

Об экспресс-оценке климатического риска при стратегическом планировании пространственного развития России

About rapid estimation of climate risk in strategic planning of spatial development of Russia

doi 10.26310/2071-3010.2020.257.3.001



А. А. Макоско,
д. т. н., профессор, зав. лабораторией, член-корреспондент РАН
✉ aamacosco@mail.ru

A. A. Makosko,
doctor of technical sciences, professor,
head of laboratory, corresponding member
of the Russian academy of sciences



А. В. Матешева,
д. т. н., ведущий научный сотрудник
✉ matesheva@rambler.ru

A. V. Matesheva,
doctor of technical sciences, leading
researcher

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

A. M. Obukhov institute of atmospheric physics of Russian academy of sciences

Проявления и последствия изменения климата становятся сопутствующим фактором развития современного общества, при этом частота и интенсивность этих угроз имеет тенденцию к увеличению. Согласно расчетам изменения климата по различным сценариям, ожидается усиление глобального потепления. Поэтому одной из важных задач становится обеспечение безопасности в условиях изменяющегося климата при стратегическом планировании пространственного развития России на основе теории рисков.

Для оценки рисков воздействия климатических изменений при стратегическом планировании пространственного развития, очевидно, не требуются абсолютные величины, на первый план здесь выходит оперативность расчетов. В связи с этим предложен подход к экспресс-оценке относительных значений (вариаций) климатического риска. При необходимости далее могут быть просто рассчитаны абсолютные величины вариации риска, сами величины риска, величины экономического риска.

Для примера рассмотрено построение на основе предложенного подхода методики оценки климатического риска вследствие воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социальную сферу, и выполнен демонстрационный расчет для гипотетического сценария развития экономики России к 2036 г.

Предложенный подход позволяет решать задачи оперативной оценки климатических рисков.

The manifestations and consequences of climate change are becoming a concomitant factor in the development of modern society, while the frequency and intensity of these threats has trends to increase. According to calculations of climate change in various scenarios intensification of global warming is expected. Therefore, one of the important tasks is to ensure security in a changing climate during the strategic planning of the spatial development of Russia based on the theory of risks.

Obviously, absolute values are not required to assess the risks of the impact of climate change in the strategic planning of spatial development, and the operativeness of calculations comes to the fore here. In this regard, an approach to the rapid assessment of relative values (variations) of climate risk is proposed. If necessary, further the absolute values of risk variation, the risk values themselves and the values of economic risk can be calculated simply.

As example, the construction of the methodology for estimating climate risk due to the impact of dangerous hydrometeorological occurrence on the social field on the basis of the proposed approach is considered. A demo calculation was performed for a hypothetical scenario for the development of the Russian economy by 2036.

The proposed approach allows us to solve the problems of rapid estimation of climate risks.

Ключевые слова: изменение климата, климатический риск, вариация риска, стратегическое планирование.

Keywords: climate change, climate risk, risk variation, strategic planning.

Введение

Изменение климата является чрезвычайно актуальной проблемой. Согласно данным Росгидромета [1], на территории России в последние десятилетия потепление климата происходило быстрее и масштабнее, чем в среднем по Земному шару.

На этом фоне увеличиваются частота и интенсивность опасных гидрометеорологических явлений (шквалы, смерчи, ураганы, сильные ливни с грозами, градом и шквалистым ветром, сильные засухи, наводнения, лесные пожары, волны жары и т. д.), повышается частота неблагоприятных погодных условий.

Важно отметить, что климатические изменения уже начинают значимо влиять на многие сферы экономики — сельское и лесное хозяйство, энергетику, транспорт, строительство, защиту окружающей среды, жилищно-коммунальное хозяйство. Усиливаются угрозы здоровью человечества, особенно в загрязненной атмосфере. По оценкам ВОЗ, загрязнение воздуха является причиной ежегодной гибели около 7 млн человек [2].

Рейтинги угроз, публикуемые в ежегодных отчетах Всемирного экономического форума, однозначно указывают на высокую значимость погодно-климатического фактора в устойчивом развитии общества. В отчете о глобальных рисках за 2019 г. отмечено следующее [3]:

- первую позицию в пятерке главных глобальных рисков, ранжированных по вероятности, занимают экстремальные погодные явления. За ними следуют неудачи в смягчении воздействия на климат и в адаптации, затем — стихийные бедствия;
- в списке рисков, ранжированных по масштабу оказываемого воздействия, после оружия массового поражения, занимающего первую позицию, неудачи в смягчении воздействия на климат и в адаптации занимают вторую позицию, экстремальные погодные явления — третью. Водный кризис и стихийные бедствия занимают, соответственно, четвертую и пятую позиции.

В Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 г., утвержденной указом Президента Российской Федерации от 19.04.2017

г. № 176, отмечено, что «на территории Российской Федерации за год регистрируется в среднем около 950 опасных гидрометеорологических явлений (наводнения, засуха, сильный ветер, сильные осадки и другое), наносящих значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения. По экспертным оценкам, материальный ущерб от опасных гидрометеорологических явлений в отдельные годы может достигать 1% валового внутреннего продукта».

Стратегией пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 г., утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. № 207-р, среди основных проблем пространственного развития Российской Федерации отмечено «негативное влияние глобальных климатических изменений, в том числе таяния вечной мерзлоты и увеличения числа опасных гидрометеорологических явлений, на социально-экономическое развитие территорий Российской Федерации». По данным МЧС [4] наиболее разрушительными для России являются наводнения, лесные пожары и аномальная жара. Согласно данным [5] 90% самых тяжелых экономических потерь приходится на опасные гидрометеорологические явления: паводки, наводнения, сильный ветер, ливневые дожди, град, засухи, оставляя таким стихийным бедствиям, как извержения вулканов, цунами и землетрясения, лишь 10%.

Глобальный характер и значимость проблемы климатических изменений и их последствий для долгосрочного устойчивого социально-экономического развития общества дают все основания для ее отнесения в соответствии со Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной указом Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642, к категории, так называемых, больших вызовов.

В связи с существенной ролью причин антропогенного характера в современном изменении климата исключительно важную роль приобретает Парижское соглашение по климату, ставящее цель сдерживание роста глобальной температуры ниже 2°C по сравнению с доиндустриальным периодом, с продолжением усилий по ограничению роста температуры до 1,5°C [6].

Таким образом, проявления и последствия изменения климата становятся постоянно действующим фактором, влияющим на развитие современного общества. При этом частота и интенсивность этих угроз имеют вполне четкую тенденцию к увеличению.

Поскольку инвестировать в снижение рисков более эффективно, чем оплачивать последствия катастроф, одной из важных задач при стратегическом планировании пространственного развития России становится обеспечение безопасного в климатическом отношении развития страны на основе анализа и учета климатических рисков.

Актуальность учета климатических изменений в процессе стратегического планирования

Оценки изменения климата в XXI веке содержатся в докладе [7].

Наиболее вероятные оценки увеличения глобальной температуры в 2081-2100 гг. по отношению к 1986-

2005 гг. в зависимости от климатического сценария для 5-95% общего числа климатических моделей будут составлять: 0.2-1.8°C (RCP2.6), 1.0-2.6°C (RCP4.5), 1.3- 3.2°C (RCP6.0), 2.6-4.8°C (RCP8.5).

Россия остается регионом мира, где потепление климата в течение XXI в. будет существенно превышать среднее глобальное потепление. Повышение температуры зимой на территориях всех федеральных округов Российской Федерации, кроме Северо-Кавказского и Южного, будет заметно превышать ее повышение в летний сезон. Абсолютный годовой максимум температуры как показатель экстремальности летней температуры воздуха может заметно увеличиться, в первую очередь, на юге ЕТР. В то же время следует ожидать заметного смягчения температурного режима в холодное время года, в основном из-за повышения наиболее низкой температуры воздуха на севере ЕТР, а в конце XXI века — и на ее юге, где зимы станут бесснежными.

В течение всего XXI века для всех сценариев изменения климата отмечается устойчивая тенденция увеличения количества осадков в зимний период на всей территории России. В летний период увеличение средних за сезон сумм осадков ожидается на большей части территории России, за исключением южных регионов, где к концу этого века ожидается уменьшение осадков до 25% по сравнению с концом XX в. Изменения осадков будут заметно различаться для разных федеральных округов зимой по величине, а летом как по величине, так и по знаку. На водосборах Лены и Енисея, а также рек Чукотки ожидается значимое увеличение стока.

Площади, занятые приповерхностной многолетней мерзлотой, по сценариям RCP4.5 и RCP8.5 сократятся соответственно на 20 ± 7 и $25 \pm 8\%$ к середине XXI века и на 31 ± 12 и $56 \pm 18\%$ к его концу. Модельные оценки однозначно указывают на уменьшение площади морского льда в российской Арктике и прилегающих к ней районах Северного Ледовитого океана на протяжении XXI в. и позволяют говорить о возможности исчезновения там многолетнего льда уже в первой половине этого века.

Климатическим центром Росгидромета представлены результаты расчетов будущих изменений климата на территории России с помощью ансамбля глобальных климатических моделей [8]. Для сценариев изменения содержания парниковых газов и аэрозолей в атмосфере RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5¹ приведены репрезентативные оценки изменения температуры приземного воздуха, суммарных осадков, разности осадков и испарения (средние за 20 лет значения климатических характеристик) для начала (2011-2030 гг.), середины (2041-2060 гг.) и конца (2080-2099 гг.) XXI века по отношению к базовому климатическому периоду 1981-2000 гг.

На рис. 1 приведены изменения температуры — одного из основных показателей изменения климата.

¹ RCP индекс сценария характеризует величину антропогенного радиационного воздействия, достигаемого в 2100 г., а именно: 2.6, 4.5, 6.0 и 8.5 Вт/м² в RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 и RCP8.5 соответственно.

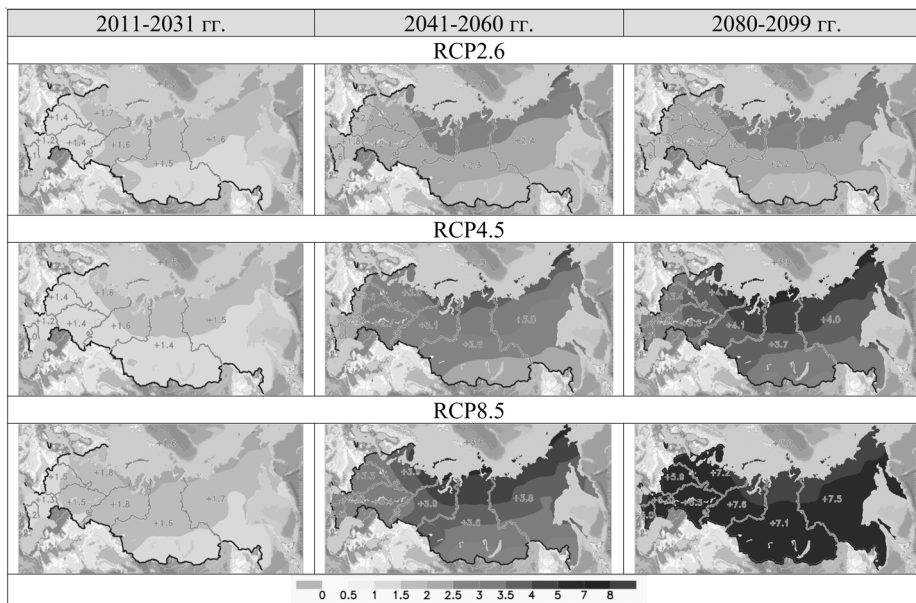


Рис. 1. Расчеты с помощью ансамбля глобальных климатических моделей изменения средних за 20 лет значений температуры приземного воздуха для различных периодов XXI века и для разных сценариев по отношению к базовому климатическому периоду 1981-2000 гг. (по данным [8])

Видно, что для всех сценариев температура увеличивается. Однако по территории России этот процесс происходит весьма неравномерно. В целом эти результаты подтверждают выводы доклада [7]. Таким образом, согласно современным научно обоснованным прогнозам, наблюдаемые тенденции в изменении климата с высокой степенью вероятности сохранятся и, в ряде аспектов, усугубятся. Это, безусловно, отразится на характеристиках воздействия изменений климата на хозяйственные объекты и здоровье населения [7], кратко приведенных ниже.

Строительство, наземный транспорт, топливно-энергетический комплекс. Ожидается изменение характеристик отопительного периода: уменьшение продолжительности отопительного периода (до 5 сут./10 лет на севере ЕТР) и повышение его средней температуры; перегрев зданий в теплый период года.

Будет усиливаться разрушающее воздействия температурно-влажностных деформаций на здания и сооружения, обусловленного увеличением числа переходов температуры воздуха через 0°C в холодный период года, а также с увеличением количества жидких и смешанных осадков в зимний сезон. Ожидается ускоренное разрушение автодорог и других объектов.

Наиболее опасные последствия связаны с увеличением интенсивности осадков. В некоторых регионах повысится вероятность речных ливневых наводнений, оползневых и селевых процессов с возможными разрушениями инфраструктуры.

Хозяйственные объекты, расположенные на многолетней мерзлоте. Происходит снижение несущей способности многолетней мерзлоты по сравнению с 1970-ми гг. в среднем на 17%, а в отдельных регионах — до 45%. Это создает угрозу разрушения объектов инфраструктуры, поскольку коэффициент запаса при строительстве в России, как правило, не превышает 1,6. Техногенные факторы, например, засоление, также уменьшают несущую способность грунтов.

Водное хозяйство. В целом для территории России потенциальная водообеспеченность на одного жителя может увеличиться на 5-10% вследствие ожидаемого увеличения водных ресурсов. Вместе с тем в густонаселенных регионах Центрального, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов можно ожидать уменьшения водообеспеченности в результате изменения климата, увеличения водопотребления и роста населения.

К середине XXI в. экстремальность осадков в летний период в горных районах Кавказа, в Сибири и на Дальнем Востоке может увеличиться, в связи с чем возрастут частота и высота дождевых и снежодождевых паводков. Повышение температуры воздуха в летний период может вызвать увеличение повторяемости экстремальных маловодий на реках.

Морская деятельность в Арктике. Более доступными для плавания станут высокоширотные трассы, на которых появится возможность круглогодичной навигации. При этом сохранение морских льдов в течение части года и вероятность возникновения сложных ледовых условий потребуют сохранения и развития российского ледокольного флота.

Оценки, предполагающие исчезновение многолетнего морского льда к середине XXI в. при реализации «жестких» сценариев антропогенного воздействия, на сегодняшний день не представляются нереалистичными. Наблюдаемое и ожидаемое далее в XXI в. потепление в арктической зоне в целом благоприятно для морской хозяйственной деятельности, включая судоходство и добычу углеводородов на шельфе.

Сельское хозяйство. Благоприятными факторами являются увеличение теплообеспеченности сельскохозяйственных культур, повышение средней температуры холодного периода года, а также увеличение продолжительности вегетационного периода (периода года со среднесуточной температурой выше 10°C). Изменения увлажненности территории сельскохозяйственных регионов в целом благоприятны для

аграрного производства, кроме ряда районов Сибири и черноземного центра.

Негативным последствием наблюдаемого потепления климата становится смещение в северные и восточные регионы России границ ареалов и зон массового размножения вредителей сельскохозяйственных растений и зон распространения возбудителей болезней сельскохозяйственных растений. Ожидается увеличение агрессивности и вредоносности отдельных вредителей, связанное с изменением их экологических особенностей.

Лесное хозяйство. Увеличатся потери леса от прямых воздействий аномалий погоды в отдельные годы и от вредных насекомых и болезней, но наибольшие потери лесное хозяйство будет нести от пожаров.

Здоровье населения. Усиливающиеся тенденции возникновения волн жары и снижения качества воздуха, прежде всего из-за лесных пожаров, частота и интенсивность которых возрастают при современном изменении климата, ведут к увеличению нарушений здоровья людей и дополнительной смертности. Также следует ожидать ухудшение эпидемиологической обстановки.

В связи с изложенным, нет сомнений в необходимости учета климатических изменений при стратегическом планировании пространственного развития России.

Следует отметить ряд работ, направленных на оценку климатических рисков в целях устойчивого развития страны.

В работе [9] представлена комплексная оценка макроэкономических последствий изменения климата на территории России на период до 2030 г. Отдельные оценки охватывают перспективу до 2050 г. Рассматриваются воздействия погодно-климатических изменений на динамику развития основных показателей экономики и регионов страны. Подчеркивается необходимость учета климатического фактора в программах развития экономики России.

Доклад [5] содержит результаты оценки климатических рисков на территории Российской Федерации на основе научных исследований, проводимых учреждениями Росгидромета и обобщенных Климатическим центром Росгидромета. Рассмотрены изменения климата на территории Российской Федерации и климатические риски для населения и экономики Российской Федерации.

В монографии [10] рассматриваются основные факторы процесса возникновения климатического риска опасных метеорологических явлений и медленных изменений климата. Предлагается методика оценки уязвимости объектов 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.

В [11] рассмотрены методические подходы к оценке природно-климатических рисков. Особое внимание уделено критериям оценки природно-климатических рисков, на основании детального анализа которых авторами разработана система количественных аб-

солютных и относительных индикаторов, характеризующих величину и интенсивность негативного антропогенного и техногенного влияния на климат. Также представлена авторская методика оценки двух групп показателей негативного воздействия экономики на климат — «энергоёмкости» и «климатоёмкости» — через построение карты климатических рисков.

В работах авторов [12-16] предложена методика индексирования динамики загрязнения атмосферы для оценки экологической безопасности при стратегическом планировании развития регионов, выполнены оценки тенденций дальнего загрязнения атмосферы в XXI веке территорий Российской Федерации с учетом изменения климата, включая Арктику.

Статья [17] посвящена макроэкономическим оценкам последствий ожидаемых в XXI в. климатических изменений в Арктике для экономического роста и развития отдельных секторов экономики Арктической зоны Российской Федерации. Даны оценка и прогноз потенциала использования Северного морского пути в условиях климатических изменений. Проанализировано влияние изменений климата на потребление энергии и устойчивость объектов энергетической инфраструктуры. Представлены количественные оценки ожидаемых ущербов от изменений климата для зданий, сооружений, транспортной инфраструктуры.

Эти и другие работы направлены, прежде всего, на решение вопросов адаптации экономики страны и ее населения к проявлениям и последствиям изменения климата. Однако учет климатических изменений при стратегическом планировании пространственного развития России предопределяет необходимость выполнения достаточно большого количества расчетов по множеству вариантов планирования. При этом высокая точность не требуется, но важна оперативность расчетов. Поэтому необходимо разработать простую методику экспресс-оценки климатического риска.

Общий методический подход к экспресс-оценке климатического риска

Под рисками R в теории безопасности понимаются такие сочетания вероятностей P возникновения неблагоприятных событий (опасных и кризисных явлений, катастрофических, аварийных и чрезвычайных ситуаций), с одной стороны, и математического ожидания порождаемых ими ущербов U с другой, которые определяют изменение уровня безопасности и состояние систем защищенности человека, объектов инфраструктуры и среды обитания от угроз и опасностей внутреннего и внешнего характера — техногенных, природных, антропогенных [18]. Теории риска и ее развитию посвящено много работ, прежде всего [18-20]. В наиболее общем виде риск оценивается по формуле

$$R = P U. \quad (1)$$

Применительно к рассматриваемой проблеме далее будем обсуждать риск, обусловленный проявлениями и последствиями изменения климата. Этот риск, обычно, называют климатическим, хотя в это понятие разные авторы вкладывают неодинаковый смысл. Будем

иметь в виду, что климатический риск есть обобщающее название воздействия погодно-климатической опасности (опасных гидрометеорологических явлений, неблагоприятных погодных условий, аномальных климатических условий, включая условия, создаваемые медленными изменениями климата²).

Вероятность возникновения неблагоприятного события в выражении (1) оценивается экспертными, статистическими или аналоговыми методами. Ущерб или потери определяют из величин и масштабов опасных последствий климатических рисков.

Однако данные об ущербе часто не полны или искажены, а иногда полностью отсутствуют. Здесь необходимо отметить работу [21], которая посвящена расчетам потенциального финансового ущерба от опасных и неблагоприятных метеорологических явлений на территории Российской Федерации в 1987-2017 гг. Тем не менее, приходится применять косвенные методы, а имеющуюся статистику использовать для контроля порядка возможных потерь [10]. В связи с этим в [10] и ряде других работ предложено ущерб выражать через уязвимость объектов к изменению климата³. При этом учитывается, что освоенность территории и интенсивность хозяйственной деятельности тесно связаны с плотностью населения. Понятно, что чем более развита экономика, тем больше населения проживает на данной территории и тем больший ущерб возникает при реализации погодно-климатической опасности. Уязвимость также зависит от географических и климатических особенностей территории, формирующих определенные характеристики этой опасности.

Таким образом климатический риск определяется как произведение вероятности конкретной погодно-климатической опасности на вероятность уязвимости объекта Y , который может оказаться подверженным этой опасности [10]:

$$R = P Y. \quad (2)$$

Климатические риски при оценках развития страны могут рассчитываться по результатам различных сценариев моделирования климата в середине и конце XXI века и информации о стратегиях социально-экономического развития тех или иных районов или отраслей экономики.

Важно отметить, что для оценки рисков воздействия климатических изменений при стратегическом планировании пространственного развития России, очевидно, не требуются абсолютные величины. Существенно важнее иметь в оперативном режиме

представление об относительных значениях (вариациях) климатического риска. Предлагаемый подход к решению этой задачи состоит в следующем.

Представим все функции в выражении (2) в виде суммы:

$$f = \bar{f} + f',$$

где \bar{f} — невозмущенное значение, а f' — отклонение от \bar{f} , при этом $f' \ll \bar{f}$. Под невозмущенным состоянием будем понимать значения искомых функций, характеризующие климатический риск относительно заданного момента или периода времени.

Тогда получим

$$\bar{R} + R' = (\bar{P} + P')(\bar{Y} + Y').$$

Осуществляя перемножение, учитывая, что

$$\bar{R} = \bar{P} \bar{Y},$$

пренебрегая малыми членами (произведением отклонений) и поделив на \bar{R} с точностью до величин первого порядка малости получаем

$$\frac{R'}{\bar{R}} \approx \frac{P'}{\bar{P}} + \frac{Y'}{\bar{Y}}. \quad (3)$$

Таким образом получено простое и в этой связи удобное к использованию выражение для экспресс-оценки относительных величин вариаций климатического риска.

Чтобы получить абсолютную величину вариации риска R' нужно перемножить две известные величины (R'/\bar{R}) и \bar{R} , т. е.

$$R' = (R'/\bar{R}) \bar{R}, \quad (4)$$

а для получения величины риска R прибавить к этому результату невозмущенное значение риска, т. е.

$$R = \bar{R} + (R'/\bar{R}) \bar{R}. \quad (5)$$

Если потребуется знание величины экономического ущерба, создаваемого погодно-климатической опасностью и потребного для формирования экономического механизма управления климатическим риском, то для перехода к экономическому риску (R_3) согласно [10] следует значение риска R умножить на коэффициент A , называемый ценой риска, полагаемый равным доле ВВП и основного фонда России, приходящегося на одного жителя России

$$R_3 = R A. \quad (6)$$

Таким образом для целей стратегического планирования пространственного развития России получено простое и удобное выражение экспресс-расчета климатического риска, оценивающего воздействие погодно-климатической опасности на объект, и представляемого:

- в виде (3) — для относительной величины вариации риска R'/\bar{R} ,
- в виде (4) — для абсолютной величины вариации риска R' ,
- в виде (5) — для величины риска R ,

² 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. Эти изменения значительно отличаются от опасных гидрометеорологических явлений и имеют долгосрочные и широкомасштабные последствия.

³ Уязвимость к изменению климата — степень, в которой объекты (человек, система, процесс, отрасль экономики, территория) восприимчивы к неблагоприятным последствиям изменения климата и не могут справиться с этими последствиями [10].

- в виде (6) — для величины экономического риска $R_э$.

Полученные выражения позволяют строить практические методики для решения задачи экспресс-оценки конкретных видов рисков (вследствие воздействия опасных гидрометеорологических явлений, неблагоприятных погодных условий, аномальных климатических условий), создаваемых погодноклиматическими опасностями, на уровне объекта (человек, система, процесс, отрасль экономики, территория) при сравнении вариантов стратегического планирования пространственного развития страны.

Пример построения методики экспресс-оценки климатического риска вследствие воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социальную сферу

Рассмотрим применение предложенного подхода к построению методики экспресс-оценки климатического риска вследствие воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социальную сферу. Для определенности будем отталкиваться от метода, разработанного в ГГО [10], согласно которому риск воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социальную сферу рассматриваемой территории r определяется выражением:

$$r = P S t m K,$$

где $S = s/S_0$; s — средняя площадь воздействия данного явления (км^2); S_0 — площадь рассматриваемой территории (км^2); t — средняя продолжительность опасного гидрометеорологического явления (сутки); m — численность населения административной области (чел.); K — коэффициент агрессивности явления.

Следуя логике вывода выражения (3), получаем выражение для относительной величины вариации риска воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социальную сферу

$$\frac{r'}{r} \approx \frac{P'}{P} + \frac{S'}{S} + \frac{t'}{t} + \frac{m'}{m} + \frac{K'}{K}. \quad (7)$$

Подчеркнем, что выражение (7) вполне обеспечивает расчеты риска воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социальную сферу федеральных округов в виде относительной величины вариаций r'/\bar{r} . Чтобы получить абсолютную величину вариации риска r' , или величину риска r , или экономического риска ($r_э$) следует воспользоваться выражениями (4)-(6).

Построенная методика позволяет решать задачи экспресс-оценки рисков, создаваемых опасными гидрометеорологическими явлениями, на уровне объекта. Проиллюстрируем ее работоспособность и удобство на примере полученного выражения (7).

С этой целью сформулируем некоторый гипотетический сценарий пространственного развития страны.

В качестве невозмущенного состояния будем рассматривать экономику страны в 2018 г., данные о которой детально представлены в документах Росстата

[22]. Соответственно, под невозмущенным значением риска \bar{r} будем понимать климатический риск для социальной сферы на уровне 2018 г.

Ориентируясь на максимальную заблаговременность демографических прогнозов Росстата (по 2036 г.), будем вариации климатического риска оценивать для 2036 г. Соответствующие данные об относительной численности населения (величина m'/\bar{m}) приведены в табл. 1.

Для задания остальных входящих в выражение (7) величин

$$\frac{P'}{P}, \frac{S'}{S}, \frac{t'}{t}, \frac{K'}{K}$$

учтем имеющиеся качественные характеристики ожидаемых климатических изменений и их проявлений. В обобщающей работе [24] отмечено, что «мониторинг повторяемости опасных явлений говорит об устойчивом росте их числа. Обращает на себя внимание и увеличение интенсивности опасных явлений, их продолжительности и площади распространения».

К сожалению, современное состояние климатического моделирования не позволяет пока эти качественные прогнозные характеристики подкрепить количественными оценками. Тем не менее, представляется, что, опираясь на выводы процитированной работы [24], вполне обоснованно можно принять увеличение к 2036 г. вариаций величин

$$\frac{P'}{P}, \frac{S'}{S}, \frac{t'}{t}, \frac{K'}{K}$$

на 0,5%.

Таким образом гипотетический сценарий развития экономического пространства страны к 2036 г. сформирован. Результаты расчета для этого сценария относительной величины вариаций риска r'/\bar{r} воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социальную сферу федеральных округов по соотношению (7) представлены на рис. 2.

Для расчета абсолютной величины вариации риска r' , а также величины риска r , необходимы невозмущенные значения риска \bar{r} для социальной сферы. В качестве примера с этой целью используем значения риска от опасных явлений для социальной сферы РФ, определенные по методике расчета Индекса всемирного риска [10] и представленные на рис. 3.

Таблица 1

Прогнозная динамика численности населения на 2036 г. (средний вариант) в долях от значений 2018 г. (оценка по данным [23])

Наименование федерального округа	Численность населения на 2018 г., чел.	Прогнозное значение величины m'/\bar{m} на 2036 г.
Центральный	39344736	+0,02
Северо-Западный	13962037	+0,003
Приволжский	29469954	-0,062
Южный	16448201	-0,02
Северо-Кавказский	9845114	+0,056
Уральский	12353176	+0,014
Сибирский	17201746	-0,02
Дальневосточный	8205612	-0,03

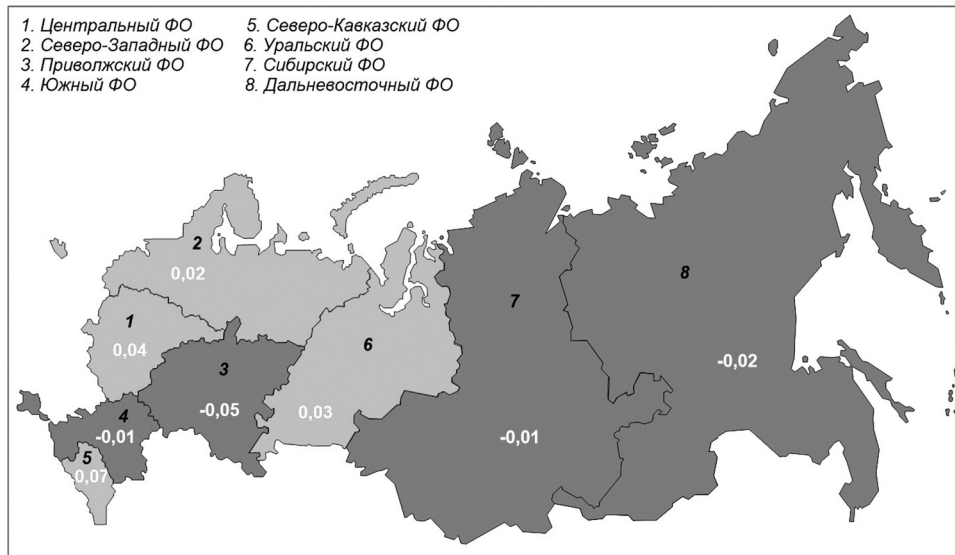


Рис. 2. Относительные величины вариаций риска r'/\bar{r} воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социальную сферу федеральных округов

Используя выражения (4) и (5), не составляет труда оценить величины r' и r . Разумеется, интервальность представления рисков на карте рис. 2 существенно снижает точность расчетов. Поэтому целесообразно использовать цифровую карту невозмущенных значений рисков.

Обсуждение результата

Из анализа рис. 2 видно, что в федеральных округах, для которых ожидается согласно прогнозу Росстата к 2036 г. прирост населения (Центральный, Северо-Западный, Северо-Кавказский, Уральский), относительная величина вариаций риска воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социальную сферу положительна (выделены светло-серым цветом). В федеральных округах, для которых ожидается убыль населения, значения r'/\bar{r} отрицательны (выделены темно-серым цветом). Несложно видеть, что такая ситуация обусловлена принятым гипотетическим сценарием и делать выводы о прогностическом распределении вариаций климатического риска не следует.

Однако даже в представленном случае расчетов можно отметить два существенных момента, относящихся к Северной Осетии-Алании и Тыве. Итоговые значения риска от опасных явлений для социальной сферы в этих административных регионах согласно рис. 3 составляют 0,81-1,00. С учетом результатов расчетов на рис. 2 по использованному сценарию для 2036 г. следует, что в Северной Осетии-Алании риск в среднем увеличится на 0,07% и может стать недопустимым. А в Тыве наоборот риск снизится на 0,01%.

Еще раз отметим, что приведенный пример расчетов — это только демонстрация работоспособности разработанной методики и предложенного подхода в целом.

Выводы

Россия остается регионом мира, где потепление климата в течение XXI века будет существенно превышать среднее глобальное потепление. Краткий анализ состояния современного климата и оценок его изменения однозначно указывает на то, что климатические изменения уже начинают значимо влиять на многие

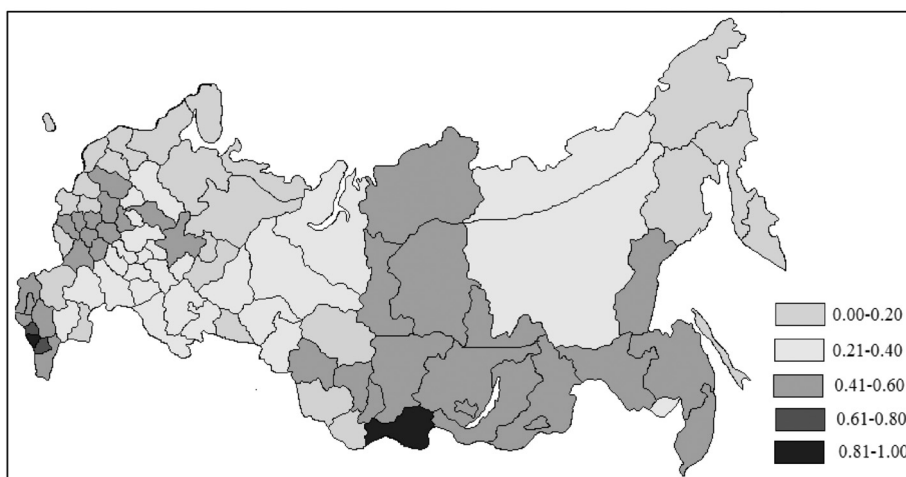


Рис. 3. Итоговые значения риска от опасных явлений для социальной сферы РФ (заимствовано из [10])

сферы экономики — сельское и лесное хозяйство, энергетику, транспорт, строительство, защиту окружающей среды, жилищно-коммунальное хозяйство. Усиливаются угрозы здоровью человечества, особенно в загрязненной атмосфере.

Проявления и последствия изменения климата становятся постоянно действующим фактором, влияющим на развитие современного общества; при этом частота и интенсивность этих угроз имеет вполне четкую тенденцию к увеличению. Это обстоятельство обуславливает необходимость учета климатических изменений при стратегическом планировании пространственного развития России, для чего нужно иметь представление о климатических рисках в настоящее время, в ближайшем и отдаленном будущем.

В связи с этим и учитывая, что при этом высокая точность не требуется, но важна оперативность расчетов, разработан методический подход, обеспечиваю-

щий построение простых методик экспресс-оценки климатического риска.

В качестве примера построена методика экспресс-оценки климатического риска воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социальную сферу и выполнен демонстрационный расчет климатического риска для гипотетического сценария к 2036 г.

Таким образом, предложенный методический подход позволяет строить практические методики для решения задачи экспресс-оценки конкретных видов рисков (вследствие воздействия опасных гидрометеорологических явлений, неблагоприятных погодных условий, аномальных климатических условий), создаваемых погодно-климатическими опасностями, на уровне объекта (человек, система, процесс, отрасль экономики, территория) при сравнении вариантов стратегического планирования пространственного развития страны.

Список использованных источников

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 г. М.: Росгидромет, 2020. 97 с.
2. Загрязнение воздуха. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ). 2020. <https://www.who.int/airpollution/ru>.
3. The Global Risks Report 2019. 14th Edition. World Economic Forum. Geneva. P. 114.
4. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций/Под ред. С. К. Шойгу. М.: Издательство «Феория», 2011. 696 с.
5. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. СПб.: Климатический центр Росгидромета, 2017. 106 с.
6. Парижское соглашение. UN Climate Change (UNFCCC). 2015. https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf.
7. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: Росгидромет, 2014. 61 с.
8. Изменения климата России в 21-м веке (модели CMIP5). ГГО им. А. И. Воейкова. 2020. http://voeikovmgo.ru/?option=com_content&view=article&id=613&Itemid=236&lang=ru.
9. Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу/Под ред. В. М. Катцова, Б. Н. Порфирьева. М.: Д'АРТ, 2011. 252 с.
10. Н. В. Кобышева, Е. М. Акентьева, Л. П. Галюк. Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере. СПб.: «Издательство Кириллица», 2015. 256 с.
11. Е. Н. Яковлева, Н. Н. Яшалова, Д. А. Рубан, В. С. Васильцов. Методические подходы к оценке природно-климатических рисков в целях устойчивого развития государства//Ученые записки РГГМУ. 2018. № 52. С. 120-137.
12. А. А. Макоско, А. В. Матешева. О тенденциях дальнего загрязнения атмосферы территорий Российской Федерации в XXI веке/Под ред. Г. С. Голицына, И. И. Мохова, С. Н. Куличкова, М. В. Курганского, И. А. Репиной, О. Г. Четиани. Турбулентность, динамика атмосферы и климата. М.: Физматкнига, 2018. С. 363-368.
13. А. А. Makosko, S. V. Emelina, A. V. Matesheva. Evaluation of changing weather and climate comfort conditions in Russia from 1980 to 2050//Turbulence, Atmosphere and Climate Dynamics. IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences, 231, 2019, 012015. P. 1-7.
14. А. А. Макоско, А. В. Матешева. Оценка тенденций дальнего загрязнения атмосферы Арктической зоны России в 1980-2050 гг. с учетом сценариев изменения климата// Арктика: экология и экономика. 2020. № 1 (37). С. 45-52.
15. А. А. Макоско, А. В. Матешева. Методика индексирования динамики загрязнения атмосферы для оценки экологической безопасности при стратегическом планировании развития регионов//Инновации. 2017. № 10. С. 76-80.
16. А. А. Макоско, А. В. Матешева. К оценке тенденций дальнего загрязнения атмосферы при планировании пространственного развития России//Инновации. 2019. № 8. С. 27-32.
17. Б. Н. Порфирьев, С. А. Воронина, В. В. Семикашев и др. Последствия изменений климата для экономического роста и развития отдельных секторов экономики российской Арктики//Арктика: экология и экономика. 2017. № 4 (28). С. 4-17.
18. В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Радаев. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. М.: Деловой экспресс, 2004. 352 с.
19. Н. А. Махутов, Н. В. Абросимов, М. М. Гаденин. Обеспечение безопасности — приоритетное направление в области фундаментальных и прикладных исследований// Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2013. № 3 (27). С. 46-71.
20. Н. А. Махутов, Р. С. Ахметханов. Системный подход к оценке и управлению рисками//Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. ВИНТИ. 2012. № 5. С. 56-68.
21. В. В. Оганесян, А. М. Стерин. Расчет потенциального финансового ущерба от опасных и неблагоприятных метеорологических явлений на территории Российской Федерации в 1987-2017 гг.//Метеорология и гидрология. 2019. № 12. С. 97-108.
22. Федеральная служба государственной статистики. <https://www.gks.ru/folder/12781>.
23. Как будет меняться численность населения в России. <https://zen.yandex.ru/media/reburg/kak-budet-meniatsia-chislennost-naseleniia-v-rossii-5c42c9e67211c900ae964353>.
24. Г. С. Голицын, А. А. Васильев. Изменение климата и его влияние на частоту экстремальных гидрометеорологических явлений//Метеорология и гидрология. 2019. № 11. С. 9-12.

References

1. Climate report on the territory of the Russian Federation for 2019. Moscow: Roshydromet, 2020. 97 p. (In Russian.)
2. Air pollution (World Health Organization). <https://www.who.int/airpollution/ru>.
3. The Global Risks Report 2019. 14th Edition. World Economic Forum. Geneva. P. 114.
4. Atlas of natural and technological hazards and risks of emergency situations/Ed. S. K. Shoygu. Moscow: Feoriya, 2011. 696 p. (In Russian.)
5. Report on climate risks in the Russian Federation. SPb.: Climate Center of Roshydromet, 2017. 106 p. (In Russian.)
6. Paris Agreement 2015 (UN Climate Change (UNFCCC)). https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf.
7. The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary. Moscow: Roshydromet, 2014. 61 p. (In Russian.)
8. Climate change in Russia in the 21st century (models CMIP5). 2020. St. Petersburg: The Voeikov Main Geophysical Observatory. http://voeikovmgo.ru/?option=com_content&view=article&id=613&Itemid=236&lang=ru.
9. Assessment of the macroeconomic effects of climate change on the territory of the Russian Federation for the period up to 2030 and the future perspective/Ed V. M. Katsov, B. N. Porfiriev. Moscow: D'ART, 2011. 252 p. (In Russian.)
10. N. V. Kobysheva, E. M. Akentieva, L. P. Galyuk. Climate risks and adaptation to climate change and variability in the technical field. St. Petersburg: Izdatelstvo Kirillitsa, 2015. 256 p. (In Russian.)

11. E. N. Yakovleva, N. N. Yashalova, D. A. Ruban, V. S. Vasil'tcov. Methodological approaches to assessing climate risks for the sustained development of the state//Scientific notes of RSHU. № 52. 2018. P. 120-137. (In Russian.)
12. A. A. Makosko, A. V. Matesheva. On the trends of long-range atmospheric pollution of the territories of the Russian Federation in the 21st century/Ed G. S. Golitsyn, I. I. Mokhova, S. N. Kulichkova, M. V. Kurgansky, I. A. Repina, O. G. Chkhietiani. Turbulence, dynamics of the atmosphere and climate. Moscow: Physmatkniga, 2018. P. 363-368 (In Russian.)
13. A. A. Makosko, S. V. Emelina, A. V. Matesheva. Evaluation of changing weather and climate comfort conditions in Russia from 1980 to 2050//Turbulence, Atmosphere and Climate Dynamics. IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences, 231, 2019, 012015. P. 1-7.
14. A. A. Makosko, A. V. Matesheva. Assessment of the long-range pollution trends of the atmosphere in the Arctic zone of Russia in 1980-2050 considering climate change scenarios//Arctic: ecology and economy, 1 (37), 2020. P. 45-52. (In Russian.)
15. A. A. Makosko, A. V. Matesheva. The methodology of indexing the dynamics of air pollution to assess environmental safety in strategic planning of regional development//Innovation. № 10 (228). 2017. P. 76-80 (In Russian.)
16. A. A. Makosko, A. V. Matesheva. Estimating the trends of remote pollution of the atmosphere when planning spatial development of Russia//Innovation. 2019. № 8 (250). P. 27-32. (In Russian.)
17. B. N. Porfiriev, S. A. Voronina, V. V. Semikashev et al. Climate change impact on economic growth and specific sectors' development of the Russian Arctic|Arctic: ecology and economy. 2017. № 4 (28). P. 4-17. (In Russian.)
18. V. A. Akimov, V. V. Lesnykh, N. N. Radaev. Fundamentals of analysis and risk management in the natural and technogenic sphere. Moscow: Delovoy express, 2004. 352 p. (In Russian.)
19. N. A. Machutov, N. V. Abrosimov, M. M. Gadenin. Safety is a priority in basic and applied research//Economic and social changes: facts, trends, forecast. 2013. № 3 (27). P. 46-71. (In Russian.)
20. N. A. Machutov, R. S. Achmetchanov. A systematic approach to risk assessment and management//Safety and Emergency Issues. VINITI RAS. 2012. № 5. P. 56-68. (In Russian.)
21. V. V. Oganessian, A. M. Sterin. Calculation of potential financial damage from dangerous and adverse meteorological occurrence on the territory of the Russian Federation in 1987-2017//Meteorology and hydrology. 2019. № 12. P. 97-108. (In Russian.)
22. Federal State Statistics Service 2020. <https://www.gks.ru/folder/12781>.
23. How will the population in Russia change 2018. <https://zen.yandex.ru/media/reburg/kak-budet-meniatsia-chislennost-naseleniia-v-rossii-5c42c9e67211c900ae964353>.
24. G. S. Golitsyn, A. A. Vasiliev. Climate change and its impact on the frequency of extreme hydrometeorological occurrence//Meteorology and hydrology. 2019. № 11. P. 9-12. (In Russian.)