

Количественные оценки потенциальных макроэкономических последствий глобального изменения климата: что говорит литература*

Казакова М. В.^{1, 2}

¹Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Москва, Российская Федерация; kazakova@ranepa.ru

²Институт экономической политики им. Е. Т. Гайдара, Москва, Российская Федерация

РЕФЕРАТ

Повышение уровня температуры, наблюдаемое в последнем столетии, затронуло практически все страны мира. Ни одному государству не удалось избежать последствий потепления поверхности Земли и, по прогнозам, ни одна страна не избежит дальнейшего повышения температуры; при этом наибольшее повышение температуры ожидается в странах с относительно более холодным климатом. Вклад развивающихся стран с низким уровнем дохода, которые, как правило, расположены в некоторых из самых жарких географических районов планеты, в концентрации атмосферных парниковых газов незначителен как в абсолютном выражении, так и в расчете на душу населения. В настоящей статье проводится мета-анализ количественных оценок ущерба, наносимого глобальным изменением климата, происходящим на планете, начиная с прошлого века. Показано, что повышение температуры снижает производство на душу населения в странах с относительно высокой среднегодовой температурой, к которым относится большинство стран с низким уровнем дохода. В этих странах отрицательный эффект носит долгосрочный характер и действует по нескольким каналам, включающим снижение сельскохозяйственного производства, снижение производительности труда в секторах, более подверженных воздействию погоды, сокращение накопления капитала и ухудшение здоровья людей. Более того, данные указывают на то, что в последние годы макроэкономические показатели не стали менее чувствительными к температурным шокам, что указывает на значительные ограничения адаптации стран к климатическому изменению.

Как представляется, результаты мета-исследования оценок ущерба от изменения климата, полученных различными авторами, помогут, в первую очередь, сформировать представление о масштабе таких оценок и оценить текущее состояние знаний в этой области. Кроме того, мета-анализ продемонстрирует то, насколько чувствительными являются результаты расчетов относительно выбора подхода к оцениванию эффектов от изменения климата, ошибок измерения или недостаточности данных, рассматриваемой выборки и т. д. Наконец, систематизация количественных оценок климатического ущерба, несомненно, будет иметь практическое значение для органов власти и международных организаций, ответственных за разработку мер борьбы с климатическим изменением и смягчения его последствий, особенно для развивающихся и бедных стран, которые в наибольшей степени ощущают на себе негативное влияние глобального потепления.

Ключевые слова: мета-анализ, изменение климата, глобальное потепление, климатический ущерб, макроэкономические эффекты, модели интегрированной оценки, социальные издержки выбросов

Для цитирования: Казакова М. В. Количественные оценки потенциальных макроэкономических последствий глобального изменения климата: что говорит литература // Управленческое консультирование. 2020. № 10. С. 45–60.

* Статья подготовлена в рамках выполнения научно-исследовательской работы государственного задания РАНХиГС.

Автор выражает благодарность Андрею Полбину за плодотворное обсуждение и ценные комментарии.

Quantifying the Potential Macroeconomic Consequences of Global Climate Change: What the Literature Says

Maria V. Kazakova^{1, 2}

¹Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russian Federation; kazakova@ranepa.ru

²Gaidar Institute for Economic Policy, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Increase of the Earth's average surface temperature observed in the last century has affected almost all countries of the world. No state has managed to escape the effects of global warming, and scientists predict that no country will escape a further increase in temperature. However, the highest temperature increases are expected in countries with relatively colder climates. The contribution of low-income developing countries, typically located in some of the hottest geographic areas of the planet, to atmospheric greenhouse gas concentrations is negligible, both in absolute and per capita terms. This article provides a meta-analysis of quantitative estimates of the damage caused by global climate change occurring on the planet since the last century. A rise in temperature has been shown to decrease per capita production in countries with relatively high average annual temperatures, which include most low-income countries. In these countries, the negative effect has long-term nature and operates through several channels, including decrease in agricultural production and labor productivity in sectors more exposed to weather; reduction in capital accumulation and deterioration of human health. Moreover, as evidence shows, in recent years macroeconomic indicators have not become less sensitive to temperature shocks, which points at significant limitations on countries' adaptation to climate change.

Meta-analysis of climate change damage estimates documented in relevant literature will, first, provide an idea of the scale of such estimates and help to assess the current state of knowledge in this area. In addition, a meta-analysis will demonstrate sensitivity of the results of calculations regarding assessment approach, measurement errors or insufficient data, choice of sample, etc. Finally, systematization of climate damage quantitative estimates is highly likely to be of practical importance for authorities and international organizations responsible for developing measures to deal with climate change and mitigate its effects, especially for developing and poor countries, most affected by the negative effects of global warming.

Keywords: meta-analysis, climate change, global warming, climate damage, macroeconomic effects, integrated assessment models, social cost of carbon

For citing: Kazakova M. V. Quantifying the Potential Macroeconomic Consequences of Global Climate Change: What the Literature Says // Administrative consulting. 2020. N 10. P. XX–XX.

Введение

С начала XX в. средняя температура земной поверхности существенно возросла. Значительные колебания мировой температуры наблюдались в течение длительных периодов, таких как колебания в ледниковые периоды и вне их. Тем не менее скорость изменения климата в течение последних 30–40 лет представляется автору беспрецедентной за последние 20 тыс. лет. Большинство ученых сходится во мнении, что мировые температуры будут расти и дальше, причем масштабы и темпы в значительной степени зависят от способности людей сдерживать выбросы парниковых газов, что является основной причиной глобального потепления [18; 19].

Оценка экономических последствий изменения климата представляется весьма сложной. Масштабное повышение температуры, которое потенциально может произойти в следующем столетии, а также многие другие аспекты изменения климата, такие как быстрое повышение уровня моря, повышение уровня кислотности океана и т. д., могут повлиять на большое количество стран. Экстраполяция исторически наблюдаемой взаимосвязи между экономической активностью и погодными условиями представляется не вполне корректной, поскольку население адаптируется к по-

стоянным изменениям климата. Тем не менее изучение макроэкономических последствий изменения погодных условий в течение года может дать полезную информацию. Например, в одном из исследований [7] обнаружили, что более высокие температуры значительно замедляют экономический рост в странах с низким уровнем дохода. В [3] предоставляют доказательства того, что производительность достигает пика примерно при 13° С и сильно снижается при более высоких температурах. Поскольку страны с низким уровнем дохода сконцентрированы в географических районах с более жарким климатом, результаты исследований [3] показывают, что повышение температуры будет оказывать особенно негативное влияние на эту группу стран (подробнее результаты этих исследований описаны во второй секции статьи).

Понимание макроэкономических последствий климатического изменения и возможностей для принятия политических мер по их смягчению будет иметь решающее значение для развивающихся стран с низкими доходами с точки зрения достижения устойчивого роста в долгосрочной перспективе — предварительного условия для сближения и реализации целей в области устойчивого развития, сформулированных в 2015 г. Организацией Объединенных Наций¹.

В ряде работ² предоставлены обзоры литературы, посвященной климату и исследованиям влияния колебаний погоды на широкий спектр экономических переменных. Мета-анализу такой литературы посвящена настоящая статья. Результаты множества исследований, посвященных оцениванию воздействия климатического изменения на экономику стран мира, характеризуются высокой степенью неопределенности. Ввиду ограниченной доступности данных, источниками значительного смещения оценок коэффициентов и стандартных ошибок являются дублированные оценки, пропущенные переменные, ошибки измерения, избыточная зависимость от опубликованных оценок, зависимые ошибки и гетероскедастичность. Поэтому мета-анализ глобальных оценок ущерба от изменения климата, по нашему мнению, является ключевым инструментом выявления взаимосвязи между температурой и климатическим ущербом. В этой связи, мета-анализ вносит существенный фундаментальный вклад в научные исследования по данной тематике, выявляя источники неопределенности результатов расчетов.

Данный анализ играет и важную прикладную роль с точки зрения разработки политики в отношении климата, поскольку позволяет получить, возможно, лучшую оценку рисков, которые влечет за собой изменение климата для глобальной экономической системы и для благосостояния людей. Цель мета-анализа состоит в улучшении понимания взаимосвязи температуры и климатического ущерба. Исчерпывающий обзор литературы должен быть направлен на систематизацию большого набора данных и проведение мета-анализа, основанного на использовании более современных методов обработки данных, которые могут более точно уловить эту взаимосвязь и неопределенность, лежащую в ее основе. Такой анализ позволит лучше охарактеризовать текущее состояние знаний в отношении связи между температурой и климатическим ущербом.

1. Температура и осадки: исторические закономерности и прогнозы

Для понимания контекста настоящей статьи ниже нами кратко обобщается научный консенсус о том, как климат и один из основных антропогенных факторов — выбросы парниковых газов — развивались в течение прошлого столетия.

¹ См. <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>.

² Например, в [8].

Мировые температуры увеличились примерно на 1 °С по сравнению со средним значением 1880–1910 гг. Серьезный рост температуры начался в 1970-х гг., после значительного увеличения выбросов углекислого газа (CO₂). Хотя, по данным Межправительственной комиссии по изменению климата (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), некоторые случаи потепления в течение прошедшего столетия объясняются природными факторами, более половины повышения температуры с 1950 г. можно отнести на счет антропогенной деятельности [17].

Подавляющее большинство ученых согласны с тем, что будущее изменение климата в значительной степени зависит от траектории выбросов CO₂, которая, в свою очередь, зависит от демографических тенденций, экономического развития, технического прогресса и от того, с какой энергией страны осуществляют меры по смягчению последствий. Тем не менее, учитывая значительное наращивание и сохранение концентрации парниковых газов в атмосфере, даже при немедленном и существенном сокращении текущих выбросов, прогнозируется повышение температуры в течение некоторого времени, хотя и более медленными темпами. В свою очередь, по мере повышения температуры, будут возрастать риски экстремальных погодных явлений, таких как наводнения, засухи и жара [17].

2. Обзор эмпирического опыта оценивания ущерба от антропогенного изменения климата

Изменение климата является одним из важнейших вопросов, стоящих на повестке дня современных политиков¹. Свидетельством понимания на международном уровне острой необходимости совершения активных шагов в этом направлении стало Парижское соглашение. В 1994 г., когда были предприняты первые серьезные попытки эмпирической оценки глобального ущерба от изменения климата [42], аналитики разработали несколько методологий для определения денежной ценности влияния климатического изменения. Эти методологии, каждая из которых имеет свои сильные и слабые стороны, были представлены в основном четырьмя волнами. Сегодня каждая из этих методологий продолжает использоваться, причем часто одними и теми же авторами.

В рамках первой волны серьезных эмпирических оценок авторы применяли стратегию количественной оценки и экспертного сбора. Автору книги [11] приписывают первое широкое применение стратегии количественной оценки (т.е. восходящего (bottom-up) подхода) для оценки глобального климатического ущерба [42]. Это быстро стало методологией, которую разработчики моделей интегрированной оценки (integrated assessment models, IAM)² стали использовать для калибровки функции(ий) климатического ущерба в рамках, прежде всего, динамических интегрированных моделей климата и экономики, DICE (от англ. Dynamic Integrated Models of Climate and Economics) (см. книгу разработчика модели DICE В. Нордхауса [23], в которой проводится детальный анализ самой модели, а также результатов ее применения), модели неопределенности, переговоров и распределения (Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution, FUND) [39], а также анализа политики в отношении парникового эффекта (Policy Analysis of the Greenhouse Effect, PAGE) [32]. Полагаясь на усмотрение автора [31], разработчики моделей IAM собирают и строят регионально-секторальные оценки ущерба (например, оценки ущерба для отрасли сельского хозяйства США), ссылаясь на исследования экономического эффекта, получая оцен-

¹ Обзор в данной работе основан, в том числе, на материалах статьи [15].

² Данный класс моделей фиксирует различные этапы климатических и экономических процессов, переводящих предельную единицу выбросов CO₂ в измерение экономического ущерба.

ки физического воздействия из научной сферы или применяя подход переноса выгод [42; 44].

Авторы [32] подчеркивают, что показателем, играющим важную роль при разработке политики глобального потепления, является предельное воздействие тонны углерода, выбрасываемого в атмосферу. В экономическом плане это значение соответствует уровню налога на выбросы углерода, необходимому для интернализации внешних эффектов, связанных с изменением климата. В исследовании [32] производится переоценка предельного воздействия выбросов CO_2 в свете появления новых научных и экономических представлений об охлаждающих воздействиях сульфатных аэрозолей и истощении озонового слоя, региональном распределении ущерба от глобального потепления, нелинейности ущерба в зависимости от повышения температуры и соответствующей ставки дисконта. Полученная авторами наилучшая оценка предельных эффектов от углеводородных выбросов, основанная на применении модели PAGE95, составляет 21 долл. за тК с 90%-м диапазоном неопределенности, равным 10–48 долл. за тК. В контексте реальной экономики 21 долл. за тонну соответствует примерно налогу на нефть в 2 долл. за баррель или налогу на бензин в размере 0,2 долл. за литр.

В отличие от стратегии количественной оценки, которая может учесть рыночные, нерыночные и катастрофические убытки от изменения климата, в упомянутых выше исследованиях разработчики моделей часто не принимают во внимание существенные эффекты, а также влияние на общее равновесие [13]¹.

В [13] говорится о том, что исследования не учитывают эффект дисконтирования стоимости будущего ущерба окружающей среде, например, из-за изменения климата, а также увеличение относительной цены экосистемных услуг, находящихся под угрозой. Таким образом, эффекту дисконтирования можно было бы противодействовать, а при условии достаточно быстрого темпа роста цены товара этот эффект мог бы даже быть обращен вспять. Дефицит, который приводит к росту относительных цен на экологический товар, также будет оказывать прямое влияние на саму ставку дисконтирования. Величина этих эффектов зависит от свойств технологий экономики и социальных предпочтений. Авторами [13] разрабатывается простая модель экономики, которая иллюстрирует, как изменения в важнейших параметрах технологии и предпочтений могут влиять как на ставку дисконтирования, так и на скорость изменения стоимости экологических товаров. Совокупный эффект дисконтирования и изменения стоимости экологических товаров, скорее всего, будет тем ниже — или даже отрицательным, — чем ниже скорость роста качества окружающей среды (или тем больше скорость его снижения), и чем ниже эластичность замещения между качеством окружающей среды и производимыми товарами.

Диапазон количественных оценок влияния изменения климата на благосостояние, приведенных в упомянутых исследованиях первой волны, составляет от 2,3 до 11,5% ВВП при увеличении температуры в масштабе порядка 1–3 °C.

Также на ранних этапах разработки моделей интегрированной оценки ряд авторов [24; 36] провел несколько экспертных исследований, направленных на выявление глобального климатического ущерба на малых выборках с целью калибровки функции(ий) ущерба в своих моделях. Недавняя работа [14] расширяет эту методологию для большой выборки объективно отобранных экспертов. Принимая во внимание зависимость этого метода от субъективного мнения, неспособность подобных исследований присваивать веса, основанные на точности прогнозов (ис-

¹ Например, по мнению [14], такие эффекты охватывают воздействие климата на следующие секторы рынка: сельское хозяйство, лесное хозяйство и рыболовство; экосистемные услуги (включая биоразнообразие и утрату среды обитания); воздействие на здоровье; и др.

пользуя начальные вопросы, *seed questions*), является их постоянным недостатком [30]. Экспертные исследования фиксируют ряд рыночных и нерыночных эффектов от изменения климата с диапазоном оценок ущерба от 0 до 10,2% ВВП при повышении температуры на 1–6 °С.

Начиная с ранних 2000-х гг., авторы стали применять перекрестные (кросс-секционные) регрессии для оценивания влияния текущего климата на национальный ВВП и благосостояние, а затем прогнозировали эффекты от изменения климата в будущем при помощи построения климатических сценариев. Авторы использовали несколько техник регрессии, в том числе рикарданский анализ [22], регрессирующий ВВП на климатические переменные (например, [4]), индекс счастья — на климатические переменные и доходы [21; 25], а также подход производственной функции домохозяйств [20].

Исследователи [22] получают две оценки, используя статистические и экспериментальные методологии, хотя при кластеризации последние классифицируются как статистические ввиду вероятной зависимости оценок. Авторы объединяют модель прогнозирования климата COSMIC с моделью глобального воздействия (*global impact model*, GIM), чтобы сравнить рыночные эффекты от антропогенного изменения климата, прогнозируемые 14 моделями общего обращения (*general circulation models*, GCM). Учитывая конкретную дату прогноза (2100 г.), концентрацию углекислого газа (612 промилле по объему) и глобальную чувствительность к температуре (2,5 °С), прогнозируемое влияние климата на экономику оценивается при помощи функций реакции на климат, построенной на основе экспериментальных и кросс-секционных данных.

Несмотря на существование значительной неопределенности относительно точных масштабов воздействия климата на конкретную страну, авторы исследования [22] формулируют несколько важных идей. Во-первых, сценарии умеренного изменения климата, ожидаемого к 2100 г., скорее всего, окажут лишь незначительное влияние на мировую экономику. Рыночные эффекты, прогнозируемые в этом анализе, не превышают 0,1% мирового ВВП, и, вероятно, их масштаб будет меньше. Во-вторых, влияние климата на рынок будет дифференцированным от страны к стране по всему миру. Ожидается, что страны, расположенные на высоких широтах, получат выгоду от потепления, а страны в низких широтах пострадают. В-третьих, несмотря на то, что общее воздействие потепления и углеродных удобрений на земном шаре в 2100 г. будет практически равным нулю, предельное воздействие более высокой температуры, как ожидается, повлечет за собой потери. Ожидается, что рост температуры выше 2 °С уменьшат выгоды и увеличат ущерб. В-четвертых, модели GCM предсказывают большее потепление у полюсов и меньшее потепление у экватора по сравнению со сценарием с равномерным изменением климата. Эти постоянные отклонения уменьшают величину ущерба (поскольку увеличивают выгоды), обусловленного равномерным изменением климата, и должны быть приняты во внимание. Таким образом, по результатам расчетов, однородное глобальное изменение температуры переоценивает мировой ущерб, поскольку оно недооценивает выгоды в полярных регионах и переоценивает ущерб в тропических регионах по сравнению с прогнозами, полученными при помощи GCM.

Полученные в [22] оценки рыночных эффектов от предсказанного изменения климата показывают, что это изменение также может повлиять на качество жизни. Однако данный анализ носит предварительный характер, поскольку не принимает во внимание воздействие на экосистемы, здоровье и эстетику, а также эффекты, возникающие при изменении частоты экстремальных явлений или катастроф.

Статья [6] предлагает два взгляда на отношения между климатом и доходами. В первую очередь, авторы работы демонстрируют новые данные о связи между температурой и доходом. Используя не только межстрановые, но и субнациональ-

ные данные по 12 странам Северной и Южной Америки за период 1950–2000 гг., они показывают, что отрицательная перекрестная (кросс-секционная) связь между температурой и доходами существует как внутри стран, так и между странами. При этом, эта связь внутри страны оказывается значительно слабее, чем между странами, однако, она остается статистически значимой и характеризуется большим экономическим масштабом. Так, в [6] показано, что повышение температуры на 1 °C ассоциируется со снижением подушевых доходов на уровне муниципалитетов на 1,2–1,9%. Тот факт, что такая взаимосвязь имеет место как внутри стран, так и между странами, свидетельствует о том, что пропущенные характеристики стран не являются полностью определяющими для оценивания взаимосвязи между температурой и доходами.

Кроме того, в исследовании представлена теоретическая модель, позволяющая согласовать значительную отрицательную связь между температурой и доходом в кросс-секционных данных с еще более сильными краткосрочными эффектами от повышения температуры, продемонстрированными на панельных моделях. Чтобы согласовать результаты, полученные на основе кросс-секционных и панельных данных, авторы [6] предлагают простую теорию, которая делает акцент на двух силах — адаптации и сходимости — и показывает, как причинная оценка зависимости между температурой и экономическим ростом, полученная в более ранней работе тех же авторов [5]¹, может быть согласована с долгосрочной оценкой этой зависимости. Согласно разработанной теории, в межстрановом контексте половина негативных краткосрочных эффектов от повышения температуры смягчается за счет адаптации к изменению климата в долгосрочном периоде.

Нордхаус [25] в своей работе указывает на наличие очевидной связи между экономической деятельностью и географией, поскольку население группируется в основном на побережьях и редко на ледяных щитах. Прошлые исследования взаимосвязей между экономической деятельностью и географией были затруднены ограниченными пространственными данными об экономической активности. В исследовании представлены данные о глобальной экономической активности — база данных G-Econ, которая измеряет экономическую активность для всех крупных стран, измеренную по шкале 1° широты и 1° долготы. Исследование данных проводится в работе по трем направлениям. Во-первых, обнаруживается удивительная взаимосвязь между экономической активностью и климатом, подразумевающая, что соотношение между температурой и выпуском является отрицательным при измерении показателей на душу населения и высоким и положительным — при измерении на основе площади. Во-вторых, база данных позволяет лучше выявлять влияние географических характеристик на бедность в Африке.

Наконец, данные G-Econ используются для получения оценок влияния глобального потепления на экономику. Чтобы оценить влияние изменения климата на мировую экономику, автор [25] сравнивает экономическую производительность при текущем климате с двумя сценариями изменения климата, которые отражают равновесное воздействие удвоения CO₂-эквивалентных концентраций в атмосфере².

¹ В своей работе 2008 г. авторы [5] построили панель по климату и доходам на уровне страны и года и выявили, что в бедных странах за период 1950–2003 гг. повышение температуры на 1° C в конкретном году приводило к снижению экономического роста в этом же году на 1,1 пп.

² В рамках первого сценария предполагается изменение только температуры. Этот сценарий предполагает изменение средней температуры земной поверхности на 3,0 °C во всех ячейках сетки базы данных G-Econ, а изменение температуры зависит от широты. Кроме того, данный сценарий предполагает отсутствие изменений в количестве осадков.

В соответствии со вторым сценарием, в середине континента наблюдается засуха, а также изменение температуры, предполагаемое в первом сценарии. Для моделирования сред-

На первом этапе расчетов оценивается регрессия выпуска в ячейках (соответствующих странам) в базе на исторические данные о климате и другие переменные. На втором этапе переменные температуры и количества осадков в каждой ячейке заменяются на аналогичные показатели, соответствующие первому и второму сценариям. Затем изменение выпуска оценивается как разница между прогнозами для этих двух сценариев. После этого изменения выпуска агрегируются, причем в качестве весов используются площадь ячейки базы (страны), выпуск и численность населения. Максимальная вариация оценок и прогнозов оценивается с помощью техники бутстрапирования со 100 повторениями.

Основной результат оценивания [25] для первого сценария заключается в том, что потепление оказывает негативное влияние на производительность экономики при использовании любой из трех систем взвешивания. Так, прогнозируемое изменение выпуска составляет $-0,9\%$ при использовании в качестве весов выпуска в каждой ячейке и $-1,7\%$ — при взвешивании по численности населения. Оценивание в рамках второго сценария демонстрирует более неблагоприятные эффекты от глобального потепления. При этом различия между этими двумя сценариями постепенно увеличиваются по мере того, как весовые коэффициенты переходят от производства к площади стран и к численности населения. Интуитивное объяснение такого результата состоит в том, что потепление оказывает наибольшее воздействие на экономику в странах с самой высокой плотностью населения. По мнению автора, наиболее релевантным является второй сценарий потепления, причем данные взвешиваются по численности населения. При этих условиях изменение выпуска при потеплении в среднем составляет $-3,0\%$ от среднего выпуска при сценарии удвоения.

Таким образом, полученные автором [25] на основе данных базы G-Ecop оценки ущерба от потепления превышают большинство существовавших на момент проведения исследования оценок. Так, в [28] оценили воздействие потепления на $2,5\text{ }^\circ\text{C}$ в $-0,2\%$ и $-0,4\%$ от общего объема производства при использовании в качестве весов объема производства и численности населения, соответственно. Ориентировочная оценка [40; 41] для потепления на $1\text{ }^\circ\text{C}$ составляет $2,3\%$ при использовании объемов производства в качестве весов.

Несмотря на преимущество статистического подхода, который основан на данных и учитывает адаптацию с использованием современных технологий [3; 22], смещение оценок, обусловленное наличием пропущенных переменных, потенциально представляет серьезную проблему. Все авторы, за исключением [4], пытаются решить эту проблему, используя уникальные идентификационные стратегии. Тем не менее, перекрестный анализ фиксирует только узкий набор климатических эффектов. Первые два регрессионных метода, упомянутые выше, не позволяют оценить нерыночные эффекты, в то время как последние два игнорируют влияние климатического изменения на рынок. Кроме того, в этих исследованиях не учитываются эффекты, существенно изменяющиеся в пространстве (например, удобрения на основе CO_2 и повышение уровня моря), еще не произошли (например, переломные точки) или не проявляются в результате изменения средней температуры (например, экстремальная погода) [42]. Диапазон кросс-секционных оценок климатического ущерба составляет $0,1\text{--}16,3\%$ ВВП при повышении температуры на $0,7\text{--}3,2\text{ }^\circ\text{C}$.

Начиная примерно с 2010 г., экономисты-климатологи впервые применили вычислимые модели общего равновесия (computable general equilibrium analysis (models),

неконтинентального высыхания предполагается, что количество осадков уменьшается на 15% в районах, расположенных на расстоянии не менее 500 км от побережья в среднеширотных регионах (между 20 и 50° северных или южных широт), тогда как количество осадков в других районах увеличивается на 7% .

CGE) для оценки глобальных оценок ущерба от изменения климата. Как и в описанных ранее исследованиях, разработчики моделей использовали оценки регионально-секторальных эффектов, взятые из экономической литературы, для калибровки своих моделей климата и экономики. Отличие этих работ от количественных исследований заключается в том, что при калибровке CGE авторы использовали оценки влияния климата на предложение производственных ресурсов и спрос на продукцию, а не на произведенную продукцию. Примерами CGE-моделей являются межвременная вычислимая равновесная система (Inter-temporal Computable Equilibrium System, ICES) [2] и прикладная модель общего равновесия для оценки воздействия на окружающую среду и устойчивость (Sustainability Applied General Equilibrium Model, ENVISAGE) [34]. В отличие от традиционных моделей интегрированной оценки, вычислимые модели общего равновесия отражают влияние изменения климата на экономический рост через изменения запасов ресурсов (капитал и земля), производительности факторов (капитал, рабочая сила, земля и/или их совокупность) и спроса на услуги (энергия, здравоохранение и/или туризм) [9; 34].

Применяемая в [34] модель интегрированной оценки ENVISAGE, которая включает экономический модуль на основе CGE и климатический модуль, используется авторами для оценки воздействия различных экономических эффектов, вызванных изменением климата. Эти эффекты включают: повышение уровня моря, изменение урожайности, наличие воды, здоровье людей, туризм, спрос на энергию. Согласно предварительным¹ оценкам, полученным [34] в результате оценивания модели, на глобальном уровне наиболее серьезным последствием изменения климата будут изменения в производительности труда, которые обусловят 84% глобального ущерба в 2050 г. (данный ущерб составляет –1,8% от мирового ВВП) и 76% в 2100 г. (ущерб в размере –4,6% от мирового ВВП). Воздействие на производительность труда объясняет как влияние на здоровье человека, так и непосредственное снижение производительности в жарких и влажных условиях. Наиболее пострадавшим регионом в 2100 г., согласно расчетам, станет Ближний Восток и Северная Африка, за которым следует Восточная Азия, причем первые страдают в основном от прямых ударов по производительности труда, а вторые — от повышения уровня моря.

Генерируемые человеком парниковые газы (их объемы и компонентный состав) зависят от уровня и интенсивности выбросов в результате экономической деятельности. Поэтому большинство исследований по изменению климата основаны на моделях и сценариях экономического роста [9]. Экономический рост, в свою очередь, зависит от последствий изменения климата. Эти зависимости влияют на экономику множественными и сложными способами, включая изменения в производительности, обеспеченности ресурсами, структурах производства и потребления. В исследовании [9] строится новая динамическая многорегиональная модель мировой экономики, основанная на вычислимых моделях общего равновесия (CGE) для ответа на вопросы о том, будут ли последствия изменения климата существенно влиять на рост и распределение богатства в мире; а также следует ли пересматривать прогнозы выбросов парниковых газов, вызванных деятельностью человека, с учетом последствий изменения климата. Результаты проведенных расчетов позволяют заключить, что, хотя траектории экономического роста и выбросов на глобальном уровне существенно не меняются, на региональном и отраслевом уровнях наблюдаются различия. В частности, развивающиеся страны, вероятно, больше всего страдают от последствий изменения климата².

¹ Ввиду не детализированных должным образом результатов, неопределенности относительно эмпирических данных и неучета последствий экстремальных событий и катастроф.

² Оценивание показало, что макроэкономические эффекты изменения климата существенны, но, самое главное, при этом на региональном и промышленном уровне наблюдаются

С одной стороны, взаимодействие между эндогенной и экзогенной динамикой порождает нелинейные отклонения траекторий роста от базовой. Кроме того, эндогенная динамика может усиливать внешние шоки или противодействовать им, возможно, обращая вспять знак воздействия климата (например, на региональный ВВП) в долгосрочной перспективе. С другой стороны, глобальные выбросы парниковых газов лишь немного уменьшаются при учете ответной реакции на изменение климата. Таким образом, постоянство антропогенных выбросов представляется разумным приближением для большинства физических климатических моделей, поскольку изменение климата является глобальным внешним фактором, и только глобальные выбросы и концентрации парниковых газов имеют значение при прогнозировании климата в будущем [9].

Несмотря на то, что структура CGE-моделей допускает взаимодействие климатических эффектов, такие модели имеют ряд недостатков. Так, эта методология не позволяет оценить нерыночные и катастрофические эффекты в дополнение к переходным издержкам изменения климата. Диапазон оценок климатического ущерба, полученных при помощи вычислимых моделей общего равновесия, составляет от 0,2 до 4,6% ВВП при повышении температуры на 1,5–4,8 °С.

Сравнительно недавно климатологи ввели в анализ технику панельных регрессий и научно обоснованные оценки. Во избежание смещенных оценок, обусловленных пропущенными переменными [3; 7], использовали годовую вариацию данных о погоде для составления панельных данных об изменении ВВП и погоды во времени. Эти авторы проанализировали влияние изменения погоды на динамику ВВП, включив в модель страновые и временные фиксированные эффекты для контроля за изменяющимися во времени и пространстве ненаблюдаемыми переменными и предполагая, что воздействие погоды и климата одинаково [3; 7; 8]. В статье [3] показано, что совокупная экономическая производительность нелинейна по температуре для всех стран, при этом производительность достигает максимума при среднегодовой температуре 13 °С и сильно снижается при более высоких температурах.

Это соотношение можно обобщить на все мировые страны, является неизменным с 1960 г. и применимо к сельскохозяйственной и несельскохозяйственной деятельности как в богатых, так и в бедных странах. Эти результаты являются первым свидетельством того, что экономическая деятельность во всех регионах связана с глобальным климатом и позволяют разработать новую эмпирическую основу для моделирования экономических потерь в ответ на изменение климата, что имеет важные последствия. При условии, если будущая стратегия адаптации к изменению климата будет лишь имитировать стратегию, которая реализовывалась раньше, исследование [3] прогнозирует, что необратимое потепление изменит мировую экономику, сократив средние глобальные доходы примерно на 23% к 2100 г. и увеличив глобальное неравенство в доходах по сравнению со сценариями без изменения климата.

По результатам анализа исторических колебаний температуры внутри стран и их влияния на совокупные экономические результаты [7], формулируют три основных вывода. Во-первых, более высокие температуры существенно снижают экономический рост в бедных странах. Во-вторых, более высокие температуры могут снизить темпы роста, а не только уровень производства. В-третьих, более высокие температуры оказывают широкомасштабное воздействие, снижая объем сельскохозяйственного производства, промышленного производства и политическую стабильность. Эти результаты дают основание для обсуждения роли климата в экономическом развитии и предполагают возможность существенного негативного воздействия более высокой температуры на бедные страны. При этом механизмы

значительные перераспределительные эффекты (в частности, изменение климата работает против равенства и сближения доходов в мире).

воздействия климата на экономический рост неясны, хотя наиболее вероятными последствиями являются снижение затрат (капитала, рабочей силы и земли) и совокупной факторной производительности. Панельные оценки не учитывают нерыночные эффекты, переломные точки и влияние климатического изменения на общее равновесие и имеют диапазон от $-0,3$ до -23% ВВП при повышении температуры на $3,4-4,3$ °C [3; 7; 8].

Ввиду широко распространенного предположения о том, что доходы в богатых странах изолированы от влияния окружающей среды, поскольку в таких странах у людей имеются ресурсы, необходимые для адаптации к изменению климата, авторы [8] решили проверить эту гипотезу, основываясь на данных по экономике США, самой богатой стране в истории человечества. Используя информацию об изменении погоды на уровне округов, они оценивают влияние дневной температуры на годовой доход в округах США за 40-летний период с 1969 по 2011 гг. Исследователи показывают, что этот единственный параметр окружающей среды продолжает играть большую роль в динамике общих экономических показателей: производительность в отдельные дни снижается примерно на $1,7\%$ на каждые 1 °C роста среднесуточной температуры выше 15 °C. По расчетам, стоимость одного дня в неделю, когда температура поднимается выше 30 °C, составляет в среднем 20 долл. на одного человека. Влияние высокой температуры на экономику в выходные дни невелико.

Полученные оценки не учитывают многие формы адаптации, такие как перераспределение факторов, инвестиционные вложения в защиту от изменения климата, трансферты и динамику цен. Авторы [8] также делают вывод об ограниченных инновациях в области адаптации к изменению климата, разработанных или внедренных в недавнее время, поскольку влияние температуры на экономику не изменилось с 1969 г. Нелинейность влияния изменения климата на различные компоненты дохода предполагает, что температура снижает производительность основных элементов экономики, таких как рабочие и сельское хозяйство. В исследовании показано, что если бы штаты могли выбирать дневные температуры с целью максимизации выпуска продукции, вместо того, чтобы принимать имеющиеся у них географически обусловленные запасы, годовой доход экономики вырастет на $1,7$ пп. Таким образом, по расчетам авторов [8], в отсутствие адаптационных механизмов более высокие дневные температуры будут снижать ежегодный экономический рост США на $0,06-0,16$ пп.

В работе [16] отмечается, что понимание влияния температуры поверхности Земли на экономические показатели является важным вопросом как для экономического развития, так и для политики в области изменения климата. Исследование [16] показывает, что в 28 странах Карибского бассейна реакция производства на повышение температуры структурно близка к реакции производительности труда на высокие температуры — механизм, игнорируемый в экономических моделях будущего изменения климата. Это сходство демонстрируется в работе путем выделения непосредственного влияния температуры при тропических циклонах. Автор использует лонгитюдные данные по 28 странам Центральной Америки и Карибского бассейна за период с 1970 по 2006 г., применяя к ним множественный регрессионный анализ, который одновременно контролирует осадки, средние различия в уровне производства в стране для каждой отрасли, временные тенденции в производстве в разрезе страны — отрасли, а также годовые шоки регионального промышленного производства.

По мнению автора, примечательным является тот факт, что оцененные в работе [16] потери несельскохозяйственного производства при повышении температуры на 1 °C ($-2,4\%$) значительно превышают потери, возникающие в сельскохозяйственном производстве ($-0,1\%$) при аналогичном повышении температуры. Таким об-

разом, эти результаты позволяют предположить, что современные модели будущего изменения климата, в которых основное внимание уделяется воздействию климата на сельское хозяйство, но не учитывают реакцию рабочих на тепловой стресс, могут недооценивать глобальные экономические издержки, связанные с изменением климата.

С целью учета более широкого спектра будущих возможностей анализа [24] включил научные работы в свое историческое исследование, посвященное изменению климата. При получении научных оценок глобального ущерба от изменения климата в работах используются физические пороги, представляющие собой пределы человеческой физической приспособляемости к тепловому стрессу [45], а также ограничение на глобальное потепление размером в 2 °С, рекомендованное большим числом ученых и международных организаций [27]. Так, [45] оценивает реакцию мирового ВВП на увеличение температуры на 6 и 12 °С [1] в размере 50% и 99%, соответственно; оценивание производится на основе данных о доле среды обитания человека, которая станет непригодной для проживания. Если оценка в 10–12 °С представляет предельное значение мировой температуры, приведенное в работе [37], то оценка в 6 °С интернализирует региональные ограничения, такие как Ближний Восток, который становится к концу века непригодным для проживания в соответствии со сценарием «Business As Usual».

Работы, посвященные мета-анализу оценок климатического ущерба (такие как [25; 42; 43] и др.), показывают, что глобальные потери от изменения климата растут все более быстрыми темпами, отличаясь при этом точной скоростью. В частности, модели прогнозируют широкий диапазон оценок потенциального ущерба от 1,9 до 17,3% ВВП при увеличении глобальной средней температуры земной поверхности на 3 °С. Так, в работе [42] проводится мета-анализ оценок ущерба, полученных за период с 1994 по 2006 г. и проводится обзор использованных авторами методологий. Позднее тот же автор в [43] внес поправки в свой анализ, которые упоминаются в [10]. При этом важно подчеркнуть, что хотя прогнозирование величины климатического ущерба в целом характеризуется высокой степенью неопределенности, при достижении температуры выше 3–4 °С оценки климатического ущерба приобретают еще более спекулятивный характер.

3. Социальные издержки выбросов углеводородов, полученные на основе оценок ущерба от изменения климата

Полученные оценки ущерба от климатического изменения используются также при оценивании величины социальных издержек углеводородных выбросов (social cost of carbon, SCC). SCC представляют собой один из основных инструментов калибровки оптимальных с социальной точки зрения политических мер в ответ на изменение климата и оцениваются в рамках моделей IAM.

Для получения точной оценки SCC решающее значение имеет аккуратная калибровка функции климатического ущерба для климата, которая в литературе определяется как преобразование изменения температуры в процентное изменение ВВП. При этом в недавних работах исследуются другие потенциальные формы функций ущерба от климата. Например, автор [27] калибрует функцию ущерба DICE-2013R's в предположении о том, что предел 2 °С является оптимальным при следующих альтернативных ограничениях: строгий предел 2 °С и увеличение температуры в среднем на 2 °С в течение периода 2050–2250 гг. По оценкам автора, SCC составляют 18,6 долл. за тонну CO₂ в ценах 2005 г. и международных ценах 2015 г. В центральном случае реальные SCC растут на 3% в год в течение периода до 2050 г. В более позднем исследовании того же автора [28] представлены обновленные оценки, основанные на пересмотренной модели DICE. По оценкам

автора, SCC составляет 31 долл. за тонну CO₂ в ценах 2010 г. за текущий (на момент проведения исследования) период (2015 г.). Для центрального случая реальные SCC растут на 3% в год в течение периода до 2050 г. Таким образом, описанная методология потенциально принимает во внимание рыночные и нерыночные эффекты, а также эффекты от переломных точек [27]. Диапазон оценок ущерба при применении этой методологии составляет от -4,9 до -99% ВВП при повышении температуры на 3–12 °С.

В [15] оценивают взаимосвязь между температурой и ущербом, наносимым изменением климата, используя взвешенный метод наименьших квадратов с кластерно-устойчивыми стандартными ошибками. Вслед за [25], авторы [15] формулируют функцию ущерба, соответствующую ущербу, обусловленному не катастрофическими причинами, исключив из анализа производительность; таким образом, параметр квадратичной функции величины ущерба становится эквивалентным коэффициенту, соответствующему квадрату температуры. Это позволяет исключить соответствующие оценки коэффициентов из базовой спецификации ввиду их смешанной значимости и изменчивости в разных спецификациях.

В работе также проводится анализ чувствительности результатов к включению влияния климатического изменения на производительность. Заменяя функцию ущерба в модели DICE-2013R на собственные оценки не катастрофического ущерба, авторы получают среднюю оценку SCC для 2015 г. в размере 68 долл. США (в ценах 2015 г.) с 95%-м доверительным интервалом от 16 до 132 долл. для базовой спецификации и в среднем 83 долл. с доверительным интервалом от 2 до 206 долл. — для спецификации с учетом производительности. Применительно к реальному контексту, верхний предел этого диапазона SCC подразумевает, что предел уровня температуры в 2 °С, установленный ООН, потенциально слишком высок с точки зрения социального благосостояния. Несмотря на широкие доверительные интервалы, которые подчеркивают чрезвычайный риск изменения климата, следует отметить, что эти диапазоны недооценивают неопределенность, игнорируя неопределенность, возникающую ввиду недостаточности данных.

По мнению авторов, одним из возможных решений этой проблемы является включение в расчеты катастрофического ущерба. Заменяя функцию ущерба DICE-2013R на их собственную оценку общего ущерба от климатического изменения (не катастрофического и катастрофического), авторы получают среднюю оценку SCC для 2015 г., равную 97 долл. (в ценах 2015 г.) для спецификации, не включающей производительность, и 113 долл. — с учетом производительности в спецификации.

Заключение

Макроэкономический эффект температурных шоков в разных странах неодинаков. Подтверждая глобальную нелинейную связь между годовой температурой и ростом, выявленную [3] для расширенного набора данных, эмпирический анализ показывает, что повышение температуры снижает производство на душу населения в странах с относительно высокой среднегодовой температурой, к которым относится большинство стран с низким уровнем дохода. В этих странах отрицательный эффект носит долгосрочный характер и действует по нескольким каналам: снижение сельскохозяйственного производства, снижение производительности труда в секторах, более подверженных воздействию погоды, сокращение накопления капитала и ухудшение здоровья людей. Более того, данные указывают на то, что в последние годы макроэкономические показатели не стали менее чувствительными к температурным шокам, что указывает на значительные адаптационные ограничения.

В некоторой степени разумная политика и институциональные рамки, инвестиции в инфраструктуру и другие стратегии адаптации могут снизить ущерб от темпера-

турных шоков в жарких странах. Несмотря на трудность интерпретации причинно-следственной связи, эмпирические данные свидетельствуют о том, что страны с более регулируемыми рынками капитала, более высокой доступностью инфраструктуры, гибкими обменными курсами и более демократичными институтами несколько быстрее оправляются от негативных последствий температурных шоков. Более высокие температуры также значительно сдерживают рост в жарких регионах, где находятся развивающиеся рынки и страны, чем в жарких регионах с развитой экономикой, что подтверждает важность развития с точки зрения снижения уязвимости.

Повышение температуры, прогнозируемое к 2100 г. по сценарию неконтролируемого изменения климата, влечет за собой значительные экономические потери для большинства стран с низким уровнем дохода. Согласно консервативному предположению о том, что погодные шоки оказывают постоянное влияние на уровень, а не на рост объема производства на душу населения, моделирование предполагает, что ВВП на душу населения в репрезентативной стране с низким уровнем дохода в 2100 г. будет на 9% ниже, чем был в отсутствие повышения температуры; при этом текущая стоимость потерь в производстве составляла более 100% текущего ВВП при дисконтировании с поправкой на рост в размере 1,4%.

Все приведенные выше результаты рисуют тревожную картину. Повышение температуры будет иметь довольно неравномерные последствия по всему миру, при этом основные негативные последствия будут нести те, кто меньше всего может себе это позволить. По всей вероятности, большинство стран будут все больше ощущать прямое воздействие необратимого изменения климата через потепление выше оптимальной температуры, более частые (и более разрушительные) стихийные бедствия, повышение уровня моря, потерю биоразнообразия и многие другие трудно поддающиеся количественной оценке последствия. Кроме того, изменение климата может привести к экономическим победителям и проигравшим как на индивидуальном, так и на отраслевом уровнях, даже в странах, где влияние может быть в среднем умеренным или положительным. Однако страны с низким уровнем дохода будут непропорционально страдать от дальнейшего повышения температуры — глобальной угрозы, возникновению которой они способствовали очень мало. В свою очередь, в этих странах изменением климата, скорее всего, в наибольшей степени будут затронуты бедные слои населения [12].

При этом, важно подчеркнуть сложность количественной оценки потенциальных макроэкономических последствий изменения климата. Экстраполяция исторически наблюдаемых погодных реакций ВВП на долгосрочное воздействие глобального потепления является сложной задачей по нескольким причинам. С одной стороны, такая экстраполяция может преувеличивать воздействие изменения климата на страны, поскольку правительства и другие экономические агенты предпринимают мелиоративные действия, осуществляют инвестиции или разрабатывают новые технологии, которые помогают населению адаптироваться к постоянным изменениям климата.

С другой стороны, фактическое воздействие климата может быть более значительным, если в ответных действиях наблюдаются нелинейности, поскольку климат переходит к условиям, не имеющим исторического прецедента. Кроме того, весьма трудоемкими представляются: количественная оценка последствий стихийных бедствий, анализ распределения последствий изменения климата между секторами и домохозяйствами внутри стран, исследование последствий многих аспектов изменения климата, таких как быстрое повышение уровня моря, закисление океана и т. д., которые могут иметь очень большие макроэкономические последствия.

Тем не менее пока Земля продолжает нагреваться в течение оставшейся части XXI века по той же схеме, что и за последние 50 лет, представляющей собой сто-

хастическую серию годовых шоков по восходящей тенденции, проведенный нами обзор может служить ценным руководством по уязвимым местам и потребностям в адаптации к климатическим изменениям в соответствии с текущими технологиями производства и географическим распределением населения [7; 19].

Литература/References

1. Ackerman F., Stanton E. A., Bueno R. CRED v. 1.4. Technical Report // Stockholm Environment Institute, Somerville, 2012.
2. Bosello F., Eboli F., Pierfederici R. Assessing the economic impacts of climate change [Electronic resource] // Review of Environment, Energy and Economics (Re3). 2012 [Elrctronic resours]. URL: <http://re3.feem.it/getpage.aspx?id=4569> (accessed: 23.06.2010).
3. Burke M., Hsiang S. M., Miguel E. Global Non-Linear Effect of Temperature on Economic Production // Nature. 2015. N 527. P. 235–239.
4. Choiniere C. J., Horowitz J. K. A production function approach to the GDP-temperature relationship. Preliminary version [Electronic resource]. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?DOI=10.22394/1726-1139-2020-10-10.1.1.629.6492&rep=rep1&type=pdf>. 2006 (accessed: 23.06.2010).
5. Dell M., Jones B. F., Olken B. A. Climate Change and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century // National Bureau of Economics Research Working Paper. 2008. N 14132.
6. Dell M., Jones B. F., Olken B. A. Temperature and Income: Reconciling New Cross-Sectional and Panel Estimates // American Economic Review. 2009. Vol. 99. N 2. P. 198–204.
7. Dell M., Jones B. F., Olken B. A. Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century // American Economic Journal: Macroeconomics. 2012. Vol. 4. N 3. P. 66–95.
8. Dell M., Jones B. F., Olken B. A. What do we learn from the weather? The new climate-economy literature // Journal of Economic Literature. 2014. Vol. 52. N 3. P. 740–798.
9. Eboli F., Parrado R., Roson R. Climate-change feedback on economic growth: explorations with a dynamic general equilibrium model // Environment and Development Economics. 2010. Vol. 15. N 05. P. 515–533.
10. Editors of Journal of Economic Perspectives Editorial note: correction to Richard S. Tol's "The economic effects of climate change" // Journal of Economic Perspectives. 2015. Vol. 29. N 1. P. 217–220.
11. Fankhauser S. Valuing climate change: the economics of the greenhouse. London: Earthscan, 1995.
12. Hallegatte S., Bangalore M., Bonzanigo L., Fay M., Kane T., Narloch U., Rozenberg J., Treguer D., Vogt-Schilb A. Shock Waves: Managing the Impacts of Climate Change on Poverty // Climate Change and Development Series. Washington, DC: World Bank, 2016.
13. Hoel M., Sterner T. Discounting and relative prices // Climate Change. 2007. Vol. 84. N 3. P. 265–280.
14. Howard P.H. Omitted damages: what's missing from the social cost of carbon. The Cost of Carbon Pollution Project [Electronic resource]. URL: http://costofcarbon.org/files/Omitted_Damages_Whats_Missing_From_the_Social_Cost_of_Carbon.pdf. 2014 (accessed: 23.06.2010).
15. Howard P.H., Sterner T. Few and Not So Far Between: A Meta-analysis of Climate Damage Estimates // Environmental and Resource Economics. 2017. N 68. P. 197–225.
16. Hsiang S. Temperatures and cyclones strongly associated with economic production in the Caribbean and Central America // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2010. Vol. 107 N 35. P. 15367–15372.
17. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2013: the physical science basis // Contributions of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
18. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and Sectoral Aspects // Contributions of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
19. International Monetary Fund. Research Dept. Chapter 3. The Effects of Weather Shocks on Economic Activity: How can Low-Income Countries Cope? In World Economic Outlook, October 2017: Seeking Sustainable Growth: Short-Term Recovery, Long-Term Challenges. USA: International Monetary Fund, 2017.
20. Maddison D. The amenity value of the climate: the household production function approach // Resource and Energy Economics. 2003. Vol. 25. N 2. P. 155–175.
21. Maddison D., Rehdanz K. The impact of climate on life satisfaction // Ecological Economics. 2011. Vol. 70. N 12. P. 2437–2445.

22. Mendelsohn R., Schlesinger M., Williams L. Comparing impacts across climate models // Integrated Assessment. 2000. Vol. 1. N 1. P. 37–48.
23. Nordhaus W.D. Managing the global commons: the economics of climate change. Cambridge : MIT Press, 1994.
24. Nordhaus W.D. Expert opinion on climate change // American Scientist. 1994. Vol. 82. N 1. P. 45–51.
25. Nordhaus W.D. Geography and Macroeconomics: New Data and New Findings // Proceedings of the National Academy of Science. 2006. Vol. 103. N 10. P. 3510–3517.
26. Nordhaus W.D. The climate casino: risk, uncertainty, and economics for a warming world. New Haven : Yale University Press, 2013.
27. Nordhaus W.D. Estimates of the social cost of carbon: concepts and results from the DICE-2013R model and alternative approaches // Journal of the Association of Environmental and Resource Economists. 2014. Vol. 1. N 1/2. P. 273–312.
28. Nordhaus W.D. Revisiting the social cost of carbon // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2017. Vol. 114 N 7. P. 1518–1523.
29. Nordhaus W.D., Boyer J.G. Warming the World: Economic Models of Global Warming. Cambridge, MA : MIT Press, 2000.
30. Oppenheimer M., Little C.M., Cooke R.M. Expert judgement and uncertainty quantification for climate change // Nature Climate Change. 2016. Vol. 6. N 5. P. 445–451.
31. Pindyck R.S. Climate change policy: what do the models tell us? // Journal of Economic Literature. 2013. Vol. 51. N 3. P. 860–872.
32. Plambeck E.L., Hope C. PAGE95: an updated valuation of the impacts of global warming // Energy Policy. 1996. Vol. 24. N 9. P. 783–793.
33. Rehdanz K., Maddison D. Climate and happiness // Ecological Economics. 2005. Vol. 52. N 1. P. 111–125.
34. Roson R., Mensbrugge D.V.D. Climate change and economic growth: impacts and interactions // International Journal of Sustainable Economy. 2012. Vol. 4. N 3. P. 270–285.
35. Roston E., Migliozi B. What's Really Warming the World? // Bloomberg Business Week. 2015. June 24.
36. Schauer M.J. Estimation of the greenhouse gas externality with uncertainty // Environmental and Resource Economics. 1995. Vol. 5. N 1. P. 71–82.
37. Sherwood S.C., Huber M. An adaptability limit to climate change due to heat stress // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2010. Vol. 107. N 21. P. 9552–9555.
38. Sinn H.-W. Public policies against global warming: a supply side approach // International Tax and Public Finance. 2008. Vol. 15. N 4. P. 360–394.
39. Tol R.S.J. The damage costs of climate change toward more comprehensive calculations // Environmental and Resource Economics. 1995. Vol. 5. N 4. P. 353–374.
40. Tol R.S.J. Estimates of the Damage Costs of Climate Change-Part 1: Benchmark Estimates // Environmental and Resource Economics. 2002. Vol. 21. N 1. P. 47–73.
41. Tol R.S.J. Estimates of the Damage Costs of Climate Change-Part II: Dynamic Estimates // Environmental and Resource Economics. 2002. Vol. 21. N 2. P. 135–160.
42. Tol R.S.J. The economic effects of climate change // Journal of Economic Perspectives. 2009. Vol. 23. N 2. P. 29–51.
43. Tol R.S.J. Correction and update: the economic effects of climate change // Journal of Economic Perspectives. 2014. Vol. 28. N 2. P. 221–226.
44. Van den Bergh J.C.J.M., Botzen W.J.W. Monetary valuation of the social cost of CO₂ emissions: a critical survey // Ecological Economics. 2015. N 114. P. 33–46.
45. Weitzman M.L. GHG targets as insurance against catastrophic climate damages // Journal of Public Economic Theory. 2012. Vol. 14. N 2. P. 221–244.

Об авторе:

Казакова Мария Владимировна, заместитель директора Центра региональной политики по науке ИПЭИ РАНХиГС, ведущий научный сотрудник научного направления «Макроэкономика и финансы» Института Гайдара (Институт экономической политики им. Е. Т. Гайдара), кандидат экономических наук; kazakova@ranepa.ru, kazakova@iep.ru

About the author:

Maria V. Kazakova, PhD, Deputy Director of the Center for Regional Policy at Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Moscow, Russian Federation), Leading Researcher, Scientific Direction “Macroeconomics and Finance” of the Gaidar Institute for Economic Policy (Moscow, Russian Federation); kazakova@ranepa.ru, kazakova@iep.ru