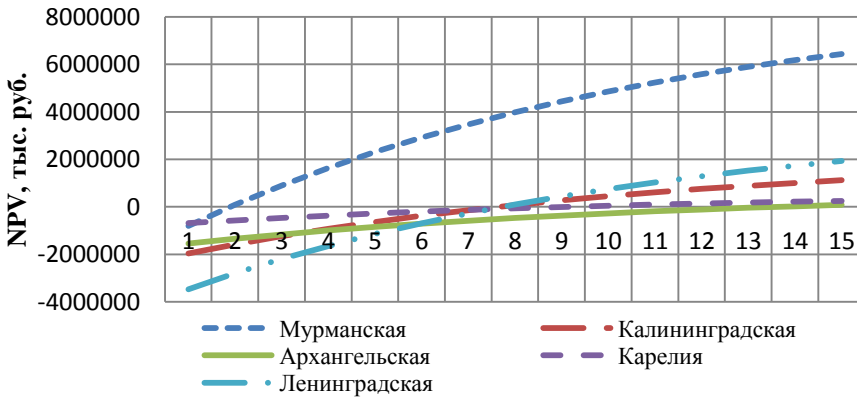


Рис. 3.10. Зависимость текущей приведенной стоимости NPV от периода лет.

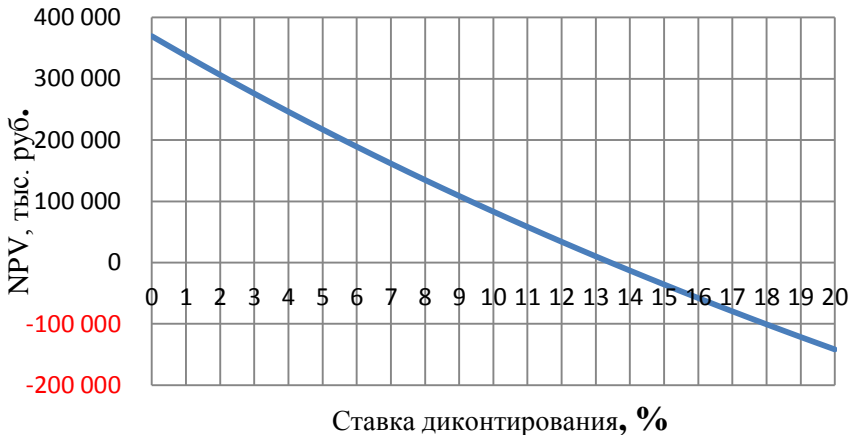


Рис. 3.11. Значения чистой приведенной стоимости (NPV) при различных ставках дисконтирования для проекта адаптации Мурманской области.



Рис. 3.12. Значения чистой приведенной стоимости (NPV) при различных ставках дисконтирования для проекта адаптации Калининградской области.



Рис. 3.13. Значения чистой приведенной стоимости (NPV) при различных ставках дисконтирования для проекта адаптации Архангельской области.

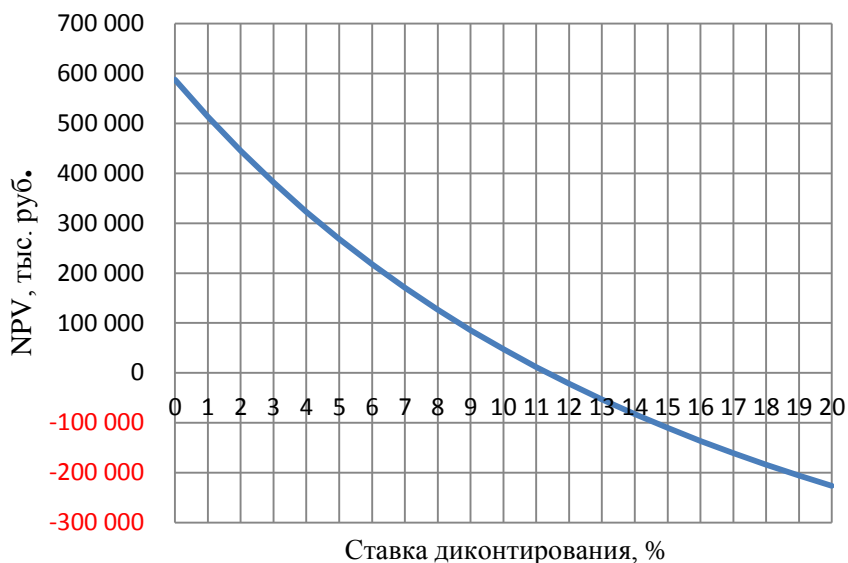


Рис. 3.14. Значения чистой приведенной стоимости (NPV) при различных ставках дисконтирования для проекта адаптации Республики Карелия.

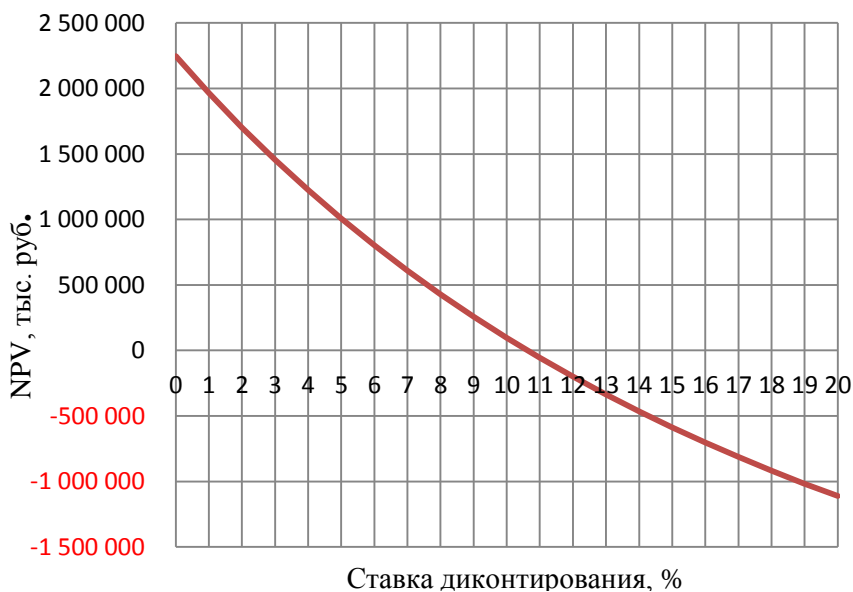


Рис. 3.15. Значения чистой приведенной стоимости (NPV) при различных ставках дисконтирования для проекта адаптации Ленинградской области.

Таблица 3.32

**Дисконтированные значения годового дохода (первая строка)  
и чистая текущая стоимость NPV (вторая строка), тыс. руб.**

Срок окупаемости, число лет							
1	2	7	8	9	10	13	14
<i>Мурманская область</i>							
983 917	894 470	555 395	504 905	459 004	417 277	313 506	285 006
-811 283	83 186	3 473 931	3 978 835	4 437 840	4 855 117	5 892 822	6 177 828
<i>Калининградская область</i>							
418 766	380 696	236 382	214 893	195 357	177 597	133 432	121 301
-1 967 864	-1 587 168	-144 031	70 862	266 219	443 817	885 475	1 006 777
<i>Архангельская область</i>							
220 693	200 630	124 576	113 251	102 955	93 596	70 320	63 927
-1 547 307	-1 346 676	-586 130	-472 879	-369 924	-276 329	-43 570	20 357
<i>Республика Карелия</i>							
127 388	115 808	71 907	65 370	59 428	54 025	40 590	36 900
-686 164	-570 356	-131 354	-65 984	-6 556	47 469	181 821	218 721
<i>Ленинградская область</i>							
733 491	666 810	414 036	376 397	342 179	311 072	233 713	212 466
-3 474 689	-2 807 879	-280 146	96 251	438 430	749 502	1 523 091	1 735 557



Таблица 3.33

**Значения чистой приведенной стоимости (NPV) для проекта модернизации ЛЭП на территории субъектов Северо-Западного федерального округа в зависимости от величины процентной ставки**

Процентная ставка	Чистая приведенная стоимость NPV, тыс. руб.				
	Мурманская обл.	Калининградская обл.	Архангельская обл.	Республика Карелия	Ленинградская обл.
0	369 417	1 298 507	1 630 677	587 720	2 246 539
1	337 375	1 138 055	1 388 813	513 635	1 965 498
2	306 168	987 796	1 170 945	445 153	1 702 310
3	275 764	846 936	974 265	381 761	1 455 587
4	246 136	714 756	796 332	323 005	1 224 067
5	217 256	590 598	635 020	268 473	1 006 598
6	189 096	473 863	488 475	217 796	802 129
7	161 633	364 002	355 073	170 643	609 702
8	134 842	260 514	233 393	126 713	428 437
9	108 701	162 941	122 186	85 736	257 533
10	83 186	70 862	20 357	47 469	96 251
11	58 278	-16 109	-73 064	11 690	-56 083
12	33 956	-98 326	-158 928	-21 802	-200 090
13	10 201	-176 114	-237 991	-53 188	-336 341
14	-13 005	-249 774	-310 921	-82 632	-465 360
15	-35 682	-319 580	-378 311	-110 286	-587 630
16	-57 844	-385 789	-440 688	-136 285	-703 598
17	-79 509	-448 634	-498 522	-160 755	-813 674
18	-100 692	-508 331	-552 230	-183 808	-918 237
19	-121 409	-565 082	-602 187	-205 549	-1 017 640
20	-141 673	-619 072	-648 727	-226 073	-1 112 207

Для территории Архангельской области величина NPV близка к нулю (таблица 3.33), параметр IRR практически совпадает с первоначальной ставкой дисконтирования и составляет 10,2 %. Следовательно, проект является предельным по эффективности, а увеличение ставки дисконтирования может сделать его преждевременно убыточным. Практически аналогичная ситуация прослеживается для территорий Калининградской и Ленинградской областей, где IRR составляет 10,8 % и 10,6 %, соответственно. Наибольший уровень

рентабельности инвестиции в проект (IRR = 13,4 %) в Мурманской области. В Республике Карелия параметр IRR составляет 11,3 % (таблица 3.34).

Таблица 3.34

**Значения внутренней нормы доходности (IRR)**

Субъект РФ	IRR, %
Мурманская область	13,4
Калининградская область	10,8
Архангельская область	10,2
Республика Карелия	11,3
Ленинградская область	10,6

- Проведенная оценка рисков возникновения неблагоприятных последствий опасного явления и экономических рисков (ущербов) показала, что большая часть исследуемой территории лежит в зоне недопустимых (чрезмерных) рисков, которые обусловлены, главным образом, большой вероятностью возникновения ОЯ.

- На основе оценки рисков предложено несколько вариантов адаптационной стратегии, а именно поэтапной модернизации с разной степенью замены устаревшей инфраструктуры (100%-ая, 50%-ая, 20%-я доля замены от части изношенных основных фондов).

- Проведено экономическое обоснование проектов адаптации, позволившее количественно оценить экономические характеристики проектов.

- Анализ результатов показал, что для различных областей СЗФО, проекты адаптации имеют разную эффективность.

- Наиболее эффективной выбранная адаптационная стратегия является для Мурманской области, далее идет Калининградская область.

- Для территорий Архангельской, Калининградской и Ленинградской областей значения внутренней нормы доходности близки к ставке дисконтирования, что делает проекты адаптации предельными по эффективности, а увеличение ставки дисконтирования может сделать их преждевременно убыточными.

- Для территорий Новгородской, Псковской, Вологодской областей и Республики Коми предложенная мера в качестве адаптации ЛЭП невыгодна. Здесь выгодней принять вариант ответной адаптации — ликвидацию последствий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований не позволяют считать анализ затронутых в ней проблем завершенным. Очевидна необходимость дальнейшего развития моделирования климата, которое лежит в основе анализа будущих рисков и разработки адаптации. Не до конца разработана методология оценки медленных изменений климата из-за отсутствия полной ясности физических процессов, формирующих последствия этих изменений. Еще предстоит совершенствование системы экономических оценок эффективности адаптационных мер в условиях неопределенности будущего климата.

Тем не менее, работа по созданию книги позволила сделать ряд заключительных выводов по данной проблематике:

1. Последствия изменения климата, представляемые в настоящее время в основном в качественной форме и зачастую имеющие очевидный смысл, должны получать количественные характеристики в виде оценки рисков и их допустимости.

2. Климатологи, занимающиеся обслуживанием экономики, должны участвовать в разработке нормативных документов по учету климатических данных в хозяйственной деятельности, как одного из основных видов адаптации к изменениям климата. При этом появляется необходимость в решении ряда фундаментальных задач климатологического обслуживания, например, определение необходимой длительности метеорологических рядов, учет нестационарности климата при расчетах рисков и т. д.

3. Проводя актуализацию и гармонизацию нормативных документов, необходимо разрабатывать экономическое обоснование введения обновленных нормативных параметров.

4. В международном плане следует предусмотреть в задачах ГРОКО введение в обязанности национальных гидрометслужб расчет показателей погодно-климатических рисков и предложения по мерам адаптации при управлении рисками, разрабатываемые совместно с потребителями климатической информации.

## Литература

Адаптация к изменению климата в странах Европы и Центральной Азии (ЕЦА) (2009). // Информационный бюллетень Всемирного Банка. Вып. № 5. 5 с.

*Акентьева Е. М., Кобышева Н. В.* (2011). Стратегия адаптации к изменению климата и технической сфере для России // Труды ГГО. Вып. № 563. С. 60—77.

*Акентьева Е. М., Тюсов Г. А.* (2015). Использование программного продукта ClimРАСТ для оценок воздействия климатических факторов на производство электроэнергии (на примере функционирования ТЭС и АЭС) // Труды ГГО. Вып. № 578. С. 86—100.

*Акимов В. А., Лесных В. В., Радаев Н. Н.* (2004). Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. — М.: Деловой экспресс. 352 с.

*Акимов В. А., Латин В. Л., Панов В. И., Пучков В. А., Тамаков В. И., Фалеев М. И.* (2002). Надежность технических систем и техногенный риск. Учебное пособие. — М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс». 368 с.

*Анисимов О. А., Белолуцкая М. А.,* (2002). Оценка влияния изменения климата и деградации вечной мерзлоты на инфраструктуру в северных регионах России. // Метеорология и гидрология. № 6. С 15—22.

*Анисимов О. А., Лавров С. А.* (2004). Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных объектов ТЭК. // Технологии ТЭК. № 3. С 78—83.

*Анисимов О. А., Белолуцкая М. А., Григорьев М. Н., Инстанес А., Кокорев В. А., Оберман Н. Г., Ренева С. А., Стрельченко Ю. Г., Стрелецкий Д., Шикломанов Н. И.* (2010). Основные природные и социально-экономические последствия изменения климата в районах распространения многолетнемерзлых пород: прогноз на основе синтеза наблюдений и моделирования. // Сб. статей под ред. О. А. Анисимова. — М.: Гринпис. 44 с.

Архангельская область в цифрах. (2009). / Краткий статистический сборник. — Архангельск. 142 с.

Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций. Российская Федерация. (2011). / под общ. ред. С. К. Шойгу. — М.: Феория. 720 с.

*Бедрицкий А. И., Коришунов А. А., Хандожко Л. А., Шаймарданов М. З.* (2007). Гидрометеорологическая безопасность и устойчивое развитие России // Право и безопасность. № 1—2.

*Быков А. А.* (2007). О методологии экономической оценки среднестатистической жизни человека (пояснительная записка) / Проблемы анализа риска. Т. 4. № 2. С. 178—191.

*Быков А. А., Акимов В. А., Фалеев М. И.* (2004). Нормативно-экономические модели управления рисками // Деловой экспресс. Т.1. № 2. С. 125—137.

*Быков А. А., Мурзин Н. П.* (1997). Проблемы анализа безопасности человека, общества и природы. — СПб: Наука. 245 с.

*Васильев М. П., Кобышева Н. В.* (2015). Уязвимость социальной сферы регионов России к опасным гидрометеорологическим явлениям // Труды ГГО. Вып. № 578. С. 59—74.

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации (2014). — М.: ИГКЭ Росгидромета и РАН. 1008 с.

*Галюк Л. П., Кобышева Н. В., Рыбалка Н.* (2011). Оценка риска доверия климатическому прогнозу методом нечеткой логики. // Труды ГГО. Вып. № 564. С. 155—165.

*Галюк Л. П., Самолетова Н. А.* (2008) Оценка риска, создаваемого смерчами, для Волгодонской АЭС // Труды ГГО. Вып. № 557. С. 225—230.

*Грищенко И. В.* (2008). Мониторинг опасных гидрометеорологических явлений на акваториях арктических морей в условиях изменения климата. / Всероссийская конференция с международным участием «Северные территории России: проблемы и перспективы развития» — Архангельск.

*Груза Г. В., Ранькова Э. Я.* (2012). Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. — М.: ИГКЭ. 87с.

*Груза Г. В., Ранькова Э. Я.* (2004). Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата. // Метеорология и гидрология. № 4. С. 50—66.

*Иванова Е. В.* (2011) Специализированные характеристики интенсивности осадков для прикладных целей. // Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. геогр. наук, специальность: 11.00.09. — СПб: ГГО. 20 с.

*Карлин Л. Н., Абрамов В. М.* (2006). Управление энвиронментальными и экологическими рисками — СПб: РГГМУ. 332с.

*Катцов В. М., Порфирьев Б. Н., Рогинко С. А.* (2011). Изменения климата и международная безопасность. // Рос.акад.наук, Отделение обществ.наук. — М.: Д'АРТ.

Климатические факторы возобновляемых источников энергии (2010). / Под ред. Е. Е. Елистратова, Н. В. Кобышевой, Г. И. Сидоренко. — СПб: Наука.

*Клячко М. А.* (2004). Руководство по разработке и применению сценариев бедствия на урбанизированных территориях // Научно-технический журнал ВНИИТПИ. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. № 1 С. 22—25.

*Клячко М. А.* (2003) Уязвимость главный фактор анализа и управления риском // Научно-технический журнал ВНИИТПИ Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. № 5. С. 26—28.

*Кобышева Н. В.* (2015). Методика экономического обоснования адаптационных мероприятий связанных с изменением и изменчивостью климата // Труды ГГО. Вып. № 574. С. 5—38.

*Кобышева Н. В., Кобышев Е. А.* (2001). Районирование территории России по степени опасности смерчей. // В кн.: Природные опасности России. Т. 5. Гидрометеорологические опасности. — М.: «КРУК». С. 165—167.

*Кобышева Н. В., Ключева М. В., Кулагин Д. А.* (2015). Климатические риски теплоснабжения городов. // Труды ГГО. Вып. № 578. С. 75—85.

*Кобышева Н. В., Кобышев Е. А.* (2001). Районирование территории России по степени опасности возникновения смерчей. // В кн.: Природные опасности России. Гидрометеорологические опасности. — М.: «КРУК». С. 165—167.

*Кобышева Н. В., Кобышев Н. А.* (2012). Экономическое обоснование выбора возобновляемых источников энергии (на примере для Дальневосточного региона России) // Труды ГГО. Вып. № 565.

*Кобышева Н. В., Наумова Л. П., Ключева М. В.* (1984). Методы анализа однородности климатических рядов. // Труды ГГО. Вып. № 485. С. 29—34.

*Кобышева Н. В., Наровлянский Г. Я.* (1978). Климатологическая обработка метеорологической информации. — Л.: Гидрометеоздат. 296 с.

*Коршунов А. А., Шаймарданов М. З., Шаймарданова И. Л.* (2010). Гидрометеорологическая безопасность и устойчивое развитие экономики России для обслуживания потребителей: результаты статистического анализа опасных условий погоды // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Вып. № 174.

*Кузнецов Е. П., Кобышева Н. В., Дацюк Т. А., Мусийчук Ю. И., Васильев В. А., Голубев С. Е., Таратин В. А.* (2012). Качество теплоснабжения городов. — СПб: ПЭИПК. 286 с.

*Малявина Е. Г., Иванов Д. С., Фролова А. А.* (2013). Представление климатической информации в форме специализированного "типового года" // Промышленное и гражданское строительство. № 9. С. 26—29.

*Малевский-Малевич, С. П., Молькентин, Е. К., Надежина, Е. Д. и др.* (2007). Моделирование и анализ возможностей экспериментальной проверки эволюции термического состояния многолетнемерзлых грунтов. // Криосфера Земли. № XI (1). С. 29—36.

*Махутов Н. А.* (2007). Правовое и нормативное регулирование безопасности объектов техно-сферы // Безопасность и живучесть технических систем: Труды II Всероссийской конференции. — Красноярск: ИВМ СО РАН. С. 5—12.

Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. (2012). / Под ред. С.М. Семенова. — М.: Росгидромет.

МГЭИК (2014). Изменение климата. Воздействия, адаптация и уязвимость – Резюме для политиков. Вклад Рабочей группы II в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата Всемирная Метеорологическая Организация. — Женева: ВМО. 34 с.

*Музалевский А. А., Карлин Л. Н.* (2011). Экологические риски: теория и практика — СПб: РГГМУ. ВВМ. 448 с.

*Нименья И. Н.* (2004). Эконометрика — СПб: Изд. дом «Нева». 210 с.

Обзор доклада Николаса Стерна «Экономика изменения климата» Издание 2-ое, дополненное и переработанное (2009) / Кокорин А. О., Кураев С. Н., Юлкин М. А. WWF, Strategic Programme Fund (SPF). — М.: WWF России. 60 с.

Обзор международного опыта в области адаптации больших городов к климатическим изменениям и перспективы разработки стратегии адаптации для города Москвы. (2009) — М.: РОО «Эколайн».

Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу. (2011). /под ред. д.ф.-м.н. В. М. Катцова, д.э.н. проф. Б. Н. Порфирьева. — М.: Д'АРТ. 252 с.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. (2008). — М.: НИЦ «Планета». 29 с.

*Ниमेंья И. Н.* (2004). Эконометрика. — СПб: Изд. дом «Нева». 210 с.

*Панфутова Ю. А., Самолетова И. А. и др.*(2007). Опасные явления погоды на равнинной части Российской Федерации //Труды ГГО. Вып. № 556. С. 145—156.

Природные опасности России. Т. 5. Гидрометеорологические опасности /под ред. Г. С. Голицина, А. А. Васильева. — М.: «КРУК». 295 с.

ПУЭ -7. (2002) «Правила устройства электроустановок». — М.: ОАО «ВНИИЭ».

РД 52.04.563-2013. (2013) Инструкция по подготовке и передаче штормовых сообщений наблюдательными подразделениями. — СПб: 49 с.

РД 52.88.599-2008 (2008) Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений. — М.: Росгидромет. 31 с.

Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики. (2008) / под ред. д.г.н. Н. В. Кобышевой. — СПб: 336 с.

*Русин И. Н.* (2003) Стихийные бедствия и возможности их прогноза. / Учебное пособие. — СПб: РГГМУ. 138 с.

*Салль М. А.* (2015). Климатические риски: временные тренды и гетероскедастичность // Метеорология и гидрология. № 7. С. 84—93.

*Семенов В. А.* (2012). География климатообусловленных изменений опасных наводнений на реках России в конце XX - начале XXI столетий. // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Вып. № 177. С 160—174.

СП 131.13330.2012. (2012). Строительная климатология / Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*. — М.: Росстрой. 110 с.

Стратегические риски России: оценка и прогноз (2005). / под общ. редакцией Ю. Л. Воробьева. — М.: Деловой экспресс. 392 с.

*Хандожко Л. А.* (1993). Практикум по экономике гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства. — СПб: Гидрометеоздат. 311 с.

*Хандожко Л. А.* (2005). Экономическая метеорология. — СПб: Гидрометеоздат. 490 с.

*Хандожко Л. А.* (2006). Методические указания по дисциплине «Экономическая метеорология». — СПб: РГГМУ 22 с.

*Школьник И. М., Мелешко В. П., Катцов В. М.* (2006). Возможные изменения климата на европейской части России к концу XXI века: расчет с региональной моделью ГГО. // Метеорология и гидрология. № 3. С. 5—16.

*Школьник И. М., Мелешко В. П., Кароль И. Л., Киселев А. А., Надежина Е. Д., Говоркова В. А, Павлова Т. В.* (2014). Ожидаемые изменения климата на территории Российской Федерации в XXI веке // Труды ГГО. Вып. № 575. С. 65—119.

Энциклопедия климатических ресурсов России (2005) / под ред. Н.В. Кобышевой., — СПб: Гидрометеоздат. 319 с.

Accounting for the Effects of Climate Change (2009). Supplementary Green Book Guidance. — Defra. London.

*Alexander L., Yang H., Perkins S.* (2013). ClimPact. Indices and software. / World Climate Programme. — New South Wales University of Technology. 52 pp.

*Anisimov O., Reneva S.* (2006). Permafrost and Changing Climate: The Russian Perspective. // *Ambio* Vol. 35. № 4. P. 169—175: Royal Swedish Academy of Sciences. <http://www.ambio.kva.se>

*Baettig B., Wild M., Imboden M.* (2007). A climate change index: Where climate change may be most prominent in the 21st century // *Geophysical Research Letters*. Vol. 34.

*Fay M., Patel H.* (2008). A simple index of vulnerability to climate change. / Background paper prepared for World Bank report. — Washington. DC.

[http://elektrik-master.ru/ceny\\_na\\_stroitelstvo\\_lep](http://elektrik-master.ru/ceny_na_stroitelstvo_lep)

IPCC (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. — Geneva. Switzerland. 104 pp.

IPCC (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. — Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 582 pp.

*Di Mauro M.* (2014). Quantifying risk before disasters occur: hazard information for probabilistic risk assessment. / Risk Knowledge Section. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). — Bulletin WMO. Vol. 63 (2).

The Green Book (2003). Appraisal and Evaluation in Central Government Treasury Guidance. — London: TSO.

World Risk Report. (2014). UNU-EHS and the Alliance Development Works/Bündnis Entwicklung Hilft (BEH). <http://www.ehs.unu.edu/article/read/world-risk-report-2014>

[www.defra.gov.uk/adaptation](http://www.defra.gov.uk/adaptation)

[www.hm-treasury.gov.uk/greenbook](http://www.hm-treasury.gov.uk/greenbook)