

ГЛАВА 12 ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Н. В. Кобышева

Климат оказывает очевидное влияние на потребительские свойства многих объектов, которые занимают важное место в жизни человека. Это касается прежде всего жилища, транспортных средств и путей, технических систем и изделий. Климат в значительной мере определяет их эффективность, долговечность и безопасность в использовании. При изменении климата их свойства меняются, причем изменения могут быть как отрицательными, так и положительными, если иметь в виду экономические интересы и здоровье населения.

Меняющийся климат приводит не только к изменению свойств разных объектов, которые человек использует в работе и повседневной жизни, но и к изменению объема и доступности энергетических ресурсов. Это касается запасов гидроэлектроэнергии, ветровой энергии, солнечной энергии, природной тепловой энергии и ряда других ее видов.

В данной главе обсуждаются методологические аспекты оценки влияния изменения климата на технические системы и возобновляемые энергетические ресурсы, а также приводятся примеры таких оценок.

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Основными этапами исследований, направленных на оценку последствий изменения климата для технических систем, являются

(Climate Change 2007, 2007a, 2007b; Climate Change Impacts..., 2004):

- формирование специализированных климатических показателей, выражающих влияние метеорологических факторов на объекты и процессы, происходящие в технической сфере;

- трансформация специализированных данных в технические параметры в рамках нормативных документов (Строительные нормы и правила, СНиП; Правила устройства энергооборудования, ПУЭ; Правила и нормы по атомной энергетике, ПНАЭ);

- расчет погодно-климатических рисков;
- определение климатических ресурсов.

Информационной климатологической базой проведения этих исследований служат, помимо архивных метеорологических данных, результаты ансамблевого моделирования климата с последующим даунскейлингом (downscaling — буквально спуск по масштабу).

При получении оценок последствий изменения климата для технических систем используются результаты, полученные по всем четырем указанным выше направлениям исследований. На завершающем этапе необходимо проводить также и экономический анализ.

Оценки последствий изменения климата являются важным элементом обоснования мер по адаптации.

При оценке последствий изменения климата для технических систем используются, в том числе, два общеизвестных и принятых за рубежом подхода: bottom-up (снизу вверх) и top-down (сверху вниз).

При первом подходе оценка последствий для какой-либо системы получается как сумма частных оценок для ее элементов, непосредственно наблюдаемых (измеряемых), например, повреждения зданий вследствие проникающих дождей.

При втором подходе изучаются последствия аварии. При этом составляются физико-статистические модели, как например, в работе (Анапольская, Гандин, 1973).

Для перехода от специализированных климатических показателей к нормативным параметрам используются указания, таблицы и формулы из соответствующих нормативных документов (СНиП, ПУЭ, ПНАЭ). Методика расчетов риска изложена в работе (Кобышева и др., 2008).

Определению климатических ресурсов и их анализу на территории России посвящена работа (Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации, 2005).

Последовательность действий по изложенной выше схеме можно продемонстрировать на примере.

Предположим, что необходимо в некотором географическом пункте выяснить последствия потепления климата для строительства ограждающих конструкций здания — стен.

Специализированными климатическими характеристиками в этом случае являются 92%-ная квантиль наиболее холодной пятидневки (н.х.п.) и число градусосуток отопительного периода.

Переход от этих характеристик к термическому сопротивлению проектируемой стены, которое однозначно связано с числом градусосуток (таблица в СНиП “Строительная климатология”) и (простой формулой) с квантилью н.х.п., изложен в СНиП.

Толщина стены δ в свою очередь определяется по формуле $\delta = R\gamma$, где R — термическое сопротивление материала стены, γ — расчетный коэффициент теплопроводности материала ограждающей конструкции (определяется по таблице СНиП). Расчеты показывают, что при повышении средней температуры отопи-

тельного периода на 2°C термическое сопротивление стены увеличивается на 20%.

Для оценки возможного негативного влияния “занормативной” тепловой нагрузки на стену используется понятие “риска”. По определению, риск есть произведение вероятности возникновения занормативной нагрузки $P(t_p > t_n)$ на величину ущерба Y , при этом возникающего:

$$\text{Риск} = YP(t_p > t_n).$$

Здесь t_n и t_p — соответственно нормативное и реализовавшееся значения температуры. Величина ущерба Y определяется конкретными обстоятельствами, в частности, в рассматриваемом случае перерасходом топлива на обогрев помещения.

Казалось бы, для уменьшения риска перегрева следует проектировать стену более тонкой. Однако экономический анализ показывает, что этого делать не следует. Для исключения перегрева при потеплении более полезно уменьшить отопление здания, что в связи с повышением цен на топливо приведет к экономии средств на отопление. Если потепления не произойдет, то в этом случае потерь не будет, так как стена рассчитана именно на ту температуру, что была до возможного потепления (Adaptation options for infrastructure..., 2007).

ЭНЕРГЕТИКА

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) включает в себя системы добычи ископаемых энергоносителей (угля, нефти, газа), системы генерации энергии (на основе использования углеводородного топлива, гидроэнергии, ядерной энергии, альтернативных (возобновляемых) источников энергии), а также системы транспортировки энергии. Общее число производственных объектов в ТЭК России приближается сейчас к 1,5 млн. Из них около 400 тыс. объектов относятся к электроэнергетике, около 350 тыс. — к нефтегазодобываю-

щим областям и около 600 тыс. — к объектам газоснабжения.

В настоящее время во всем мире все в большей степени используются альтернативные, возобновляемые источники энергии (солнечная, ветровая и т. д.). Темпы увеличения объемов использования такой энергии беспрецедентны. Россия до последнего времени отставала в развитии этого направления. Однако энергетической стратегией России определено до 2030 г. расширение использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) (Международный конгресс “Дни чистой энергии в Петербурге”, 2010). Пока энергия, получаемая из возобновляемых источников, не включена в топливный баланс страны. Однако при условии осуществления мер государственной поддержки уже к 2030 г. вклад ВИЭ может стать значительным (Николаев и др., 2009).

Все составляющие ТЭК зависят от климата. Для каждой из них разработаны специализированные параметры (индексы), которые выражают специфическую чувствительность объектов энергетики к изменению климата. Именно комплекс данных индексов является в настоящее время методологической основой оценки последствий изменения климата.

Добыча и транспортировка нефти и газа (нефтегазовый комплекс)

В недрах России сосредоточена значительная часть мировых запасов ископаемого углеводородного топлива: до 40% газа, 13% нефти и около 30% угля. Основные запасы газа в России находятся на территории, расположенной севернее 60—64° с. ш., в основном в полярной зоне. При этом в Приобье добывается 90% всего газа (85% в Ямало-Ненецком автономном округе (АО) и 5% в Ханты-Мансийском АО). Здесь же (в основном в Ханты-Мансийском АО и частично в Ямало-Ненецком АО) находятся основные запасы нефти. Отсюда на

запад и юго-запад проложены системы магистральных трубопроводов для транспортировки нефти и газа.

На процессы разведки, добычи и транспортировки углеводородного топлива существенно влияют климатические факторы. Некоторые явления погоды очень усложняют проведение работ. В первую очередь это опасные метеорологические явления (ОЯ): гроза, сильный ветер, метель, туман, ливень, снегопад, гололеда на дорогах.

Одна из составляющих современного изменения климата — увеличение повторяемости ОЯ (рис. 12.1). Это, в свою очередь, создает предпосылки для увеличения частоты природно-техногенных аварий и катастроф.

Одной из основных причин аварий в инфраструктуре нефтегазовой отрасли и, в частности, на буровых скважинах является деградация многолетней мерзлоты и связанные с этим явления. При таянии многолетнемерзлых грунтов скважины деформируются, и их иногда “глушат” затоплением жидкостью, а впоследствии восстанавливают. Это приводит обычно к потерям на 10—20% производительности скважин. Климатическим фактором, приводящим к деградации многолетней мерзлоты, является потепление климата (Changing weather patterns..., 2007).

В районах нефтегазовых промыслов возведены буровые установки, имеющие высоты 30—40 м. На шельфе для добычи нефти и газа используются буровые платформы, на которых также имеются высотные установки. Поэтому эти сооружения чувствительны к ветровым, гололедным и гололедно-ветровым нагрузкам (Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики, 2008).

Низкая температура воздуха ($\leq -30^{\circ}\text{C}$ с ветром и $\leq -35^{\circ}\text{C}$ без ветра) при непрекращающихся работах на буровых установках создает аварийные ситуации. Необходимо отметить, что несмотря на потепление климата в аспекте средних температур, экстремальность климата

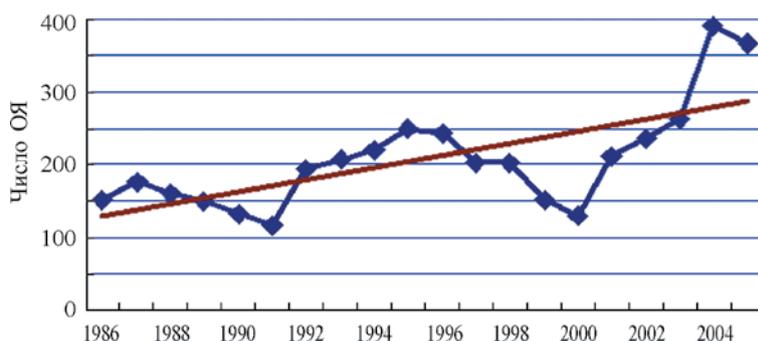


Рис. 12.1. Опасные метеорологические явления на территории Российской Федерации.

увеличивается, и число температурных экстремумов не уменьшается. На рис. 12.2 представлены вероятности возможных аварий или прекращения работ на буровых установках из-за низкой температуры воздуха.

Транспортировка сырой нефти осуществляется по сети промысловых трубопроводов, которые поставляют нефть от скважин к хранилищам на промысле или к магистральным терминалам. По магистральным трубопрово-

дам нефть перекачивают к нефтеперерабатывающим заводам или терминалам танкеров. Нефть и продукты ее переработки перекачиваются насосными (компрессорными) станциями. Переработка нефти выполняется в районе ее добычи или вблизи главных потребителей и рынков сбыта.

Природный газ добывается как вместе с нефтью, так и отдельно из газовых месторождений. Линии газопроводов подразделяются

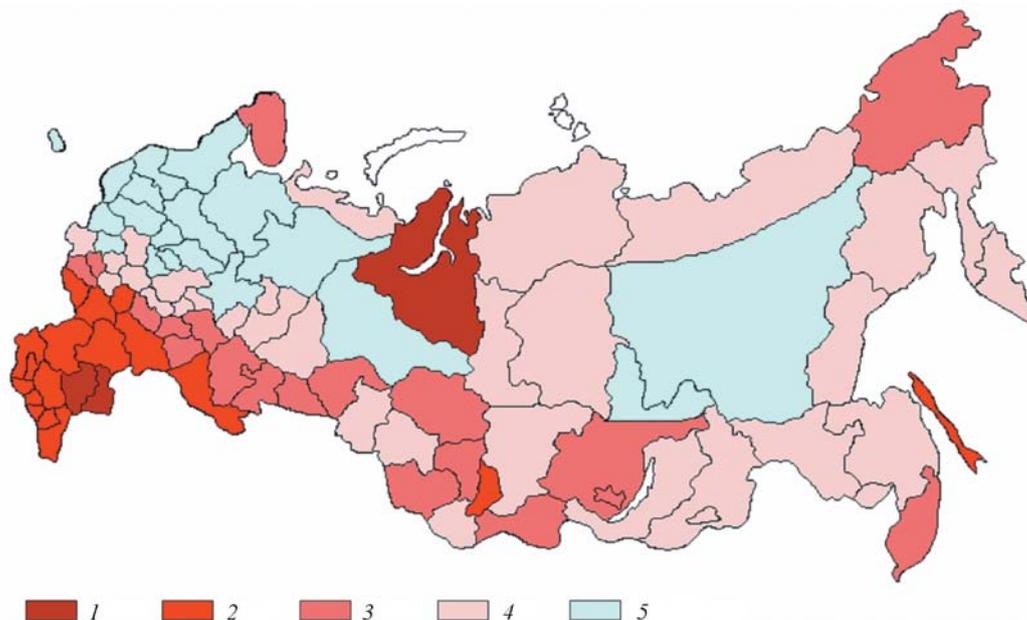


Рис. 12.2. Вероятность (%) возможных аварий и прекращения работ на буровых установках из-за низкой температуры воздуха. 1) >10,0; 2) 5,0—10,0; 3) 2,0—5,0; 4) 1,1—2,0; 5) 0,1—1,0.

на промысловые (газосборные), магистральные и распределительные. Магистральные трубопроводы поставляют газ местным службам, которые распределяют его. Потребителям значительные объемы газа транспортируются специальными танкерами в сжиженном виде. Магистральные трубопроводы, как правило, прокладываются подземно (на глубине 0,8—1,1 м от верха трубы в зависимости от глубины промерзания почвы). В исключительных случаях трубопроводы могут быть проложены по поверхности в насыпи (наземно) или на опорах (надземно).

Вся система транспортировки нефти и газа и ее безопасность зависят от климата и весьма чувствительны к его изменениям.

Изменения температуры воздуха влияют на регулировку подачи газа. Гарантированная мощность турбин на компрессорных станциях рассчитана на давление 760 мм рт. ст. и температуру 15°C. При температуре воздуха выше 15°C мощность турбин уменьшается, давление в газопроводе становится недостаточным.

Зимой в газопроводе при низкой температуре могут образовываться гидратные соединения углеводородов с водой, которые замерзают и образуют пробки. При этом уменьшается или полностью прекращается транспортировка газа по газопроводу.

Неравномерное распределение температуры по трассе газопровода вызывает термическую напряженность труб, что приводит к их гофрированию и образованию свищей.

Экстремальные перепады температуры по сечению трубопроводов также приводят к отказам и авариям, так как для наземных трубопроводов нижняя часть трубы испытывает только сезонные колебания температуры, а верхняя — еще и суточные.

Добыча и транспортировка твердого топлива

Наряду с нефтью и газом значительная доля в топливном балансе России принад-

лежит углю, и в общем объеме энергии, вырабатываемой теплоэлектростанциями (ТЭС), эта доля в перспективе будет увеличиваться (Чубайс, 2007; Христенко, 2007) с 23 до 31%. Уже сейчас на ТЭС в качестве топлива используют кроме природного газа на европейской территории России — лигнит, торф, сланцы, а на азиатской территории — преимущественно уголь. Развитие угольной отрасли — колоссальный ресурс энергетики. Но вместе с тем использование угля сопряжено с ухудшением экологической обстановки. Для преодоления этого необходим переход на новые технологии сжигания топлива.

Следует также иметь в виду, что угольные шахты представляют серьезную опасность из-за возможных взрывов метана, угольной пыли, самовозгорания и горных ударов. Наиболее тяжелыми по своим последствиям являются пожары в горных выработках, которым способствует большая пожароопасность — сочетание высокой температуры и низкой влажности воздуха (Стратегические риски России, 2005). Для уменьшения вероятности столь негативных и часто катастрофических явлений необходимо принимать специальные меры, в частности, проводить при проектировании целевые предварительные исследования. Например, при выборе площадки для ТЭС и ТЭЦ (теплоэлектроцентраль), работающих на угле, необходимо составлять розы ветров, но не столько по данным наземных наблюдений, сколько по данным на высотах до 600 м через каждые 100 м.

Снабжение генераторов энергии, работающих на угле, требует учета числа пыльных бурь и количества осадков. Так, увеличение количества осадков приведет к дополнительному намоканию угля на открытых топливных складах, что на 1—3% уменьшает тепловую экономичность энергоустановок. В масштабах страны это вызывает дополнительный расход топлива 0,5—1 млн. т у. т. (тонн условного топлива) в

год. Повторяемость осадков и пыльных бурь определяет выбор систем закрытых, полукрытых или открытых котельных.

Генерация энергии

Генерацию тепловой и электрической энергии на нефти, газе и угле осуществляют котельные, тепловые электростанции (ТЭС), конденсационные электростанции (КЭС), теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) и государственные районные электростанции (ГРЭС).

Кроме того, тепло- и электроэнергию вырабатывают крупные гидроэлектростанции (ГЭС), использующие энергию падающей воды, а также атомные электростанции (АЭС), использующие ядерное топливо.

Перечисленные предприятия составляют так называемую “большую” энергетику России, и их продукция включена в энергетический баланс страны.

Функционирование этих предприятий зависит от климата, поскольку процесс генерации энергии находится под непосредственным влиянием суточных значений температуры, влажности воздуха и осадков, зависит от их суточных значений. Эта зависимость учтена во многих нормативных величинах, содержащихся в СНиП “Строительная климатология” (температура наиболее холодных суток и пятидневков, продолжительность отопительного периода).

Условия погоды существенно влияют на выработку гидроэлектроэнергии. Особенно важна для проектирования ГЭС информация о режиме осадков, от которого зависят сток и, следовательно, объем притока воды в водохранилище, а также уровни в верхнем и нижнем бьефах. Так, изменение в месячных суммах осадков на 1% в среднем вызывает 1%-ное изменение в выработке электроэнергии на ГЭС (Энциклопедия климатических ресурсов..., 2005).

Если объем притока воды оказывается значительно больше нормы, то могут по-

требоваться холостые сбросы воды, представляющие опасность для населенных пунктов, расположенных ниже по течению. Если же объем притока будет меньше нормы, то водохранилище может оказаться незаполненным до нормального подпорного горизонта. Возникающую при этом недопроизводство ГЭС приходится в этих случаях компенсировать энергией от других источников.

Предполагаемое в рамках некоторых сценариев в течение XXI в. увеличение осадков, с одной стороны, может привести к учащению затопления объектов, расположенных вблизи ГЭС, и к затратам, связанным с необходимостью изменения режима работы ГЭС. С другой стороны, ожидаемое в 2010—2015 гг. изменение притока воды к действующим при ГЭС водохранилищам благоприятно повлияет на выработку электроэнергии. Исключение составят Цимлянская, Краснодарская, Новосибирская и Зейская ГЭС, где ожидается уменьшение выработки электроэнергии.

На рис. 12.3 показаны возможные изменения выработки электроэнергии на ГЭС к середине XXI в., рассчитанные по результатам моделирования стока на данный период (Климатические факторы возобновляемых источников энергии, 2011). Данные о слое стока получены по ансамблю 16 моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) в рамках сценария A2 (Special Report on Emission Scenarios, 2000).

Если месячная сумма осадков увеличивается, это приводит к увеличению стока и превышению уровня горизонта водохранилища при ГЭС. При этом нарушается режим работы ГЭС, сокращается выработка энергии.

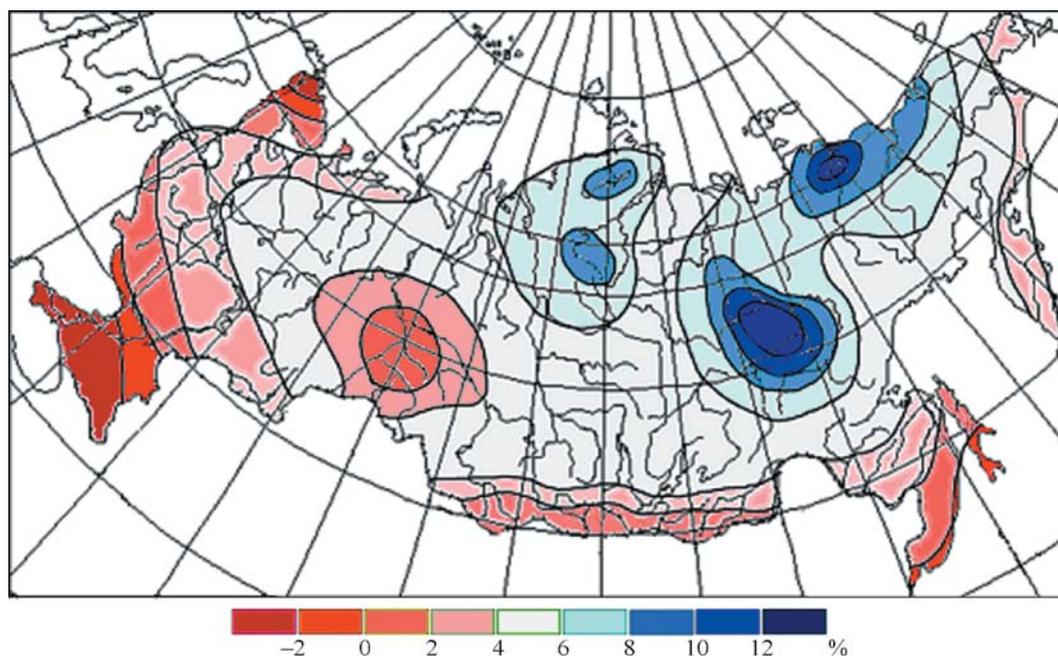


Рис. 12.3. Изменение выработки электроэнергии на ГЭС к середине XXI в. по сравнению с периодом 1981—2000 гг. (Климатические факторы возобновляемых источников энергии, 2011). Использованы мультимодельный климат и сценарий А2.

Транспортировка электроэнергии

Основным техническим средством транспортировки произведенной электроэнергии является линия электропередачи (ЛЭП). Более частые повышения температуры воздуха в зимний период и увеличение случаев выпадения жидких осадков, в том числе переохлажденного дождя, приводят к увеличению рисков аварий на ЛЭП (разрыв проводов и разрушение опор). Аварии на ЛЭП опасны не столько вследствие необходимости восстановления ЛЭП, хотя стоимость восстановительных работ может составлять от 2—3 до 10 млн. руб. Главная опасность состоит в том, что от энергоснабжения отключаются целые районы и в том числе компрессорные станции на магистральных трубопроводах, многие из которых не имеют автономного энергоснабжения. В последнем случае нарушается транспортировка нефти и газа к генераторам энергии, не выра-

батывается энергия, что создает угрозу энергобезопасности (см. рис. 12.4 и 12.5).

Возобновляемые источники энергии

Возобновляемая энергетика в России при определенной поддержке ее развития государством может в перспективе стать важным энергетическим сектором страны с реальным вкладом в суммарное производство электроэнергии и тепла — в 2030 г. он может составить примерно 30—35%.

Следующие основные виды энергии, получаемые из возобновляемых источников, могут “конвертироваться” в тепловую энергию и электроэнергию для нужд экономики и населения: солнечная, ветровая, гидравлическая энергия рек, геотермальная энергия высоко- и низкопотенциального тепла, энергия биомассы. Все эти источники энергии зависят от климата и чувствительны к его изменению. Энер-

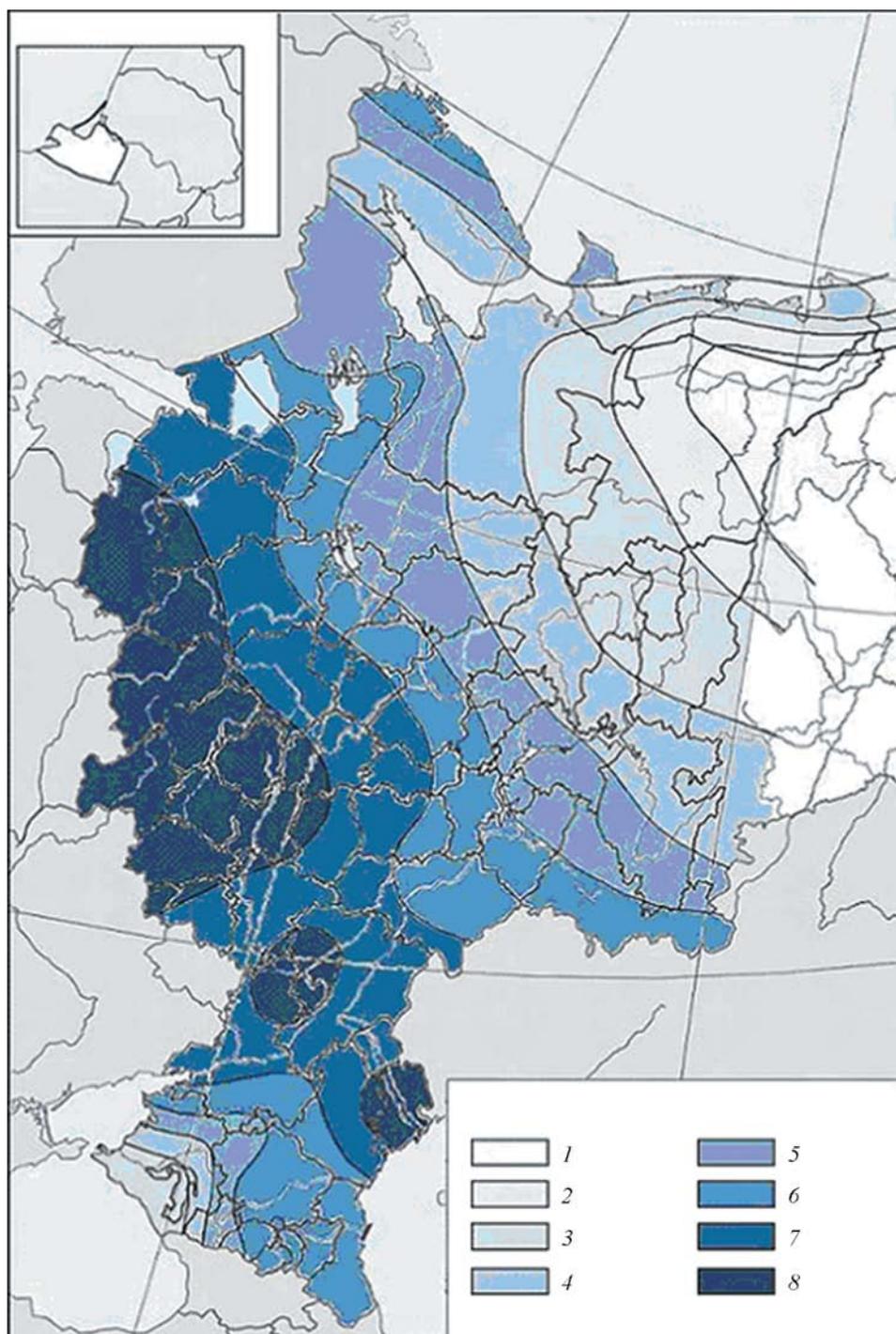


Рис. 12.4. Повторяемость условий, способствующих формированию гололедно-изморозевых отложений на воздушных линиях, включая ЛЭП, январь — февраль 1981—2000 гг. Повторяемость (%) температуры воздуха от -3 до 5°C (1): 5,0—7,5 (2); 7,5—10,0 (3); 10,0—12,5 (4); 12,5—15,0 (5); 15,0—17,5 (6); 17,5—20,0 (7); >20 (8).

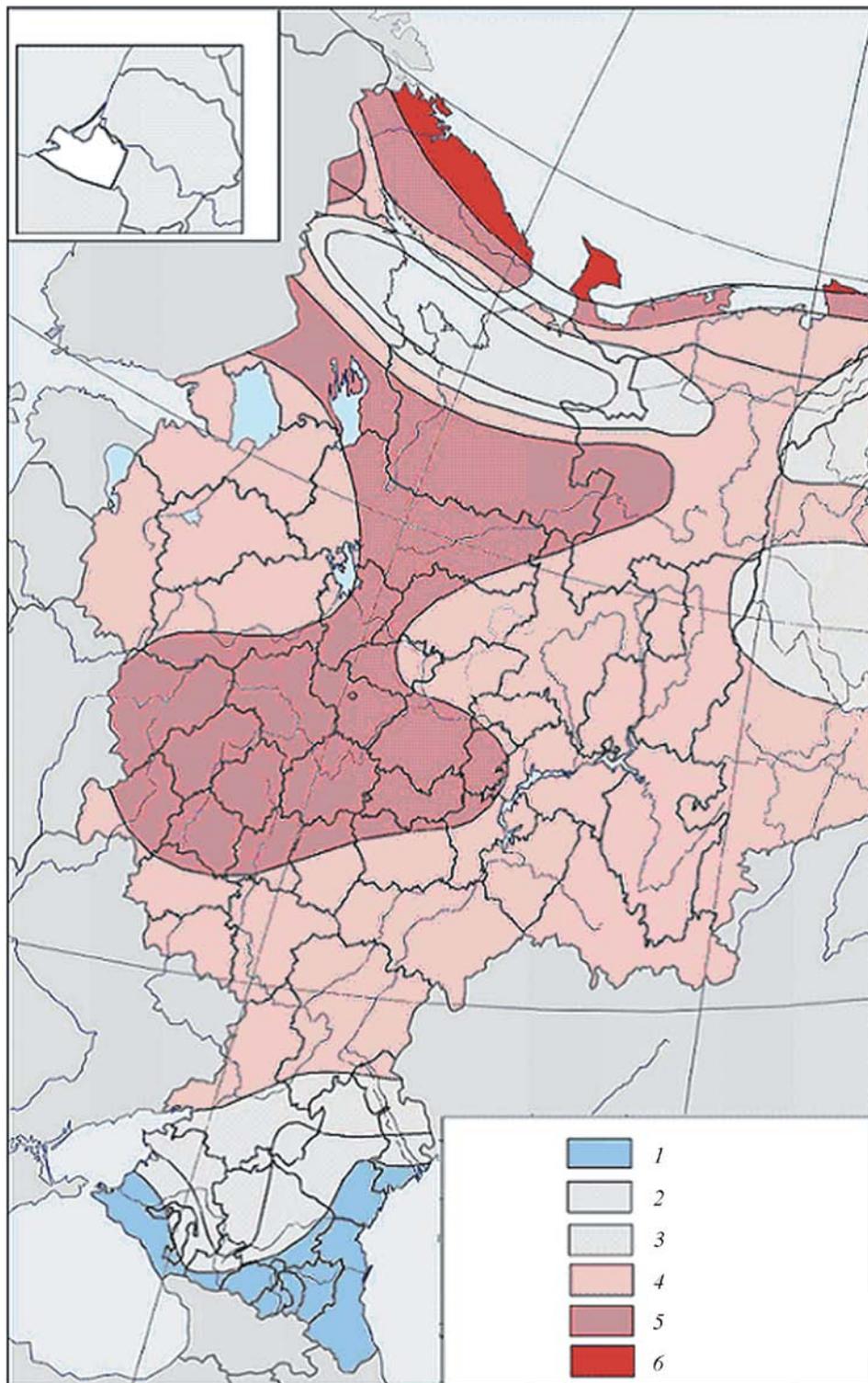


Рис. 12.5. Изменение числа дней в декабре, январе и феврале с условиями, создающими опасные гололедно-изморозевые отложения на ЛЭП, в 2046—2065 гг. по сравнению с 1981—2000 гг. 1) $-2,5$; 2) $-2,5...0,0$; 3) $0,0—2,5$; 4) $2,5—5,0$; 5) $5,0—7,5$; 6) $>7,5$.

гия приливов и волн здесь не рассматривается, так как энергия приливов практически не зависит от климатических условий, а генерация волновой энергии на водных пространствах и побережьях достаточно хорошо не изучена.

Устройство, принципы работы и виды энергетических установок, вырабатывающих электричество или тепло (или то и другое) на базе ВИЭ, достаточно подробно изложены в ряде монографий (Руководство по специализированному климатическому обслуживанию экономики, 2008; Васильев и др., 2008; Безруких, Стребков, 2005; Климатические факторы возобновляемых источников энергии, 2011). Малые ГЭС могут быть построены как на малых и средних реках, так и на крупных при низконапорных гидроузлах или при неполном использовании стока.

Доля ВИЭ в производстве первичной энергии в России в 2005 г. составляла 1,2% при суммарном годовом производстве всей первичной энергии в России 1722 млн. т у.т., т. е. 5065 млрд. кВт·ч (0,34 т у.т. = 1 млн. кВт·ч), суммарное годовое производство электроэнергии всех электростанций России составило

953100 млрд. кВт·ч, а доля ВИЭ — 0,88%. Отпуск тепловой энергии в России в 2005 г. составил 1420 млн. Гкал, причем доля ВИЭ была 4,9%. Распределение выработки электроэнергии и тепла по разным ВИЭ приведено в табл. 12.1, 12.2.

Энергетиками России (Николаев и др., 2009) получены экономические оценки энергетических ресурсов разных видов ВИЭ, которые позволяют судить о целесообразности их использования в том или ином районе и об их инвестиционной привлекательности. При этом учитываются возможные многолетние изменения инфляции и цен на электричество и топливо в России и мире.

Обоснование возможности и целесообразности использования того или иного ВИЭ или комплекса нескольких ВИЭ опирается на количественные оценки энергетического потенциала каждого ВИЭ (табл. 12.3—12.9). Информационной базой для определения энергетического потенциала являются данные наблюдений за гидрометеорологическими величинами, определяющими зависимость данного источника ВИЭ от климата. По этим

Таблица 12.1. Выработка электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии в России в 2005 г.: ветровых (ВЭС) и геотермальных (ГеоЭС) электростанций, малых гидроэлектростанций (МГЭС), теплоэлектростанций на биотопливе (БиоТЭС)

| Тип ВИЭ | ВЭС | ГеоЭС | МГЭС | БиоТЭС |
|--------------------------------------|------|-------|------|--------|
| Вырабатываемая электроэнергия, кВт·ч | 9,66 | 396,4 | 2788 | 5184 |

Таблица 12.2. Отпуск тепловой энергии, полученной на базе возобновляемых источников энергии разными техническими системами, в России за год

| Технические системы, вырабатывающие тепло на базе ВИЭ | Тепловая энергия, тыс. Гкал |
|---|-----------------------------|
| ТЭЦ, работающие на биомассе | 16773 |
| Малые котельные, работающие на биомассе | 48 000 |
| Солнечные коллекторы | 36 |
| Тепловые насосы | 460 |
| Биогазовые установки станций аэрации | 2000 |
| Геотермальные системы теплоснабжения | 1250 |

данным рассчитываются следующие показатели потенциала ВИЭ (Безруких и др., 2002; Николаев, Ганага, 2009; Климатические факторы возобновляемых источников энергии, 2011).

Валовой потенциал ВИЭ — средний годовой объем энергии, который можно получить из данного вида ВИЭ при полном ее превращении в полезно используемую энергию.

Технический потенциал ВИЭ — часть валового потенциала, преобразование которого в полезную энергию возможно при данном

уровне развития технических средств и при соблюдении требований по охране окружающей среды.

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

Таблица 12.3. Потенциал солнечной энергии для России в целом (Николаев и др., 2009; Безруких и др., 2007)

| Тип потенциала | Значение, т у.т. |
|--|---------------------------|
| Валовой | 2205,4 млрд. |
| Технический , в том числе: | 9675,6 млн. |
| — производства тепла | 8753,0 млн. |
| — производства электроэнергии | 922,6 млн. |
| Экономический , в том числе: | 2521,9 тыс. |
| — производства тепла | 2374,0 тыс. |
| — производства электроэнергии | 147,9 тыс. |
| Производственный , в том числе: | 2020,0—2320,0 тыс. |
| — производства тепла | 14000,0—17000,0 тыс. |
| — производства электроэнергии | 620,0 тыс. |

Таблица 12.4. Технический, экономический и производственный потенциал ветроэнергетических ресурсов России

| Тип потенциала | Значение, млрд. кВт·ч/год |
|------------------|---------------------------|
| Технический | 16500 |
| Экономический | 71,7 |
| Производственный | 121,25 |

Таблица 12.5. Потенциал малой гидроэнергетики России (Николаев и др., 2009)

| Тип потенциала | Значение, млрд. кВт·ч | Значение, млн. т у.т.* |
|----------------|-----------------------|------------------------|
| Валовой | 1180,3 | 401,6 |
| Технический | 371,8 | 126,5 |
| Экономический | 205,1 | 69,7 |

Примечание. * Зависимость между т у.т. и кВт·час не однозначна, так как включает к.п.д. источника энергии.

Глава 12. Технические системы

Таблица 12.6. Потенциал лесной биомассы и отходов лесозаготовок в России

| Тип потенциала | Значение, млн. т у.т. |
|----------------|-----------------------|
| Валовой | 373,6 |
| Технический | 38,37 |
| Экономический | 5,13 |

Таблица 12.7. Потенциал органических отходов агропромышленного комплекса и населенных пунктов в России (Николаев и др., 2009)

| Тип потенциала | Значение, млн. т у.т. |
|------------------|-----------------------|
| Валовой | 94,0 |
| Технический | 92,01 |
| Экономический | 53,88 |
| Производственный | 17,16 |

Таблица 12.8. Потенциал геотермальной энергетики России

| Тип потенциала, размерность | Значение |
|---|----------|
| Валовой энергетический для теплоснабжения, млн. т у.т. | 22 900 |
| Валовой энергетический для отопления, млн. т у.т. | 12 600 |
| Технический теплоносителя, тыс. м ³ /сут* | 105 |
| Технический энергетический, млн. т у.т. | 11 869 |
| Экономический теплоносителя, тыс. м ³ /сут* | 25 900 |
| Экономический энергетический, млн. т у.т. | 165 |
| Производственный теплоносителя, тыс. м ³ /сут* | 982 |
| Производственный энергетический, млн. т у.т. | 3,16 |

Примечание. * Объем горячей воды, поступающий в системы отопления и теплоснабжения.

Таблица 12.9. Энергетический потенциал низкотемпературного тепла в России

| Тип потенциала | Значение, млн. т у.т. |
|------------------|-----------------------|
| Технический | 26,4 |
| Экономический | 13,22 |
| Производственный | 4,36 |

Производственный потенциал введен энергетиками России (Николаев и др., 2009) для более достоверной оценки возможных масштабов практического использования возоб-

новляемых ресурсов. Он определяется как возможная суммарная годовая выработка современных электроустановок (ЭУ), размещенных на части не освоенной промышленным

производством территории, характеристики которой обеспечивают энергетическую эффективность ЭУ не ниже современных зарубежных рекомендаций.

Приведенные таблицы потенциалов всех видов возобновляемых источников энергии составлены специалистами-профессионалами — электроэнергетиками — на основе научно-технических разработок, технико-экономического анализа и практического использования ВИЭ. Наиболее сложными являются расчеты экономических ресурсов (Сидоренко и др., 2008).

Процедура оценки экономического потенциала для каждого вида ВИЭ имеет свои особенности. Во всех случаях должны быть известны капитальные и производственные затраты на выработку возобновляемой энергии; амортизационные отчисления; общая стоимость и срок окупаемости энергетической установки; срок ее службы; годовая потребность промышленного производства региона в электроэнергии; ее часть, покрываемая энергоустановкой; цена товаров промышленного производства региона, приходящаяся на единицу потребляемой электроэнергии; ставка дисконтирования.

Сделаем несколько методических замечаний о процедуре вычисления показателей, приведенных в табл. 12.3—12.9.

Валовой потенциал солнечной энергии для каждого субъекта Российской Федерации (далее субъекта РФ) определялся как произведение среднего годового значения суммарного потока солнечной радиации ($\text{МДж}/\text{м}^2$), достигающей земной поверхности, на площадь территории данного субъекта РФ.

Для оценки энергетической ценности ветра в том или ином регионе используются следующие понятия о ветроэнергетическом потенциале.

Для данного региона валовой ветроэнергетический потенциал $W_{\text{вал}}$ определяется как среднее многолетнее значение энергии ветровых потоков над территорией региона. Для его вычисления регион представляется совокуп-

ностью зон с площадью каждой S_i , $i = 1, 2, \dots, I$, в которых средняя годовая удельная мощность ($\text{кВ}/\text{м}^2$) ветровых потоков U_i может считаться примерно постоянной. Такое подразделение на зоны с одинаковыми ветроклиматическими условиями выполняется исходя из данных многолетних наблюдений ветра на сети метеорологических станций. В каждой такой зоне i валовой ветроэнергетический потенциал оценивается в $\text{кВт} \cdot \text{ч}$ по формуле

$$W_{\text{вал}, i} = \overline{U}_i T S_i, \quad (12.1)$$

где $T = 8760$ ч — число часов в году. Валовой потенциал региона $W_{\text{вал}}$ определяется как сумма валовых потенциалов составляющих его зон. Как правило, валовой потенциал используется лишь для теоретических оценок ветроэнергетического потенциала.

Технический и экономический потенциалы ветровой энергии (табл. 12.4) определяются по методике, изложенной в работе (Безруких и др., 2007).

Валовой, технический и экономический потенциалы малой гидроэнергетики и биотоплива (лесной биомассы и отходов лесозаготовок, а также отходов агропромышленного комплекса) заимствованы из работы (Николаев и др., 2009).

Технический потенциал низкотемпературного тепла для данных климатических условий рассчитывается для территории России (исключая районы многолетней мерзлоты) по повторяемости преобладающих средних суточных температур воздуха отдельно для зимнего и летнего времени. Зимние температуры находятся на территории России в основном в пределах от -10 до -30°C , а летние — в среднем около 18°C . Для данных температур определяется мощность тепловых насосов Д4 (наиболее подходящие насосы для большей части территории России), которая близка к достаточной мощности для компенсации теплопотерь здания. Теплопотери здания для преобладающих температур воздуха рассчитываются по методике, разработанной Л. С. Гандиным

(Анапольская, Гандин, 1973). По теплотерям здания, повторяемости нормативных температур от -10 до -30°C и 18°C , а также небольшой дополнительной мощности, необходимой для компенсации теплотерь, рассчитываются технические ресурсы насосов и доля замещаемой ими потребности в тепле для выбранного здания (Смирнов, 2010). На рис. 12.6 показан пример такой карты для средне-суточной температуры воздуха $\leq -11^{\circ}\text{C}$.

Поскольку все показатели потенциала возобновимых источников энергии, которые обсуждались выше, явно зависят от климатических величин, то представляют большую важность оценки возможных изменений последних в будущем. Приведем несколько примеров таких оценок.

Согласно климатическому прогнозу, выполненному в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (ГГО), который основан на ансамбле результатов расчетов с помощью 10 моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) в рамках сцена-

рия А2, изменение суммарного нисходящего приземного потока солнечной радиации в течение первой половины XXI в. будет находиться в пределах $\pm 2\%$ современных значений (Говоркова и др., 2008; Мелешко и др., 2008). На рис. 12.7 представлена карта суммарного потока радиации, приходящей сейчас на поверхность гелиоприемника. К середине XXI в. она практически не изменится.

В период начиная примерно с 1965 г. скорость ветра на территории России заметно изменилась. Лишь в отдельных районах юга страны, а также северного побережья средняя скорость ветра осталась примерно на прежнем уровне (Белокрылова, 1989). Автор цитируемой работы, так же как и ряд других авторов, считают, что главной причиной уменьшения скорости ветра являются особенности изменения во времени макромасштабных циркуляционных процессов в атмосфере. В отдельных пунктах и небольших районах это изменение связано с местными условиями, например, с

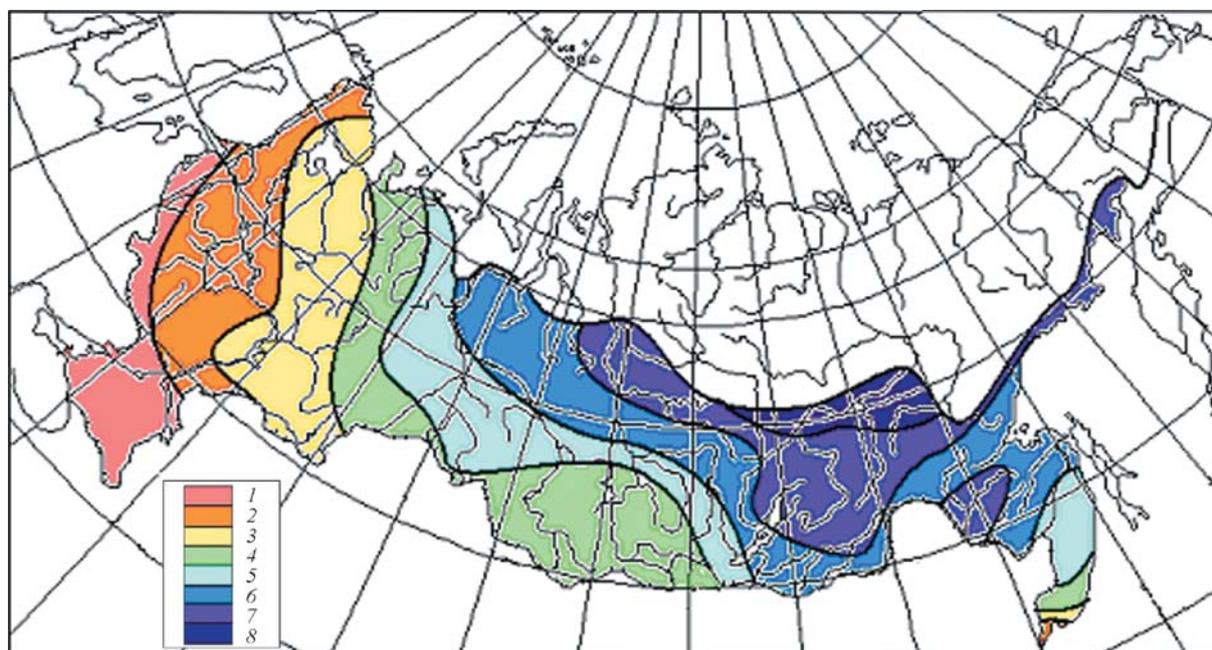


Рис. 12.6. Среднее число дней в году с температурой $\leq -11^{\circ}\text{C}$. Оценка для середины XXI в. 1) ≤ 20 ; 2) 20—40; 3) 40—60; 4) 60—80; 5) 80—100; 6) 100—120; 7) 120—140; 8) ≥ 140 . Белым цветом обозначены районы, где использование тепловых насосов экономически не выгодно из-за длительного периода с низкой температурой воздуха и наличием вечной мерзлоты. Территория п-ова Камчатка и о. Сахалин в данном исследовании не рассматривалась.

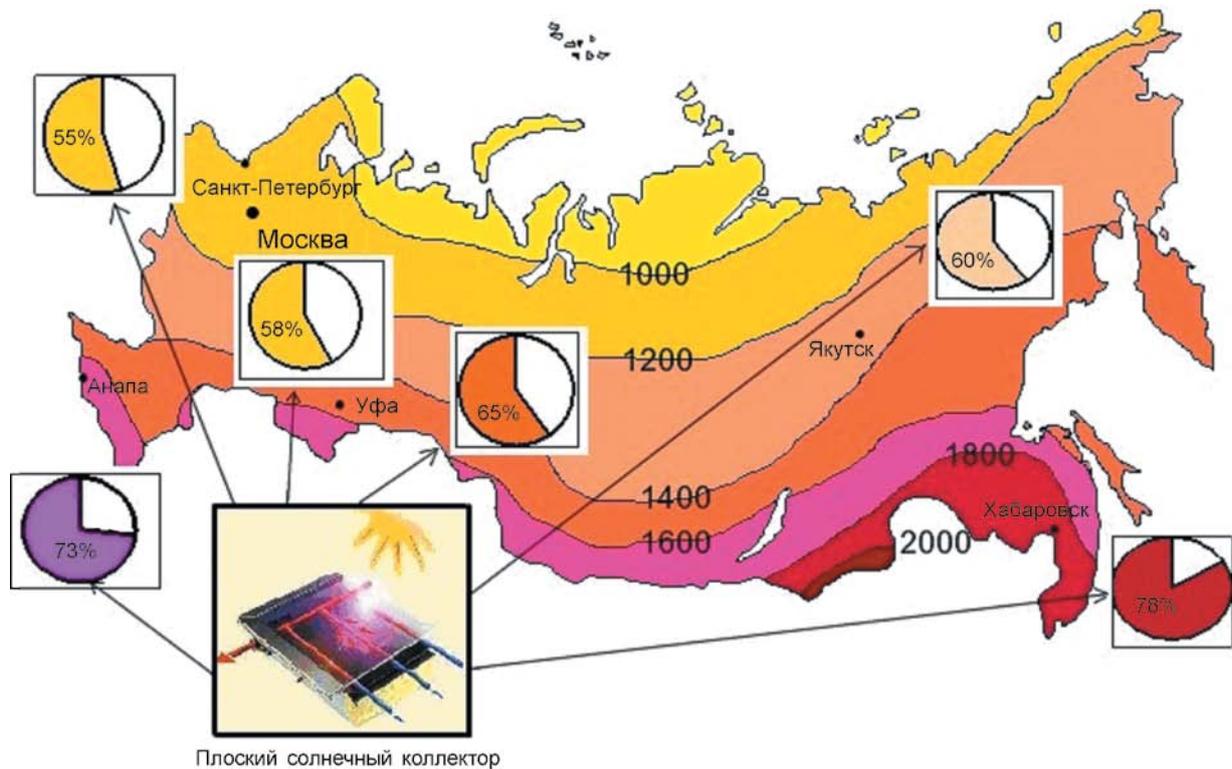


Рис. 12.7. Суммарный поток радиации, приходящей на поверхность гелиоприемника ($\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год), и коэффициент замещения нагрузки горячего водоснабжения, т. е. доля (%) этого потока по отношению к общей потребности в энергии горячего водоснабжения (диаграммы на врезках) (Стадник, Шанина, 2009).

характером застройки (например, создана “искусственная аэродинамическая труба”).

По результатам моделирования будущего климата, к середине нашего столетия средние значения скорости ветра на территории России практически не изменятся. Средняя годовая скорость ветра на большей части территории России увеличится примерно на $0,1$ — $0,2$ м/с, а на севере — на столько же уменьшится.

В рамках сценария А2 к концу XXI в. ожидается увеличение скорости ветра по всей России, преимущественно зимой. В теплое время года положительные аномалии возможны лишь в июле на северном побережье и на западе страны. В результате средняя удельная мощность ветрового потока почти не изменится. Некоторое увеличение ветровых ресурсов возможно лишь в конце столетия (рис. 12.8). Таким образом, вплоть до конца XXI столетия

сохранится тенденция уменьшения ветроэнергетических ресурсов (Стратегический прогноз..., 2005; Кислов и др., 2008).

Изменение выработки энергии гидроэлектростанциями происходит в зависимости от притока воды в действующие водохранилища. Согласно ансамблевым оценкам, полученным с помощью 16 МОЦАО в рамках сценария А2, к середине XXI в. ожидается увеличение среднегодового объема притока к водохранилищам Волжско-Камского каскада на 5 — 10% ; в пределах от 0 до 15% увеличится приток к Ангаро-Енисейским водохранилищам, а также к водохранилищам на реках Виллой, Колыма, Зея. Вместе с тем следует ожидать уменьшения среднегодового притока в пределах от 5 до 15% к Цимлянскому, Краснодарскому и Новосибирскому водохранилищам (Оценочный доклад..., 2008а). На Большом Кавказе (север-

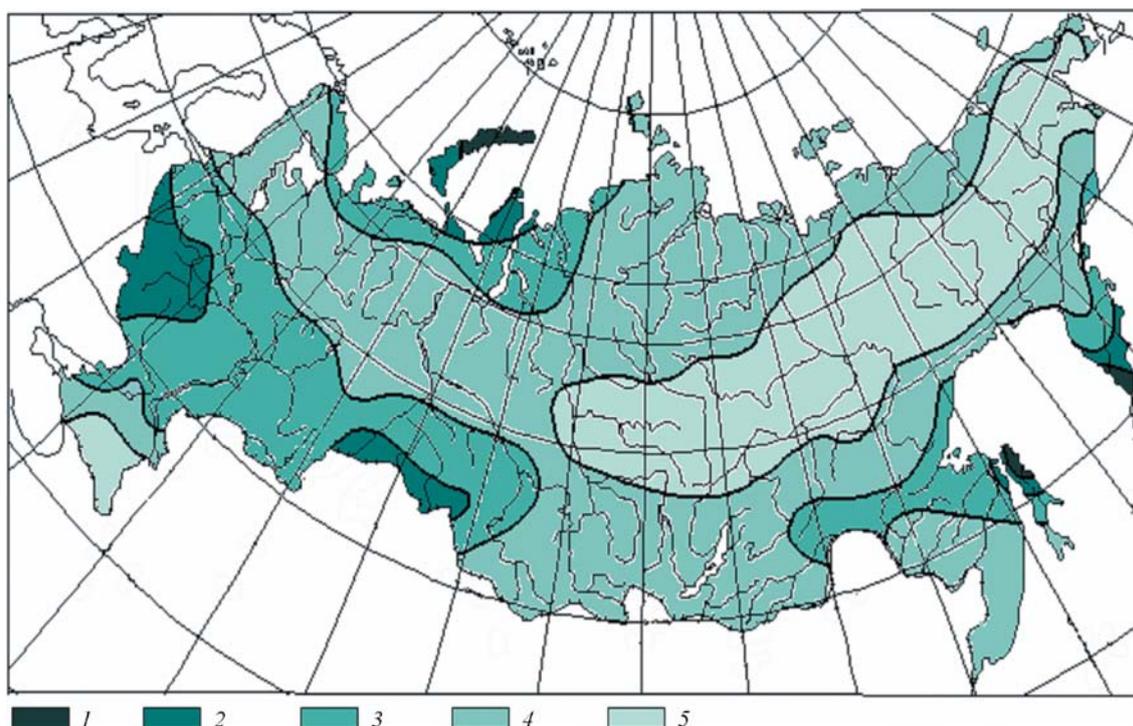


Рис. 12.8. Увеличение удельной мощности ветрового потока ($Вт/м^2$) на высоте 50 м к середине XXI в. по сравнению с периодом 1981—2000 гг. 1) >200 ; 2) 150—200; 3) 100—150; 4) 50—100; 5) <50 .

ный склон) ожидается уменьшение ледникового стока, хотя тренды общего речного стока в этих районах прогнозируются положительные (Оценочный доклад..., 2008б).

Привлекая данные о климатическом стоке (разность между суммой осадков и величиной испарения), можно получить ориентировочные оценки “сверху” возможного изменения выработки электроэнергии. Они представлены на рис. 12.3 (Климатические факторы возобновляемых источников энергии, 2011).

В 2009 г. выработка электроэнергии на ГЭС в России составила 155,7 ГВт·ч. Ориентировочное увеличение выработки к середине XXI в. составит $4 + 1\%$, т. е. $6,2 + 1,6$ ГВт·ч. Следовательно, ожидаемые изменения потенциала гидроэнергетических ресурсов в целом благоприятны для дальнейшего развития гидроэнергетического строительства на большей части территории страны. Исключение составляют южные районы Европейской России, где

возможно уменьшение выработки электроэнергии на ГЭС.

ОТОПЛЕНИЕ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ

В сфере жилищно-коммунальных услуг в России задействовано около 4200 предприятий коммунальной энергетики, эксплуатирующих более 32 тыс. муниципальных котельных, 70 тыс. км муниципальных теплосетей, около 400 тыс. км воздушных и кабельных электросетей, 201 тыс. км водопроводных сетей. Степень риска возникновения аварий на объектах ЖКХ достаточно велика и на ближайшие 20 лет сохранится большой. Основными причинами аварийности на объектах ЖКХ является некачественная подготовка инженерной инфраструктуры к новому отопительному сезону

(до 32%) и стихийные бедствия при ветхости сооружений (до 21%).

Прямое уменьшение продолжительности отопительного периода (ОП), определенного по формальному признаку устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через порог 8°C , на самом деле не означает реальной экономии энергии. С одной стороны, в отдельные годы в связи с увеличившейся изменчивостью температуры воздуха протапливание начинают раньше официального начала ОП, а заканчивают протапливать позже завершения ОП. В такие годы тратится больше топлива, чем закуплено в соответствии с выделенным трансфертом, поэтому топливо весной часто докупается. В конце ОП топливо стоит обычно дороже, чем в его начале.

С другой стороны, теплоснабжающие организации определяют необходимые расходы тепла ежемесячно, ориентируясь на данные СНиП “Строительная климатология” о продолжительности ОП. Нормативы СНиП определены за период до 1980 г. В тот период ОП был более длинный, и поэтому сейчас закупается больше топлива, чем нужно. Во избежание штрафных санкций избыточное топливо сжигается. Вероятно, многие неоднократно были свидетелями “перетопа” поздней весной.

Таким образом, рассчитывать на энергосбережение из-за уменьшения ОП при потеплении климата не следует. Необходимо в качестве адаптационной информационной меры срочно внести коррективы в нормативные документы (СНиП, ГОСТ) и наполнить новым содержанием технические регламенты. В частности требуют замены квантили продолжительности и температуры ОП в главе “Строительная климатология”.

Затраты на промышленное кондиционирование (бытовое кондиционирование составляет небольшой процент в общей сумме) вследствие изменения климата заметно не увеличиваются, так как антропогенное повышение температуры воздуха происходит в основном зимой. Вообще, задача оценки увеличения

расходов на кондиционирование является приоритетной только для южных районов России. В южных районах при изменении средней суточной температуры воздуха на 2°C энергопотребление кондиционера изменяется на 8%.

Следует заметить, что возможное увеличение расходов на кондиционирование вследствие изменения климата не идет ни в какое сравнение с нерациональными расходами на кондиционирование вследствие использования при конструировании кондиционеров неполной климатической информации, содержащейся в СНиП.

Необходимо в ближайшее время перейти на современную методику системного подхода к созданию кондиционеров с автоматизированным управлением, разработанную под руководством А. А. Рымкевича (Рымкевич, 2003). Эта методика учитывает специализированную климатическую информацию, в том числе двумерные распределения срочных значений температуры и энтальпии.

Требуют пересчета годовые расходы тепла, холода и влаги при проектировании систем кондиционирования для мест с повышенной влажностью: бассейнов, аквапарков.

СТРОИТЕЛЬСТВО

Инфраструктура строительства состоит из следующих основных звеньев: гидрометеорологические изыскания для строительства, посадка здания на местности и принятие архитектурных решений, конкретное проектирование и производство строительных работ.

В связи с изменением климата гидрометеорологические изыскания должны проводиться особенно тщательно, так как требования к климатической информации, особенно специализированной, меняются, усложняются и расширяются. Формирование специализированной информации, используемой для обоснования инвестиций в строения и сооружения, имеющие разное функциональное назначение,

требует повышенной конкретизации и проблемной ориентации.

Так, проектирование водоотведения не может опираться на величины, содержащиеся в главах СНиП “Водоотведение и водоснабжение”. При гидрометеорологических изысканиях требуется использование новой методики построения так называемого “профиля дождя”, основанного на подробных сведениях об интенсивности дождей (рис. 12.9).

Недостаточно квалифицированно проведенные гидрометеорологические изыскания влекут за собой увеличение стратегических рисков на последующих этапах строительства.

Оптимальное расположение здания относительно стороны горизонта и вторичное использование энергии приводят к значительному сокращению потребления энергии и являются важнейшими адаптационными мероприятиями.

Архитектурные решения в условиях меняющегося климата, особенно при увеличении осадков и при резких перепадах температуры воздуха, должны быть приспособлены к новым климатическим условиям, что уменьшит риски порчи внешнего вида здания и ухудшения его внутреннего климата.

Неблагоприятные последствия для зданий создаются под влиянием выпадения осадков при ветре (“косые дожди”). Такие дожди часто наблюдаются на северо-западе России, на

Дальнем Востоке и в горных районах на юго-западе. При потеплении в рамках многих сценариев увеличивается количество осадков и их повторяемость. Дождь с ветром промачивает стены зданий, ухудшая эксплуатационные качества конструкций. При этом увеличиваются теплопроводность ограждающих конструкций и теплоотдача влажных стен. Во влажном ограждении поселяются грибок и плесень, вследствие чего деревянные части ограждений быстро гниют. В шлакобетонных домах становится холодно и сыро. Даже каменные конструкции быстрее разрушаются. Водяной пар, попавший в поры материалов во время оттепели, при последующем охлаждении конденсируется. Потом вода замерзает и производит разрушительное действие на ограждение. На облицовочной части зданий образуется иней. Морозостойкость влажных стен значительно меньше, чем сухих (Заварина, 1976).

Промачивание стен панельных зданий под влиянием “косых” дождей может происходить двумя способами. Если наблюдается сильный ветер, то влага забивается в стыки зданий и проникает глубже в толщу ограждающих конструкций. Если даже при не очень сильном ветре наблюдается продолжительный дождь, то происходит активное капиллярное всасывание влаги, также ведущее к промачиванию стен и повышению влажности в помещениях (Руко-

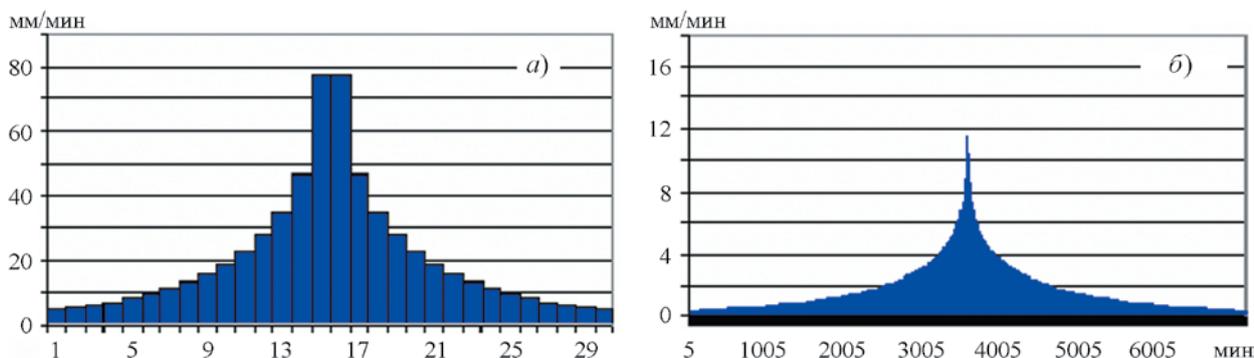


Рис. 12.9. “Профили дождя” за 30- (а) и 7200-минутный (пятисуточный) (б) интервалы с периодом повторения раз в 2 года на территории Ленинградской области.

водство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики, 2008).

Для технической адаптации необходимо:

— проектировать систему стыков панельных зданий, соответствующую климатическому режиму в месте “посадки” здания; в ветреных районах следует проектировать так называемые “закрытые” стыки (гидравлическая схема стыков с противодождевым гребнем в горизонтальном стыке и с компенсационными полостями в вертикальных стыках), а в районах продолжительных дождей — “открытые” (или дренажные стыки);

— в проектах следует предусматривать ориентацию здания со входами на подветренной стороне здания и снабжать входы козырьками, а также на наветренной стороне проектировать балконы с максимально возможными “выносами”, т. е. шириной балконов.

Конкретное проектирование зданий и сооружений зависит от температурно-ветрового, температурно-влажностного и радиационного режимов окружающей среды. При проектировании теплозащиты зданий в проектные расчеты вводятся либо квантили средней температуры воздуха за определенные периоды (сутки, пятидневки, семидневки и т. д.) заданной обеспеченности, либо число градусо-суток за отопительный период. Эти специализированные климатические характеристики связаны с термическим сопротивлением ограждающих конструкций. При потеплении термическое сопротивление может быть уменьшено (стены можно делать тоньше или с использованием материалов с большей теплопроводностью). Однако стратегия строительства на ближайшие 20 лет состоит в увеличении теплозащиты в целях последующей экономии топлива. Следовательно, нормативные климатические величины для расчета ограждающих конструкций на ближайшее двадцатилетие можно не менять.

Проектирование энергетических сооружений здания — систем отопления, вентиляции и кондиционирования — требует пересмотра

климатических нормативов. Принятые в СНиП величины (в виде двух квантилей температуры воздуха и двух квантилей энтальпии) не соответствуют современным требованиям и возможностям. Они завышают установочную производительность и, следовательно, приводят к необоснованно завышенным капитальным затратам.

Некоторые атмосферные нагрузки на здания и сооружения — ветровые, снеговые и гололедные — под влиянием изменений климата могут увеличиться (Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики, 2008). Однако процессы формирования нагрузок на сооружения являются достаточно сложными, и их изменения при изменении климата еще не достаточно изучены.

Ветровая нагрузка на здание рассчитывается только при его высоте более 40 м. Воздействие ветра на большую часть зданий наиболее существенно проявляется в увеличении их теплопотерь. Для высотных сооружений, таких как телевизионные мачты и радиомачты, дымовые трубы и т. п., ветровая нагрузка является основной. Ее учитывают при определении сечения конструкции, стоимости сооружения, надежности, сроков эксплуатации.

Ветер оказывает существенное влияние на провода ЛЭП и другие воздушные линии, вызывая “пляску” проводов, создавая дополнительные нагрузки, связанные с колебательными движениями проводов. Эти нагрузки осложняют эксплуатацию проводов и приводят к авариям. “Пляска” проводов может вызывать межфазовые замыкания и перебои в работе ЛЭП.

Поскольку ветровая нагрузка зависит от ряда факторов, таких как высота и форма здания, ориентация, местоположение, в СНиП выделены только наиболее характерные типы зданий, для которых даны рекомендации по методике расчета нагрузок. Для оценки ветровых нагрузок в условиях меняющегося климата необходимо рассчитать “скоростной напор”

ветра, возможный один раз в период T лет (период повторения).

В Стандарте организации (СТО, 2008) принят период $T = 50$ лет. Для АЭС период повторения расчетных скоростей ветра принимается равным 10 000 лет. АЭС и многие другие сооружения очень чувствительны к изменению скорости ветра. При изменении средней скорости ветра на 15% период повторения уменьшается от 50 до 3 лет. Поэтому следует увеличить нормативное значение T в будущем СНиПе по атмосферным нагрузкам.

Однако в связи с изменением климата ветровые нагрузки меняются мало, гораздо меньше, чем снеговая и гололедная. На рис. 12.10 показано изменение ветровых нагрузок за последнее десятилетие.

Помимо аварий из-за ветровых нагрузок, аварии на воздушных линиях связаны, как уже отмечалось выше, с гололедно-изморозевыми явлениями, часто сочетающимися с сильным

ветром. Аварии на современных линиях связи и линиях электропередачи из-за гололедных и гололедно-ветровых нагрузок приводят к значительному ущербу. Выбор оптимальных решений при проектировании возможен лишь на основе правильного учета климатических условий, и это одна из важнейших задач прикладной климатологии.

Вероятность возникновения условий, способствующих образованию опасных гололедных нагрузок к середине XXI в., представлена на рис. 12.4 и 12.5.

Снеговые нагрузки на горизонтальную поверхность определяются давлением — весом снежного покрова в расчете на единицу площади. Нормативная снеговая предельная нагрузка на разные покрытия рассчитывается как произведение снеговой нагрузки на горизонтальную поверхность и коэффициента, зависящего от технических параметров покрытия.

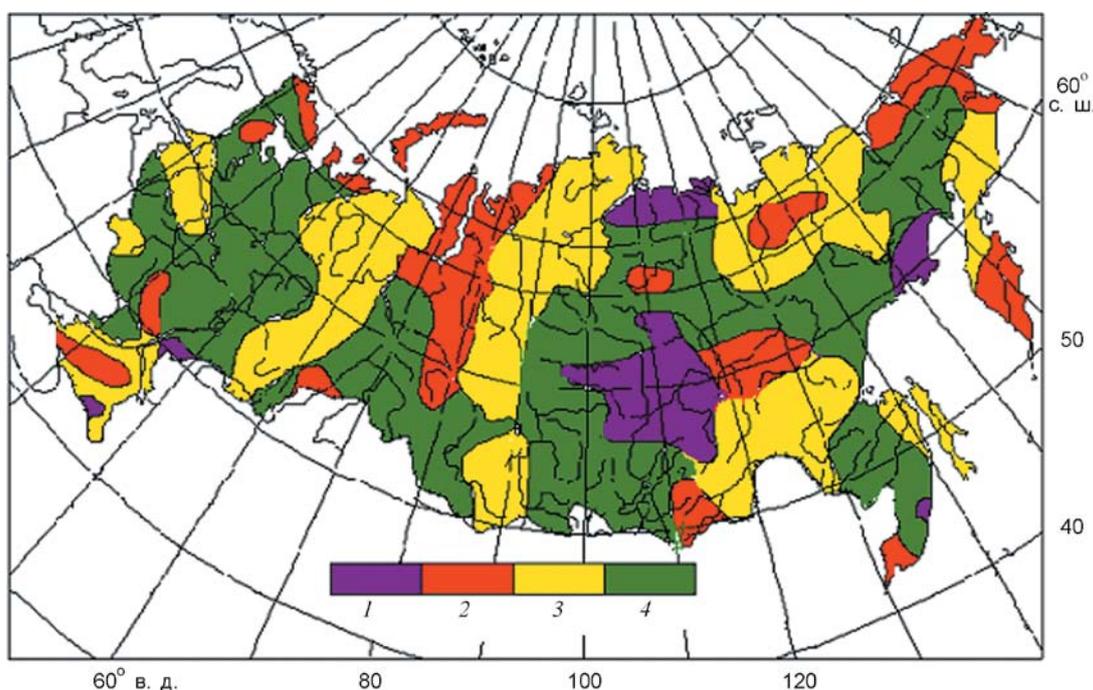


Рис. 12.10. Отношение ветровой нагрузки за последнее десятилетие к среднему многолетнему значению (Оценочный доклад..., 2008б). 1) $>1,2$; 2) $0,9—1,1$; 3) $0,7—0,8$; 4) $0,5—0,0$.

К середине XXI в. в ряде районов страны снеговые нагрузки на горизонтальную поверхность могут уменьшиться. Тем не менее проектировать покрытия следует по нормативам СТО (Стандарт организации 36554501-015-2008). Дело в том, что в весеннее время, когда снег на крышах начинает таять, объем льда и снега приближается к объему воды, и это очень сильно утяжеляет покрытие.

Необходимо подчеркнуть, что аварии зданий и сооружений, связанные с экстремальными условиями погоды, происходят преимущественно на фоне изношенности оборудования технических объектов и технологических ошибок при проектировании и строительстве. Воздействия погоды чаще всего служат лишь непосредственным толчком к аварии.

Работы на открытом воздухе в среднем будут мало подвержены влиянию глобального потепления. С одной стороны, уменьшится число дней с низкой температурой воздуха ($\leq 10^\circ\text{C}$), а в ближайшее десятилетие увеличение средней скорости ветра маловероятно.

Из сказанного выше следует, что изменения климата существенно повлияют в основном на безопасность и качество строительства в связи с увеличением атмосферных нагрузок на здания и сооружения. В отдельные годы они создадут трудности эксплуатационного характера, которые необходимо заранее предусмотреть (планирование работ в нештатной ситуации, пополнение уборочной техники, разработка системы страхования от ОЯ и др.).

Поскольку опасные климатические воздействия часто сочетаются с техническими недоработками, специалисты гидрометеорологической службы принесут пользу, участвуя в принимаемых хозяйственных, технических и управленческих решениях (при строительстве крупных объектов, перспективном планировании экономической деятельности и др.).

ТРАНСПОРТ

Инфраструктура транспортной системы состоит из следующих транспортных комплексов:

- сухопутного (автомобильный и железнодорожный);
- водного (речной и морской);
- воздушного (авиация).

Сухопутный транспорт

Дорожно-транспортный автомобильный комплекс состоит из автомобильного транспорта, автомобильных дорог и организаций, обеспечивающих их функционирование (Самодурова, 2008).

Ключевыми проблемами дорожно-транспортного автомобильного комплекса, возникающими в связи с изменением климата, являются зимнее содержание дорог и безопасность и бесперебойность движения по дорогам в сложных погодных условиях.

Зимой опасность на дороге создает скользкость в виде гололедицы, гололеда, черного льда, снежного наката. На образование скользкости дорог влияют как метеорологические, так и дорожные условия и, прежде всего, температура дорожного покрытия.

При длительных снегопадах и метелях (12 ч и более), при слабом ветре, увеличении высоты снежного покрова на 6—10 см, а также при скорости ветра ≥ 15 м/с в действие вводится снегоуборочная техника. При ветре ≥ 15 м/с и увеличении высоты снежного покрова более 10 см возникает стихийное бедствие. Если увеличение высоты снежного покрова за сутки составляет более 20 см или интенсивность снегопада превышает 0,4 мм/мин, движение становится аварийно опасным, а при увеличении более 30 см — вообще невозможным для основного парка машин (ВСН 20-87, 1988; ВСН 24-88, 2004; Самодурова, 2003; Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики, 2008).

Наши исследования показали, что условия, способствующие образованию скользкости на

Глава 12. Технические системы

дорогах, к середине XXI столетия будут повторяться чаще, чем в настоящее время (рис. 12.11).

Оценки стоимости работ по зимнему содержанию и потерям от уменьшения скорости движения вследствие скользкости покрытия, выполненные по методике М. В. Самодуровой, составляют для дорог I технической категории при гололеде около 300 руб. на 1 км,

при удалении рыхлого снега и профилактике снежного наката — около 500 руб. на 1 км.

При гололедице и гололеде на дороге средняя скорость движения транспорта составляет около 34 км/ч, в то время как на сухой дороге она достигает 78 км/ч. В табл. 12.10 представлены подробные данные о скорости движения транспортных потоков при разном состоянии дорожного покрытия.

Таблица 12.10. Скорость движения транспортных потоков при разном состоянии дорожного покрытия (Васильев, 1976, 1986; Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики, 2008)

| Состояние покрытия | Скорость движения, км/ч | | |
|---------------------------------------|-------------------------|--|-----------|
| | Среднее значение | Доверительный интервал для среднего значения для доверительной вероятности | |
| | | 0,90 | 0,95 |
| Снежный накат | 41,8 | 30,6—62,4 | 27,7—65,4 |
| Гололед | 33,8 | 20,5—47,1 | 18,2—49,4 |
| Рыхлый снег | 46,5 | 27,3—56,2 | 24,5—59,1 |
| Мокрое (I технической категории) | 67,8 | 56,6—80,0 | 54,9—80,7 |
| Мокрое (II—III технические категории) | 54,5 | 42,9—66,1 | 41,4—67,6 |
| Сухое | 77,7 | 67,4—88,0 | 65,4—90,0 |

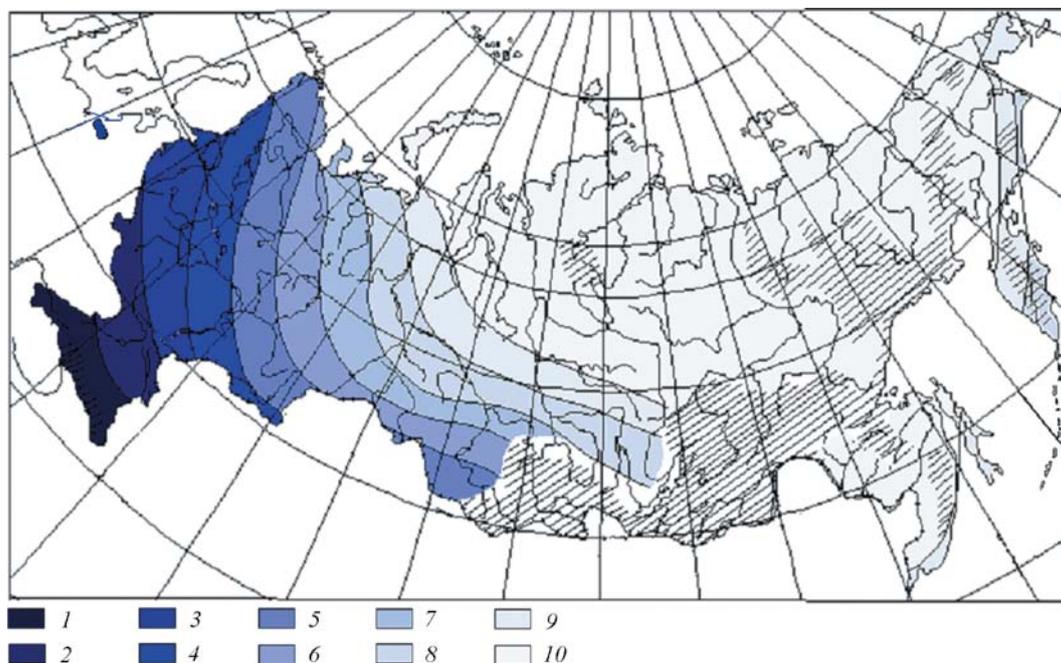


Рис. 12.11. Вероятность обледенения автодорог в середине XXI в., январь. 1) > 0,55; 2) 0,50—0,55; 3) 0,45—0,50; 4) 0,40—0,45; 5) 0,35—0,40; 6) 0,30—0,35; 7) 0,20—0,30; 8) 0,10—0,20; 9) 0,0—0,10; 10) 0,0. Штриховкой обозначены горные районы.

В результате потери маневренности происходят опрокидывание автомобилей, столкновение, наезды на неподвижные препятствия. От 12 до 15% общего количества ДТП происходит из-за скользкости дорог.

Железнодорожный транспорт (так же как и автомобильный) круглосуточно работает под открытым небом, и поэтому бесперебойность и безопасность его работы во многом зависят от условий погоды. На работу основных служб железных дорог оказывают влияние практически все явления погоды. Наиболее подвержена влиянию погодно-климатических условий служба пути.

Одним из самых опасных явлений погоды для железнодорожного транспорта можно считать сильные снегопады и метели. Эти ОЯ ежегодно приводят к нарушению работы станций, узлов и даже целых направлений. Иногда сотни стрелочных переводов на крупных станциях (например, на ст. Санкт-Петербург 300 стрелочных переводов) при постоянной занятости путей требуют ручной уборки с привлечением большого числа уборочных бригад.

Другим опасным для бесстыкового пути метеорологическим фактором являются экстремальные температуры воздуха ($\geq 25^{\circ}\text{C}$ и $\leq -25^{\circ}\text{C}$) особенно, если они удерживаются длительное время. При данных температурах могут происходить выбросы пути, разрыв стыков и излом рельсов. Для снятия температурных напряжений надо знать температуру рельсов (Зябриков и др., 2000), что требует ведения постоянных наблюдений.

На состояние пути также оказывают влияние оттепели, дожди и туманы, весенние и дождевые паводки.

Повторяемость всех перечисленных явлений увеличивалась в последнее десятилетие. Предполагается дальнейшее увеличение их повторяемости.

Второй по зависимости от погодно-климатических условий является служба сигнализации и связи. На ее работу влияют температура

воздуха, ветер, осадки, гололедно-изморозевые отложения и туман.

Особенно опасны резкие перепады температуры, очень жаркая и очень морозная погода. При этом нарушается автоблокировка управления сигналами (красный свет может самопроизвольно смениться на зеленый), что может приводить к авариям.

Осадки, туманы и гололедно-изморозевые отложения влияют на слышимость, вплоть до ее полного исчезновения. Грозы и сильный ветер могут полностью вывести из строя устройства сигнализации, централизации и блокировки.

Экстремальные температура, ветер, гололед оказывают негативное влияние и на другие железнодорожные службы: электрификации и энергетического хозяйства, вагонную и пассажирскую, контейнерных перевозок, локомотивную и движения.

ЛИТЕРАТУРА

- Анапольская Л. Е., Гандин Л. С., 1973.** Метеорологические факторы теплового режима зданий, Л., Гидрометеиздат, 239 с.
- Безруких П. П., Арбузов Ю. Д., Борисов Г. А. и др., 2002.** Ресурсы и эффективность использования ВИЭ в России, СПб, Наука, 320 с.
- Безруких П. П., Дегтярев Н. Н., Елистратов В. В., Панцхана Е. С., Петров Э. С. и др., 2007.** Справочник по ресурсам ВИЭ России и местным видам топлива, М., ИАЦ “Энергия”.
- Безруких П. П., Стребков Д. С., 2005.** Возобновляемая энергетика. Стратегия, ресурсы, технологии, ГНУВИЭСЛ, 264 с.
- Белокрылова Т. А., 1989.** Об изменении скоростей ветра на территории СССР, Труды ВНИИГМИ-МЦД, вып. 150, с. 38—47.
- Васильев А. П., 1976.** Состояние дорог и безопасность движения автомобилей в сложных погодных условиях, М., Транспорт, 224 с.
- Васильев А. П., 1986.** Проектирование дорог с учетом влияния климата на условия движения, М., Транспорт, 248 с.
- Васильев Ю. С., Безруких П. П., Елистратов В. В., Сидоренко Г. И., 2008.** Оценки ресурсов возобновляемых источников энергии в

- России. Учебное пособие СпбГУ, СПб, Изд-во Политехнического института, 250 с.
- ВСН 20-87, 1988.** Инструкция по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах, М., Транспорт, 211 с.
- ВСН 24-88, 2004.** Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог, М., ФГУП ЦПП, 237 с.
- Говоркова В., Катцов В. М., Мелешко В. П., Павлова Т. В., Школьник И. М., 2008.** Климат России в XXI веке, часть 2. Оценка пригодности моделей СМIP3 для расчетов будущих изменений климата России, Метеорология и гидрология, № 4, с. 5—19.
- Заварина М. В., 1976.** Строительная климатология, Л., Гидрометеиздат, 312 с.
- Зябриков В. А., Кобышева Н. В., Циркунов В. С., 2000.** Климат и железнодорожный транспорт, М., Метеоагентство Росгидромета, 2000, 185 с.
- Кислов А. В., Евстигнеев В. И., Малхазова С. М., Суркова Г. В., Торопов П. А., Чернышев А. В., Чумаченко А. Н., 2008.** Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления XXI в., М., Макспресс, 290 с.
- Климатические факторы возобновляемых источников энергии, 2011.** Под ред. В. В. Елистратова, Н. В. Кобышевой, Г. И. Сидоренко, СПб, Наука (в печати).
- Кобышева Н. В., Галюк Л. П., Панфутова Ю. А., 2008.** Методика расчета социального и экономического рисков, создаваемых опасными явлениями погоды, Труды ГГО, вып. 558. с. 162—172.
- Международный конгресс “Дни чистой энергии в С.-Петербурге”, 2010.**
- Мелешко В. П., Катцов В. М., Говоркова В. А., Спорышев П. В., Школьник И. М., Шнееров Б. Е., 2008.** Климат России в XXI в. Часть 3. Будущие изменения климата, рассчитанные с помощью ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы и океана СМIP3, Метеорология и гидрология, № 9, с. 5—21.
- Николаев В. Г., Ганага С. В., 2009.** Справочно-методическое руководство по определению ветроэнергетических ресурсов и эффективности ветроэнергетических станций на территории России, стран СНГ и Балтии, М., Атмограф, с. 34—45.
- Николаев В. Г., Ганага С. В., Кудряшов Ю. И., Вальтер Р., Виллемс П., Санковский А. Г., 2009.** Перспективы развития возобновляемых источников энергии в России, М., Атмосфера, 456 с.
- Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, 2008.** Том I. Изменения климата, М., Росгидромет, 227 с.
- Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, 2008.** Том II. Последствия изменений климата, М., Росгидромет, 288 с.
- Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию, 2008.** Под ред. Н. В. Кобышевой, СПб, 334 с.
- Рымкевич А. А., 2003.** Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха, СПб, АВОК Северо-Запад, 272 с.
- Самодурова Т. В., 2003.** Метеорологическое обеспечение зимнего содержания автомобильных дорог, М., ТИМР, 185 с.
- Самодурова Т. В., 2008.** Физико-статистические модели для прогноза образования зимней скользкости на дорожных покрытиях, Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного ун-та, № 1, с. 126—129.
- Сидоренко Г. И., Кудрявцева И. П., Пименов В. И., 2008.** Экономика установок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, СПб, Изд-во Политехнического ун-та, 249 с.
- Смирнов Д. В., 2010.** Климатические ресурсы низкопотенциального тепла Земли, доставляемого тепловыми насосами, Труды ГГО (в печати).
- Стадник В. В., Шанина И. Н., 2009.** Оценка гелиоэнергетических ресурсов РФ, Метеоспектр, № 2, с. 128—133.
- СТО, 2008.** Стандарт организации нагрузки и воздействия СТО 36554501-015-2008, М.
- Стратегические риски России. Оценка и прогноз, 2005.** Под ред. Ю. Т. Воробьева, М., Деловой экспресс, 361 с.
- Стратегический прогноз изменений климата РФ на период до 2010—2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России, 2005.** Под ред. А. И. Бедрицкого, М., 28 с.
- Христенко В. Б., 2007.** О проекте Генеральной схемы электроэнергетики, Академия энергетики, № 3 (17), с. 16—20.
- Чубайс А. Б., 2007.** За чистый воздух надо платить, Академия энергетики, № 4 (18), с. 4—9.
- Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации, 2005.** Под ред. Н. В. Ко-

бышевой, К. Ш. Хайрулина, СПб, Гидрометео-издат, 319 с.

Adaptation Options for Infrastructure under Changing Climate Conditions, 2007. Occasional paper 10. Adaptation and impacts research division. Environment Canada, Toronto, Ontario.

Changing Weather Patterns, Uncertainty and Infrastructure Risks: Emerging Adaptation Requirements, 2007. Occasional paper 9. Adaptation and impacts research division. Environment Canada, Toronto, Ontario.

Climate Change Impacts on the United States, 2004. The Potential Consequences of Climate Variability. A Report of the National Assessment Synthesis Team. U.S. Global Change Research Program, New York, Cambridge University Press.

Climate Change 2007, 2007a. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller (eds). Cambridge, UK, Cambridge University Press, 996 p.

Climate Change 2007, 2007b. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M. Parry, O. Canziani, J. Palutikof, P. van der Linden, and C. E. Hanson (eds.), Cambridge, UK, Cambridge University Press, 976 p.

Special Report on Emission Scenarios (N. Nakicenović et al.), 2000. A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 599 p.