DOI: 10.21513/2410-8758-2020-2-06-34 УДК 551.58

КОНЦЕПЦИЯ РИСКА И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЕГО ИЗМЕНЕНИЙ В ДОКЛАДАХ МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННОЙ ГРУППЫ ЭКСПЕРТОВ ПО ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

Г.Э. Инсаров[1)], К.Л. Мендес[2)], С.М. Семенов[1,3,4)], П.З. Янда[5)]*

[1)] Институт географии РАН,
119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29;
*адрес для переписки: *insarovg@gmail.com*

[2)] Венесуэльский институт научных исследований,
21827, Каракас 1020-А, Венесуэла; *carlos.menvall@gmail.com*

[3)] Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля,
107258, Москва, ул. Глебовская, д. 20Б; *SergeySemenov1@yandex.ru*

[4)] Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20

[5)] Университет Дар-эс-Салама,
33453, Дар-эс-Салам, Танзания; *pyanda@gmail.com*

Реферат. Принятие решений в области ограничения антропогенного воздействия на климатическую систему, в том числе собственно на климат, нуждается в оценках последствий этих воздействий. Однако для надежного обоснования таких решений, в частности, для анализа рисков, необходимы также характеристики достоверности этих оценок. Такой подход развивался в научных докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), во вкладах ее Рабочей группы II «Воздействия, адаптация и уязвимость». В статье представлены эволюция понятия «риск» в научных докладах МГЭИК и его современное понимание в последних специальных докладах 2018-2019 гг. Это понимание основано на том, что риск возникает при взаимодействии трех обстоятельств – наличия климатогенной угрозы, подверженности объекта воздействию такой угрозы и уязвимости объекта. Проанализированы подходы, применяемые в докладах МГЭИК, к агрегированию и визуализации данных об изменениях в уровнях риска для природных и социально-экономических систем, связанных с изменением климата, – построение «диаграмм тлеющих углей», ТУ-диаграмм. Указано на некоторые недостатки представленных в публикациях ТУ-диаграмм и на недостаточную степень формализации самой процедуры построения ТУ-диаграмм в докладах МГЭИК. Отсутствует опубликованная МГЭИК четкая транспарентная процедура анализа и обобщения результатов (1) натурных наблюдений, данных экспериментов, моделирования и (2) экспертных оценок МГЭИК, указывающая на последовательность шагов, необходимых для оценки рисков и построения соответствующих ТУ-диаграмм, исходя из (1) и (2). В статье при-

веден пример такой процедуры – алгоритма построения визуального образа для обобщенной оценки неблагоприятных последствий потепления климата для сельскохозяйственного растения – яровой пшеницы. Подход к построению ТУ-диаграмм, продемонстрированный в этом примере, может быть обобщен и использован для построения ТУ-диаграмм для иных объектов воздействия изменения климата – элементов природных или же социально-экономических систем. Для обеспечения транспарентности представления результатов оценки последствий изменения климата с помощью ТУ-диаграмм и возможности повторения такого представления различными группами пользователей необходимо повысить уровень формализации этой процедуры, для чего целесообразно создание специального Руководства МГЭИК по этому вопросу.

Ключевые слова. Изменение климата, последствия, риск, визуализация, методология, Межправительственная группа экспертов по изменению климата, специальные доклады, оценочные доклады.

Введение

Понятие «риск» является центральным при оценках последствий изменения климата для природных и социально-экономических систем, для здоровья людей (IPCC, 1990; IPCC, 2014). Риск в докладах МГЭИК определяется для конкретного воздействия, связанного с изменением климата, – климатогенного воздействия. Это проявление какой-либо гидрометеорологической угрозы (например, паводкового наводнения) или вообще какого-либо иного гидрометеорологического фактора (например, аномалии температуры воздуха в приповерхностном слое). Риск определяется для конкретного объекта или же группы объектов, испытывающих это воздействие.

Риск имеет свое количественное выражение. Рассмотрим совокупность событий A_0, A_1, A_2, …, A_N, которые являются проявлениями возрастающей интенсивности некоторой гидрометеорологической угрозы или иного фактора. Например, паводковые наводнения, упорядоченные по возрастанию максимального уровня воды. Или волны жары, упорядоченные по значениям аномалии температуры. Будем считать, что A_0 означает отсутствие воздействия (нулевая интенсивность). Обозначим вероятности возникновения этих событий в определенный отрезок времени (скажем, летний сезон) через P_0, P_1, P_2, …, P_N. Будем считать, что в этот отрезок времени может наступить лишь одно из этих событий и какое-либо обязательно происходит, т.е. сумма этих вероятностей равна 1. Если обозначить через D_0, D_1, D_2, …, D_N значения ущерба ($D_0 = 0$, ущерб отсутствует) в каких-либо единицах, возникающего при реализации соответствующих событий A_0, A_1, A_2, …, A_N, то значение риска R вычисляется следующим образом:

$$R = P_0 D_0 + P_1 D_1 + P_2 D_2 + \ldots + P_N D_N . \qquad (1)$$

Такое количественное выражение риска соответствует, например, работам (Laplace, 1902; Morgan, Henrion, 1990; Rosa, 1998). Функция полезности фон

Неймана-Моргенштерна также описывается выражением (1); D_i имеют смысл результатов игры, исход которой носит вероятностный характер, и сумма всех вероятностей равна единице (фон Нейман, Моргенштерн, 1970).

Следует отметить, что наибольший вклад в формирование риска R могут вносить не первые члены суммы (1), соответствующие событиям низкой интенсивности, и не последние, соответствующие событиям высокой интенсивности, а промежуточные, соответствующие средней интенсивности. Рис. 1 иллюстрирует это. На нем приведены в условных единицах характеристики возможных проявлений угрозы – подъема уровня воды в реке при дождевом паводке на 1, 2, …, 7 м, вероятности этих событий и соответствующие значения ущерба и составляющих риска.

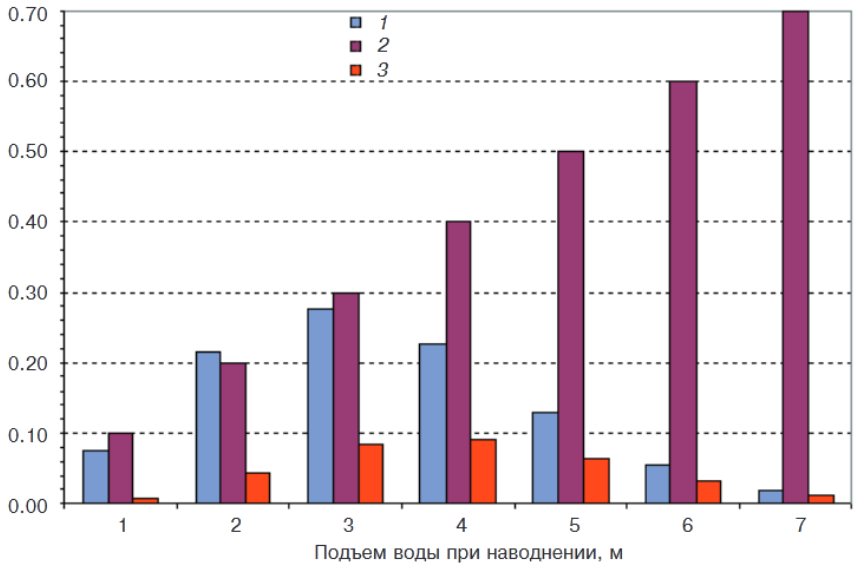

Рисунок 1. Иллюстрация понятий вероятности опасного явления, ущерба и риска (рис. 1.3. из (Семенов и др., 2008), с изменениями)
1– вероятность подъема воды в реке при дождевом паводке на 1-7 м, 2 – ущерб в условных единицах, 3 – соответствующие значения составляющих риска – слагаемых в формуле (1)

Figure 1. Illustration of the concepts of probability of a hazardous event, of damage and risk (Fig. 1.3 from (Semenov et al., 2008), as amended)
1 – the probability of rising water in the river during a rain flood by 1-7 m; 2 – damage in conventional units; 3 – corresponding values of the risk components, i.e. the terms in formula (1)

Важной задачей всех международных усилий по ограничению антропогенного воздействия на климатическую систему Земли является сокращение рисков, связанных с антропогенным изменением глобального климата (РКИК ООН, 1992; Киотский протокол, 1997; Парижское соглашение, 2015). Этого можно достигнуть либо уменьшая антропогенное воздействие на климатическую систему (митигация), что ведет к уменьшению интенсивности климатогенных событий, либо приспосабливаясь к нарастающим изменениям климата, что уменьшает их последствия (адаптация). Можно использовать и смешанные стратегии.

МГЭИК предоставляет международному переговорному процессу по климату разнообразную научную информацию, необходимую для выработки решений в области мировой климатической политики. В том числе информацию о рисках, возникающих при изменении глобального климата. Эти сведения собираются МГЭИК при анализе мировой научной литературы. Они весьма обширны и разнородны. Кроме того, учитывая сложность и высокую неопределенность некоторых вовлеченных в анализ антропогенных и природных процессов, которые трудно или иногда даже невозможно количественно оценить, значительная часть оценки выполняется экспертами МГЭИК с помощью экспертных заключений (ЭЗ) на основе научных публикаций. Одним из наиболее характерных для МГЭИК инструментов визуализации при представлении агрегированных данных о климатических рисках являются «диаграммы тлеющих углей», ТУ-диаграммы («burning ember diagram», BE-diagram). Очень часто ТУ-диаграммы строятся с использованием результатов ЭЗ. Хотя некоторые попытки формализовать методологию ЭЗ с использованием различных подходов были предприняты (см., например, (Morgan, Henrion, 1990; Aspinall, Cooke, 2013), объективный результат ЭЗ не может быть гарантирован, то есть возможно смещение результатов оценки (bias). Поэтому разработка процедуры МГЭИК для ЭЗ чрезвычайно важна для обеспечения прозрачности, воспроизводимости и согласованности результатов оценки.

Чтобы внести вклад в прозрачность и воспроизводимость процесса построения оценок МГЭИК, в этой статье мы намерены:

– изложить эволюцию понятия «риск» в докладах МГЭИК и современное понимание этого термина;

– представить ТУ-диаграммы как средство обобщения и визуализации информации о климатогенных рисках;

– указать на необходимость существенной доработки методологии их построения;

– привести пример формализации процедуры построения ТУ-диаграмм.

Эволюция понятия «риск» в докладах МГЭИК и современное представление

Термин «риск» использовался на интуитивном уровне во всех оценочных докладах (ОД) МГЭИК, начиная с Первого ОД, изданного 30 лет назад (IPCC, 1990). В одной из глав Четвертого ОД приводится представление о риске, в соответствии с которым риск – это комбинация величины воздействия на какой-то объект и вероятности появления этого воздействия. При этом следует учитывать неопределенность процесса изменения климата, подверженность объекта рассматриваемому воздействию (см. ниже), его чувствительность и адаптацию (Schneider et al., 2007, p. 781).

Во втором, третьем и четвертом циклах оценки концепция риска фактически применялась в докладах МГЭИК, но в основном неявно. Подготовленный МГЭИК «Специальный доклад по управлению рисками

экстремальных явлений и бедствий для содействия адаптации к изменению климата» внес значительный вклад в разработку концепции и ее явное применение к оценке рисков, хотя его тематика и была ограничена менеджментом рисков, связанных с климатообусловленными бедствиями, см. главу 1 в (IPCC, 2012).

В цикле Пятого оценочного доклада МГЭИК разработка концепции «риска» велась интенсивно, и ее применение стало явным. Общая концепция риска была сформулирована и включена в глоссарий, прилагаемый к отчету (IPCC, 2014). Введенное ранее понятие риска было уточнено на основе работ (Rosa, 1998; 2003). Риск определен как возможный результат игры с неопределенным исходом, в которой разыгрывается нечто имеющее ценность (понятие ценности трактуется широко). Часто риск – это произведение вероятности возникновения угрозы на воздействие, которое вызвано этой угрозой в случае ее реализации. Риск возникает в результате взаимодействия угрозы, уязвимости объекта воздействия и его подверженности рассматриваемой угрозе.

Отметим, что понятия о риске, используемые во всех Докладах МГЭИК, основаны на определениях риска, широко обсуждаемых в научной литературе (например, Aven, Renn, 2015); сходные определения также используются и в тематических докладах других международных организаций (например, The Global Risks Report, 2019; IPBES, 2019). Применительно к изменению климата в ОД МГЭИК, понятие риска используется как характеристика будущих эффектов, трактуемых как негативные, для социально-экономических и экологических систем.

Современное представление о климатообусловленном риске было развито в цикле Пятого оценочного доклада МГЭИК и получило свое выражение в трех последних специальных докладах МГЭИК (IPCC, 2018; IPCC, 2019a; IPCC, 2019b). Наибольший вклад в развитие этого представления внесла Рабочая группа II МГЭИК «Воздействия, адаптация и уязвимость» (IPCC, 2014). Современная концепция не противоречит классическому пониманию, изложенному во Введении – «риск» есть ожидаемый ущерб с учетом вероятности климатообусловленного события и воздействия на определенный объект, которое наступает при реализации этого события. Однако при доработке концепции много внимания было уделено процессу формирования риска, тем обстоятельствам, от которых зависит риск.

Так, для пары «климатообусловленное событие – объект воздействия» рассматриваются три обстоятельства:

- интенсивность проявления события – климатогенной угрозы (hazard) или иного климатогенного фактора;
- подверженность (exposure) объекта этой угрозе или фактору;
- уязвимость (vulnerability) объекта к этой угрозе или фактору.

Поясним эти категории.

Первая из них – гидрометеорологическая аномалия или тренд. Например, экстремальные дождевые осадки или, напротив, продолжительный период сухой и жаркой погоды – волна жары. Эти события можно характеризовать

количественно, например, продолжительностью аномалии и ее выраженностью (соответственно высотой подъема воды и значением температуры). В совокупности они определяют интенсивность (intensity) события. Событие характеризуется в простейшем случае вероятностью (probability) и интенсивностью. В случае тренда учитывается скорость изменения. При анализе иногда удобно различать первичные угрозы (например, ливневые осадки, волну жары) и вторичные, ими вызванные (паводковое наводнение, лесной или торфяной пожар), – угрозы жизни, здоровью и средствам существования людей.

«Подверженность» – свойство объекта климатогенного воздействия. Оно характеризует количественно вероятность контакта с угрозой или иным фактором воздействия при условии, что событие наступило. Если таким событием является паводковое наводнение определенной интенсивности, а объектом воздействия – жилищный фонд некоторого населенного пункта, то подверженность можно охарактеризовать процентом жилищ, находящихся в зоне подтопления. Если же таким событием является волна жары, а объектом воздействия – население некоторой территории, то подверженность можно охарактеризовать процентом жителей, вынужденных работать и/или проживать вне кондиционированных помещений в силу своей профессии или материального положения.

И, наконец, «уязвимость», также свойство объекта воздействия, определяет тяжесть последствий наступившего события при условии, что контакт объекта воздействия с событием произошел. Это свойство характеризует способность объекта противостоять воздействию. Для жилища, оказавшегося в зоне подтопления при наводнении, это, в том числе, его прочность, определяющая вероятность выстоять (чем меньше прочность, тем выше уязвимость). Для человека, оказавшегося под воздействием волны жары, это, в том числе, общее состояние его здоровья, возможность получения оперативной медицинской помощи.

Уменьшение вероятности и интенсивности проявления события, подверженности и уязвимости уменьшает риск. Воздействовать на первичные климатогенные события, уменьшая их вероятность и интенсивность, человек может лишь путем митигации, т.е. уменьшая антропогенное воздействие на климатическую систему. Подверженность и уязвимость могут быть уменьшены путем адаптации объектов, на которые оказывает воздействие меняющийся климат. Адаптация осуществляется в ходе реализации системы мер, направленных именно на снижение подверженности и уязвимости.

При изменении климата дополнительные риски могут возникать как из-за увеличения интенсивности климатообусловленных событий, так и вследствие увеличения подверженности или/и уязвимости. Последнее может возникать и вследствие адаптации к иным факторам. Например, прогулки по лесу с одной стороны способствуют укреплению общего состояния здоровья людей, а с другой – увеличивают весной вероятность контакта с иксодовыми клещами – переносчиками опасных болезней человека.

ТУ-диаграммы: инструмент синтеза и визуализации результатов оценок последствий изменения климата

Использование ТУ-диаграмм в докладах МГЭИК: ретроспектива

В докладах МГЭИК ТУ-диаграммы впервые появились в одной из глав Третьего ОД (здесь и далее в этом разделе цитируются вклады Рабочей группы II «Воздействия, адаптация и уязвимость»). Это был черно-белый рисунок, на котором плавно меняющимся оттенкам серого цвета соответствовало нарастание некоторых рисков, связанное с увеличением температуры (рис. 2). Каждый риск был представлен отдельной полоской. Рисунок носил иллюстративный характер, что видно из подписи к нему.

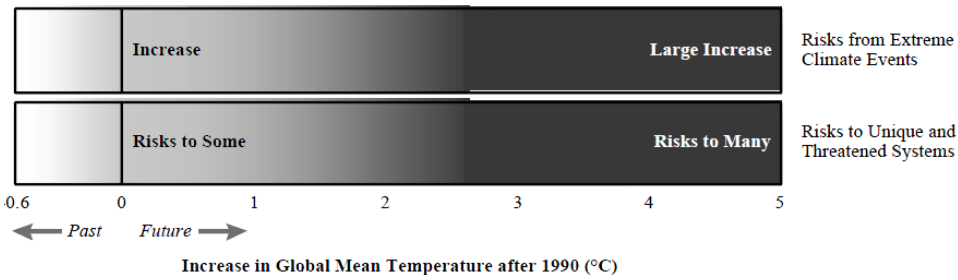

Рисунок 2. Риски от экстремальных климатических явлений (вверху) и риски для уникальных и находящихся под угрозой исчезновения систем (внизу) (фрагмент рис. 19-7 из (Smith et al., 2001))

На верхней панели представлено изменение рисков, вызванных экстремальными климатическими явлениями, на нижней – рисков для уникальных и находящихся в угрожаемом состоянии систем (например, расположенных в тропиках ледников, коралловых рифов, мангровых лесов, территорий с высоким биоразнообразием и экотонов). Оттенки серого цвета соответствуют величине риска; белый цвет обозначает отсутствие риска; светло-серый – небольшой риск; темно-серый – более значительный риск. По горизонтальной оси отложена средняя глобальная температура: в XX веке она увеличилась на 0.6°C, что привело к некоторым рискам, которые могут возрастать при дальнейшем повышении температуры. Рисунок всего лишь обращает внимание на то, как меняется риск после перехода температуры через определенные границы. Значения температуры не следует рассматривать ни как указатель риска, ни как абсолютные границы

Figure 2. Risks from climate change, by reasons for concern: risks from extreme climatic events (upper part) and for unique and threatened systems (lower part) (the fragment of Fig. 19-7 from (Smith et al., 2001))

'Shades correspond to severity of impact or risk. White means no or virtually neutral impact or risk, light gray means somewhat negative impacts or low risks, and dark gray means more negative impacts or higher risks. Global average temperatures in the 20th century increased by 0.6°C and led to some impacts. Impacts are plotted against increases in global mean temperature after1990. This figure addresses only how impacts or risks change as thresholds of increase in global mean temperature are crossed, not how impacts or risks change at different rates of change in climate. Temperatures should be taken as approximate indications of impacts, not as absolute thresholds' (Smith et al., 2001)

Тот же рисунок, но уже в цвете, появился в Техническом резюме Третьего ОД – рис. 3 (левый). Полоски заменили на столбцы, отсутствие риска также соответствовало белому цвету. Светло-серый цвет, соответствующий неболь-

шому риску, был заменен на желтый, а темно-серый – более значительный риск – заменили на красный цвет. Переходы цветов друг в друга также сделали плавными. Сходный цветной рисунок включили и в «Резюме для политиков» Третьего ОД. В подпись к рисунку добавили, что среднегодовая глобальная температура использована для характеристики изменения климата, а будущие риски, являются функцией не только изменения климата, но и социально-экономических условий и адаптации. Тем самым был подчеркнут иллюстративный характер рисунка.

Авторы Четвертого ОД от использования столбчатых ТУ-диаграмм в «Резюме для политиков» воздержались, хотя и включили в Техническое резюме (Parry et al., 2007) рисунок TS.6, на котором перечислены связанные с изменением климата риски для экосистем. Фоном служили плавно переходящий из одного в другой белый, желтый и красный цвета, имеющие тот же смысл, что на столбчатых диаграммах Третьего ОД.

Вскоре после выхода Четвертого ОД группа его авторов опубликовала статью (Smith et al., 2009), в которой приведена ТУ-диаграмма из Третьего ОД и построенная сходным образом новая ТУ-диаграмма, с использованием информации, опубликованной после выхода Третьего ОД, рис. 3. Судя по правой панели, по всем видам рисков оснований для обеспокоенности стало больше – в каждом столбце на ней бóльшая площадь окрашена красным цветом. Сделан вывод, что незначительное повышение средней глобальной температуры воздуха за время, прошедшее после выхода Третьего ОД (то есть менее, чем за декаду), привело к значительным последствиям в контексте всех рассматриваемых причин для обеспокоенности. Сравнение ТУ-диаграмм в Третьем ОД и в статье (Smith et al., 2009) приведено также в работе (Fischlin, 2009).

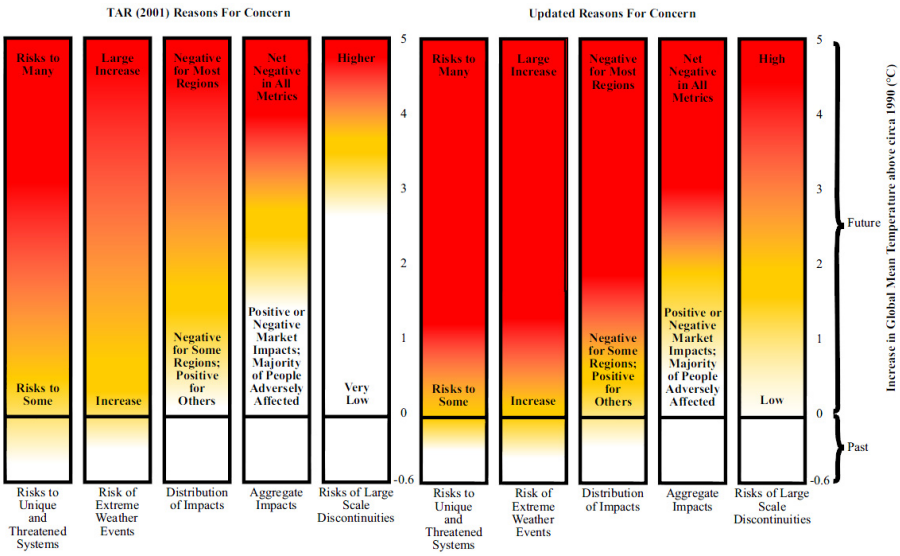

Рисунок 3. Риски, вызванные изменением климата. Слева – ТУ-диаграмма из Третьего ОД, справа – диаграмма, основанная на обновленных данных (рис. 1 из (Smith et al., 2009))

Figure 3. Risks caused by climate change. On the left: the BE-diagram from TAR; on the right: a diagram based on updated information (Fig. 1 from (Smith et al., 2009))

В Пятом ОД ТУ-диаграммы появляются вновь. Диаграмма в главе 19 сходна с правой диаграммой на рис. 3, но есть и различия: введен четвертый цвет, пурпурный (фиолетовый), обозначающий очень высокий риск. Кроме того, указано, что изображенные уровни риска отражают суждения (judgments) авторов этой главы. Этот рисунок включен также в Техническое резюме, в “Резюме для политиков” Пятого ОД (IPCC, 2014) и в Синтезирующий доклад (IPCC, 2014a). В последний доклад включен еще один рисунок, содержащий ТУ-диаграммы, иллюстрирующие риск для наземных и пресноводных видов, связанный с глобальным потеплением, риск для морских организмов, связанный с закислением океана или с комбинированным эффектом закисления и потепления океана и риск, связанный с подъемом уровня моря для береговых систем.

Вскоре после выхода Пятого ОД его авторами была опубликована статья (Gattuso et al., 2015), в которой построены ТУ-диаграммы для иллюстрации наблюдаемых изменений и будущих рисков для морских организмов и экосистемных услуг под воздействием потепления и закисления океана. Сходная диаграмма (рис. 4) приведена в «Специальном докладе МГЭИК об океане и криосфере в условиях меняющегося климата» (IPCC, 2019b). ТУ-диаграммы из Резюме для политиков и Синтезирующего доклада Пятого ОД также анализируются в статье (O’Neill et al., 2017).

В цикле Шестого оценочного доклада МГЭИК уже опубликовано три специальных доклада[1)]: «Глобальное потепление на 1.5°C» (IPCC, 2018), «Изменение климата и земля» (IPCC, 2019a), «Специальный доклад об океане и криосфере в условиях меняющегося климата» (IPCC, 2019b). Все они содержат ТУ-диаграммы, характеризующие соответствующие риски, хотя процедура МГЭИК для построения таких диаграмм не была опубликована в качестве руководства для авторов.

Недостатки практики использования ТУ-диаграмм в докладах МГЭИК

ТУ-диаграммы начали использоваться в научных отчетах МГЭИК, особенно в их Резюме для политиков, в связи с необходимостью каким-либо образом агрегировать и визуализировать данные о различных последствиях для природных и социально-экономических систем, для здоровья людей, возникающих при повышении температуры воздуха в приповерхностном слое и вообще при направленном изменением какого-либо параметра климата. Неэффективно предоставлять людям, разрабатывающим климатическую политику, весь набор исходных результатов наблюдений, экспериментов и модельных расчетов, поскольку они вряд ли смогут ориентироваться в них самостоятельно.

Существующая практика использования ТУ-диаграмм в научных докладах МГЭИК, к сожалению, такова, что в явной форме достаточные сведения по многим существенным техническим деталям не предоставляются. Чтобы пояснить нашу обеспокоенность, рассмотрим ТУ-диаграмму из последнего опубликованного доклада МГЭИК (IPCC, 2019b), приведенную на рис. 4.

[1)] Для первых двух докладов приведены их краткие названия.

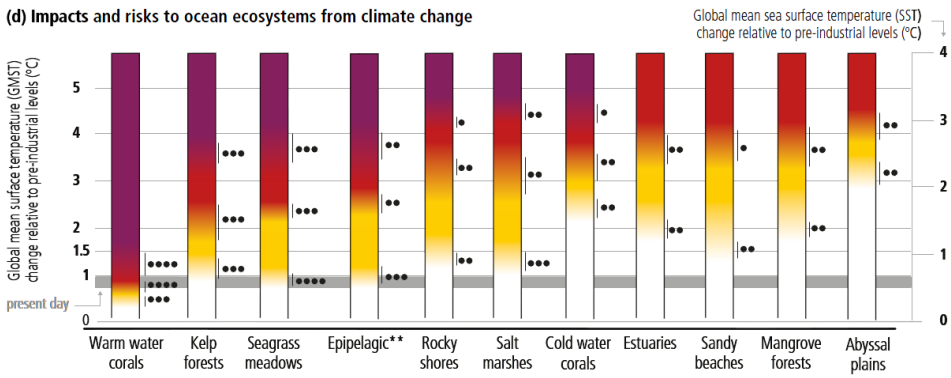

Рисунок 4. Оценка рисков для прибрежных и открытых океанических экосистем на основе наблюдаемых и прогнозируемых климатических воздействий на структуру, функционирование и биоразнообразие экосистем (фрагмент рис. SPM.3 из (IPCC, 2019b))
Воздействия и риски показаны в связи с изменениями глобальной средней температуры поверхности (GMST) относительно доиндустриального уровня. Поскольку оценки рисков и воздействий основаны на глобальной средней температуре поверхности моря (SST), отображаются соответствующие уровни SST[2)]. Оценка переходов риска описана в разделах 5.2, 5.3, 5.2.5 и 5.3.7 главы 5 и в дополнительных материалах SM5.3, таблице SM5.6, таблице SM5.8 и других частях базового отчета. На рисунке показаны оцененные риски при приблизительных уровнях потепления и повышении связанных с климатом опасностей в океане: потепление океана, подкисление, деоксигенация, увеличение стратификации плотности, изменения в потоках углерода, повышение уровня моря и увеличение частоты и/или интенсивности экстремальных явлений. Оценка учитывает естественную адаптационную способность экосистем, их подверженность и уязвимость. Уровни воздействия и риска не учитывают стратегии снижения риска, такие как вмешательство человека или будущие изменения неклиматических факторов. Риски для экосистем оценивались с учетом биологических, биогеохимических, геоморфологических и физических аспектов. Более высокие риски, связанные с комплексным воздействием климатических опасностей, включают утрату среды обитания и биоразнообразия, изменения в составе видов и диапазонах распространения, а также воздействия на структуру и функционирование экосистем и/или соответствующие риски, включая изменения в биомассе и плотности животных / растений, продуктивности, потоках углерода и перемещении наносов. В рамках оценивания была собрана литература, и данные помещены в сводную таблицу. Был проведен многоэтапный процесс экспертизы с независимой оценкой экспертами пороговых значений и согласованием в ходе окончательного обсуждения. Дополнительную информацию о методах и основной литературе можно найти в главе 5, разделы 5.2 и 5.3 и в Дополнительных материалах. {3.2.3, 3.2.4, 5.2, 5.3, 5.2.5, 5.3.7, SM5.6, SM5.8, рис. 5.16, таблица CB1.1 в главе 1 (IPCC, 2019b)

Figure 4. Assessment of risks for coastal and open ocean ecosystems based on observed and projected climate impacts on ecosystem structure, functioning and biodiversity (the fragment of Fig. SPM.3 from (IPCC, 2019b))
'Impacts and risks are shown in relation to changes in Global Mean Surface Temperature (GMST) relative to pre-industrial level. Since assessments of risks and impacts are based on global mean Sea Surface Temperature (SST), the corresponding SST levels are shown[2]. The assessment of risk transitions is described in Chapter 5 Sections 5.2, 5.3, 5.2.5 and 5.3.7 and Supplementary Materials SM5.3, Table SM5.6, Table SM5.8 and other parts of the underlying report. The figure indicates

[2)] Переход между GMST и SST основан на коэффициенте масштабирования 1,44, полученном из результатов ансамблевого моделирования RCP8.5; этот коэффициент масштабирования имеет неопределенность около 4% из-за различий между сценариями RCP2.6 и RCP8.5. {Таблица SPM.1}

[2)] The conversion between GMST and SST is based on a scaling factor of 1.44 derived from changes in an ensemble of RCP8.5 simulations; this scaling factor has an uncertainty of about 4% due to differences between the RCP2.6 and RCP8.5 scenarios. {Table SPM.1}

assessed risks at approximate warming levels and increasing climate-related hazards in the ocean: ocean warming, acidification, deoxygenation, increased density stratification, changes in carbon fluxes, sea level rise, and increased frequency and/or intensity of extreme events. The assessment considers the natural adaptive capacity of the ecosystems, their exposure and vulnerability. Impact and risk levels do not consider risk reduction strategies such as human interventions, or future changes in non-climatic drivers. Risks for ecosystems were assessed by considering biological, biogeochemical, geomorphological and physical aspects. Higher risks associated with compound effects of climate hazards include habitat and biodiversity loss, changes in species composition and distribution ranges, and impacts/risks on ecosystem structure and functioning, including changes in animal/plant biomass and density, productivity, carbon fluxes, and sediment transport. As part of the assessment, literature was compiled and data extracted into a summary table. A multi-round expert elicitation process was undertaken with independent evaluation of threshold judgement, and a final consensus discussion. Further information on methods and underlying literature can be found in Chapter 5, Sections 5.2 and 5.3 and Supplementary Material. {3.2.3, 3.2.4, 5.2, 5.3, 5.2.5, 5.3.7, SM5.6, SM5.8, Figure 5.16, Cross Chapter Box 1 in Chapter 1 Table CCB1}' (IPCC, 2019b)

Эта диаграмма описывает воздействия и риски для береговых и океанических экосистем, связанные с изменением климата. На левой вертикальной оси указано в °C изменение средней глобальной температуры в приповерхностном слое относительно доиндустриального уровня, а на правой вертикальной оси – средняя температура поверхности океана. Вертикальные столбцы представляют дополнительные воздействия и риски, связанные с потеплением, для следующих объектов: тепловодные кораллы, заросли макрофитов, морские травы, эпипелагические экосистемы, экосистемы скалистых берегов, соленые марши, холодноводные кораллы, экосистемы эстуариев, экосистемы песчаных берегов, мангровые леса, экосистемы абиссальных равнин. Цвета характеризуют дополнительные воздействия и риски, возникающие при превышении соответствующих пороговых значений температуры: пурпурный – очень высокая вероятность сильных воздействий, рисков и существенных необратимостей, устойчивые климатообусловленные угрозы в сочетании с ограниченной способностью адаптироваться в силу природы угрозы или воздействия/риска; красный – существенные и широко распространенные воздействия/риски; желтый – воздействия/риски выявляемы и объясняются изменениями климата по крайней мере на среднем уроне достоверности; белый – воздействия/риски не выявлены. Пороги переходов риска с одного уровня на другой основаны на оценочных суждениях экспертов, выявленных посредством многоступенчатого процесса, в ходе которого эксперты были независимы в своих суждениях и пришли к консенсусу после финального обсуждения. Диапазоны переходов между цветами – вертикальные отрезки. Достоверность переходов характеризуется качественно (Mastrandrea et al., 2010): низкая (●), средняя (●●), высокая (●●●), очень высокая (●●●●).

Признавая потенциальную практическую полезность такого способа агрегирования и визуализации информации, отметим ряд моментов, нуждающихся в дополнительном внимании и методологической доработке.

Во-первых, описанная выше цветовая легенда рис. 4 весьма неопределенна в отношении описания градаций рисков. Ее затруднительно использовать для оценки существенности последствий.

Во-вторых, при построении этой диаграммы (и иных подобных диаграмм) употребляется градиентная заливка цветом с помощью специальных программных средств. Именно благодаря возникающему при этом сходству с тлеющими углями такие диаграммы получили свое название – ТУ-диаграммы. Однако надо отметить, что с одной стороны, применяемые программные средства и принятые параметры, от которых зависит размер переходной зоны между цветами на рис. 4, не указаны. С другой стороны, положение температурных порогов и их диапазоны неопределенности также не указаны явно на рис 4. А ведь только они имеют значение при дальнейшем практическом использовании такой диаграммы. Тем самым, плавные переходы между цветами, обозначающими уровни рисков, вносят дополнительную неопределенность в оценку информации, содержащейся в научной литературе. В том числе это делает затруднительными повторение процедуры оценивания и верификацию ее результатов вследствие недостаточной согласованности руководящих принципов создания таких диаграмм. Как следствие, остается неясной процедура (алгоритм) с помощью которой найдены обозначенные в подписи к рис. 4, но скрытые градиентной заливкой, пороговые значения температуры. Фраза «Пороги переходов риска с одного уровня на другой основаны на оценочных суждениях экспертов, выявленных посредством многоступенчатого процесса, в ходе которого эксперты были независимы в своих суждениях и пришли к консенсусу после финального обсуждения» («A multi-round expert elicitation process was undertaken with independent evaluation of threshold judgement, and a final consensus discussion») из подписи к рис. 5 это не проясняет.

В-третьих, также не ясно, как объединяются на одном рисунке данные о воздействиях (impacts) и рисках (risks). Ведь для последних нужно иметь и оценки вероятностей изменений температуры, что не отражено на рисунке и в подписи.

В-четвертых, не ясно как осуществлялся переход от значений изменения температуры в тех местах и в те сезоны, о которых идет речь в публикациях, лежащих в основе обобщения, к средним глобальным изменениям температуры, указанным на вертикальных осях на рис. 5.

Эти недостатки присущи также ТУ-диаграммам в более ранних докладах МГЭИК.

В соответствии с основными принципами работы МГЭИК, функция МГЭИК состоит во всестороннем, объективном, открытом и транспарентном оценивании научной, технической и социально-экономической информации, существенной для понимания научных основ рисков, вызванных антропогенными климатическими изменениями, их потенциальных воздействий, возможностей их смягчения и адаптации к ним (Principles Governing IPCC Work, 2013). Возможность отслеживания процедуры оценки (traceable account) и возможность повторения оценки с использованием тех же исходных данных являются основополагающими принципами работы МГЭИК. Именно по этим причинам методологические подходы, используемые при разработке ТУ-диаграмм, должны быть четко сформулированы, чтобы обеспечить достовер-

ность информации, представленной на диаграммах, и возможность воспроизведения аналогичного процесса.

Сформулированные более 30 лет назад для нужд МГЭИК требования к процедурам обработки научных данных впоследствии получили дальнейшее развитие. В настоящее время они известны как принципы обработки данных FAIR (FAIR Data Principles). Они включают возможность найти данные (Findable), их доступность (Accessible), совместимость (Interoperable) и многократное использование (Reusable) (например, (Wilkinson et al., 2016)). Целевая группа МГЭИК по поддержке данными оценок изменения климата (Task Group on Data Support for Climate Change Assessments (TG-Data)) предполагает разработать Руководство по принципам обработки данных FAIR для авторов МГЭИК и Групп технической поддержки Рабочих групп МГЭИК (TG-Data, 2020). Предполагается также, что данные, на основе которых будут построены рисунки, таблицы и получены все основные результаты, включенные в Резюме для политиков и Технические резюме всех рабочих групп, а также в Синтезирующий доклад Шестого ОД, будут соответствовать принципам и практике FAIR. Авторы будут представлять данные вместе с описанием методов их обобщения, использованных при построении рисунков. Архивирование и надежное хранение данных должен осуществлять Центр распространения данных МГЭИК, обеспечивающий доступность данных и алгоритмов, с помощью которых получены рисунки, и тем самым гарантирующий прозрачность всех процедур и возможность их повторения пользователями в соответствии с принципами работы МГЭИК (Stockhause et al., 2019).

За время, прошедшее после выхода Первого ОД, имел место существенный рост числа научных публикаций, посвященных изменению климата. В период Пятого цикла МГЭИК оно примерно в 75 раз превысило их число за время Первого цикла (Haunschild et al., 2016; Minx et al., 2017). Нижняя оценка числа публикаций, индексируемых Web of Science, за время Пятого цикла составила 110 000. За 2016 год опубликовано более 33 000 работ (не включая «серую» литературу, рецензируемые публикации, не попавшие в Web of Science, и некоторые другие). Тем самым, существенно возросла нагрузка на авторов МГЭИК.

Общее число ссылок на оригинальные работы в Пятом ОД было примерно в двадцать раз больше, чем в Первом ОД (Minx et al., 2017). Этот рост, тем не менее, отстает от роста общего числа публикаций по проблеме изменения климата примерно в три раза. Примерно во столько же раз уменьшился охват литературы, то есть доля использования литературы: в Первом ОД она составляла 63%, в Пятом – лишь 23%. Возникает вопрос о том, какие публикации использовать для оценочных докладов. Следует ли рассматривать все публикации по проблеме изменения климата или только их часть? Если часть, каков критерии отбора? Как синтезировать информацию из большого количества публикаций с разнородной информацией? Некоторые подходы и рекомендации можно найти в работах (Lokers et al., 2016; Nunez-Mir et al., 2016). Мы же отметим только, что эти вопросы имеют прямое отношение к оценкам рисков,

возникающих вследствие изменения климата, и должны быть включены в Руководство МГЭИК по оценке таких рисков и их визуализации.

Необходимость создания руководства по транспарентному обобщению данных и информации для МГЭИК подчеркивалась во многих научных публикациях (например, (Minx et al., 2017) и ссылки в этой работе). Для того, чтобы адекватно рассматривать вопросы, связанные с источниками рисков и неопределенностей, нужно развитие различных подходов и инструментов для решения разнообразных сопутствующих проблем. В настоящее время, ввиду наличия лишь небольшого набора инструментов, в Руководство МГЭИК следует включить лучшие из имеющихся. Применение авторами такого руководства при написании будущих докладов обеспечило бы читателя знанием о границах того, что известно из научной литературы на момент создания оценочного доклада (какие имеются данные, а каких данных не хватает) для всех секторов и всех уровней обобщения – глобального, регионального и других. При обобщении данных должно быть понятно, где заканчиваются исходные данные и где начинаются количественные оценки, полученные авторами МГЭИК, или их оценочные суждения, на каких именно данных или литературных источниках эти оценки и суждения основаны, какими методами они получены и какова точность результирующих оценок. Это дало бы читателям докладов, в том числе лицам, принимающим решения и их советникам, более адекватную и менее расплывчатую картину происходящих и ожидаемых последствий изменения климата и сопутствующих рисков. Советники, среди которых есть и ученые, способны читать и понимать не только результирующие графики и диаграммы, но и «скучные» таблицы исходных данных, процедуры их обобщения и получения результирующих продуктов. В результате принятые решения в условиях неопределенности, максимально ясно описанной МГЭИК, будут более информированными и обоснованными.

Одним из основных инструментов МГЭИК для обобщения данных, содержащихся в научной литературе, о воздействиях изменения климата на природные и социально-экономические системы и связанных с этими воздействиями рисками, до сих пор являлось построение ТУ-диаграмм. До настоящего времени процесс построения диаграмм в научных докладах МГЭИК не был полностью прозрачен, а сами они вызывают ряд вопросов, некоторые из них мы сформулировали выше. Если в Шестой ОД будут включены ТУ-диаграммы, следует привести алгоритм, описывающий шаг за шагом путь от исходных данных, извлеченных из относящихся к данной тематике научных публикаций, до цветных столбцов ТУ-диаграмм. Этот алгоритм должен быть ясно описан таким образом, чтобы его могли повторить другие эксперты МГЭИК и читатели и пользователи Шестого ОД, включая советников по науке лиц, принимающих решения. Для этого исходные данные и алгоритм должны быть доступны в Докладе или в Дополнительных материалах к Докладу.

Если авторы Шестого ОД МГЭИК будут следовать процедуре построения диаграмм, сходной с той, что была применена при их построении в специальных докладах МГЭИК 2018-2019 гг. (например, в (IPCC, 2019b)), то они столкнутся со следующим препятствием. Один из шагов (определение порогов

перехода риска с одного уровня на другой, см. подпись к рис. 4) состоит в работе группы экспертов. Результаты этой работы, вообще говоря, не могут быть повторены, так как другая группа экспертов, даже работающая по тем же протоколам, не обязательно придет к тем же результатам, что и первая – воспринимаемая серьезность риска будет различной для разных экспертов (авторов или заинтересованных лиц) (O'Neill et al., 2017). Отсутствие однозначности в процедуре построения ТУ-диаграмм делает ее не транспарентной, что вступает в противоречие с основными принципами работы МГЭИК и, тем самым, ставит под сомнение целесообразность продолжения использования этих диаграмм в докладах МГЭИК без изменения существующей практики их построения.

Таким образом, процедура построения ТУ-диаграмм как средства агрегирования и визуализации информации о последствиях изменения климата для природных и социально-экономических систем, для здоровья населения – нуждается в существенной доработке и формализации. Возможный путь для этого намечен в примере, рассмотренном в следующем разделе.

Пример возможной формализации процедуры построения ТУ-диаграмм

Наш пример – иллюстративный в отношении конкретных значений, но в остальном имеющий прямое отношение к реальности. Известно (Бараев и др., 1978), что в умеренных широтах Северного полушария яровая пшеница является растением, чувствительным к температуре июня, когда формируется колос и проходят некоторые другие важные процессы развития растения[3)]. При существенных положительных аномалиях средней температуры воздуха в июне возможны нежелательные последствия. Приводим их в порядке возрастания значений температуры: снижение продукции общей биомассы растения, снижение продукции зерна (т.е. урожайности), снижение выживаемости против фактора усыхания. Пусть в нашем распоряжении имеются научные публикации, в которых приведены количественные данные, например, за начало XXI века, описывающие эти эффекты для какого-либо региона, где типично есть посевы яровой пшеницы, скажем для Поволжья (Россия). Эти данные для различных хозяйств характеризуют аномалии средней июньской температуры (скажем, относительно нормы 1961-1990 гг.) и значения трех упомянутых выше эффектов (в процентах относительно средних значений за тот же базовый период времени). Конечно, эти данные в форме исходных графиков и таблиц трудны для восприятия непрофессионалами. Для их агрегирования и визуализации можно использовать следующий прием.

Примем уровень проявления последствий, а именно значения климатообусловленного снижения продукции общей биомассы, продукции зерна (урожайности) и выживаемости против фактора усыхания «10% и больше» в

[3)] Ситуация в тропических регионах аналогична: осадки и температура являются ключевыми факторами, влияющими на урожайность

качестве нежелательного, вызывающего обеспокоенность. У яровой пшеницы эти нежелательные последствия начинают проявляться в среднем при все больших положительных аномалиях температуры. Даже если в имеющихся данных 10%-й уровень снижения и не наблюдается, статистическая/модельная обработка данных позволяет определить такие соответствующие пороговые значения аномалии средней температуры июня, что при их превышении начинают проявляться нежелательные последствия. Это можно сделать, например, следующим образом.

К данным о значениях какой-либо из трех рассматриваемых переменных (продукция общей биомассы, продукция зерна (урожайность), выживаемость против фактора усыхания) $\{X_n\}$и о соответствующих значениях аномалии температуры $\{\Delta_n t\}$, n = 1. 2, …, N, представленным в научной публикации, применим экспоненциальную модель $X(\Delta t) = A \exp(-b\ \Delta t + \xi)$. Здесь A и b – параметры модели, а ξ – характеризует остаточную изменчивость. Она связана и с иными факторами среды, не направленно меняющимися год от года, например, с облачностью. При этом параметр A, имеющий смысл значения эффекта при нулевой аномалии температуры, учитывает систематические изменения факторов среды иной природы, например, изменения агротехники по сравнению с базовым периодом 1961-1990 гг.

Если перейти к логарифмическому масштабу переменной X и применить обычную технику линейной регрессии $\ln X$ на Δt, можно получить оценку b^* параметра b, оценку ее дисперсии D_{b*} , а также ошибки $\sigma = (D_{b*})^{1/2}$. Если таких публикаций по рассматриваемому региону несколько, то все полученные оценки параметра b можно агрегировать в наиболее точную оценку методом Гаусса, т.е. суммируя с весами, которые обратно пропорциональны значениям дисперсии.

Задаваясь определенной доверительной вероятностью P (что соответствует вероятности ошибки $\varepsilon = 1 - P$), можно найти нижнюю и верхнюю доверительные границы для b; обозначим их $b_{\min}$ и $b_{\max}$ соответственно. При вербальной характеризации выбранной доверительной вероятности можно использовать рекомендации МГЭИК (Mastrandrea et al., 2010): $0.33 \leq \varepsilon < 0.66$ – средневероятно (столь же вероятно, сколь нет); $0.10 \leq \varepsilon < 0.33$ – вероятно; $0.01 \leq \varepsilon < 0.10$ – весьма вероятно; $0.0 \leq \varepsilon < 0.01$ – практически достоверно.

Чтобы оценить соответствующие значения Δt, нужно воспользоваться соотношением $b\ \Delta t = -\ln(0.9)$, что соответствует 10%-му климатообусловленному снижению исследуемого параметра X. При значениях b, равных b^*, $b_{\min}$ и $b_{\max}$ получим оценку соответствующего порогового значения аномалии средней июньской температуры Δt и ее доверительные границы.

Для иллюстрации, приведенной на рис. 5, для рассматриваемых трех эффектов – снижение продукции общей биомассы растения, снижение продукции зерна (т.е. урожайности), снижение выживаемости против фактора усыхания – для яровой пшеницы условно приняты значения 2, 2.5 и 3.5°C в качестве пороговых значений аномалии средней июньской температуры значений Δt. Доверительные интервалы показаны вертикальными отрезками. Доверительная вероятность показана точками – см. подрисуночную подпись.

Конечно, при выборе более строгих требований к вероятности ошибки границы этих интервалов будут расширяться.

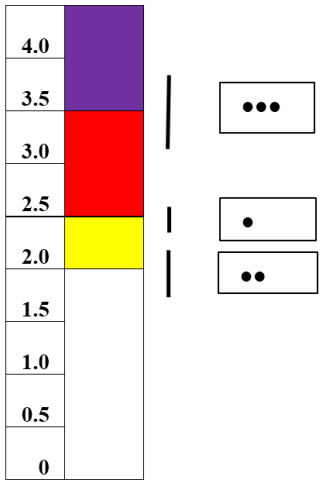

Рисунок 5. Иллюстративный пример. Левый столбец – аномалия средней температуры июня относительно нормы 1961-1990 гг., °С. Правый столбец – интервалы температуры, в которых возникают новые нежелательные последствия для посевов яровой пшеницы
Возникновение новых последствий сопровождается изменением цвета с белого на желтый (для снижения продукции общей биомассы растения на 10% или более), с желтого на красный (для снижения продукции зерна, т.е. урожайности, на 10% или более), с красного на пурпурный (для снижения выживаемости против фактора усыхания на 10% или более). Вертикальные отрезки справа представляют диапазоны неопределенности для соответствующих пороговых значений, а символы (точки) указывают на вероятностные характеристики этих диапазонов: средне-вероятно, т.е. также вероятно, как и нет (•), вероятно (••), весьма вероятно (•••), практически достоверно (••••). Большей уверенности по этой шкале соответствует бо́льший диапазон неопределенности

Figure 5. An illustrative example. The left column depicts the anomaly of mean temperature of June vs. 1961-1990 norm, °C. The right column presents the temperature intervals in which new undesirable consequences for spring wheat crops occur
The emergence of new consequences is accompanied by a change in color from white to yellow for a decrease in the production of total plant biomass by 10% or more, from yellow to red for a decrease in grain production (i.e., yield) by 10% or more, from red to purple for a decrease in survival from the drying factor by 10% or more. The vertical bars on the right represent a range of uncertainty for respective threshold values, and dots indicate confidence levels for these ranges: medium likelihood (i.e., as likely as not) (•), likely (••), very likely (•••), virtually certain (••••). Greater confidence according to this scale corresponds to a larger range of uncertainty

Рис. 5 представляет пример агрегирования информация о температурных границах, за которыми возникают дополнительные последствия потепления – снижение на 10% и более продукции общей биомассы растения, продукции зерна (урожайности) и выживаемости против фактора усыхания. Подобные диаграммы (прообразы ТУ-диаграмм) могут быть полезны при региональном планировании растениеводства, оценке возможного ущерба от изменения климата и планировании адаптации. Такой способ агрегирования и визуализации информации, безусловно, будет легко восприниматься лицами, принимающими решения, в том числе в области планирования адаптации.

Однако следует подчеркнуть, что эта диаграмма специфична для региона (в нашем примере это Поволжье) и для растения (яровая пшеница). Для более

широкой территории, а также более широкой группы сельскохозяйственных растений (например, зерновых в целом) и температурные пороги, изображенные на рис. 5, и их вероятностные границы, могут существенно измениться. Важно также иметь в виду, что климатогенным событием здесь является возрастание средней температуры воздуха в июне в Поволжье. Поэтому заменять ее при сценарных оценках будущих рисков при потеплении на изменение средней глобальной температуры июня, а тем более на изменение средней глобальной среднегодовой температуры, нельзя. И, наконец, диаграмма, представленная на рис. 5, описывает лишь последствия, а не риски. Для характеризации возникновения дополнительных рисков надо учитывать вероятности превышения температурой соответствующих пороговых значений.

Заключение

Обобщение и оценка данных, представленных в научной литературе, которые выполняет МГЭИК, в том числе данных о последствиях изменения климата для природных и социально-экономических систем, для здоровья людей, есть научная задача. Для ее корректного решения требуются специальные методологические разработки, которые должны одобряться МГЭИК, как организацией, и публиковаться в виде Руководств по определенным вопросам для авторов докладов МГЭИК. В качестве примера можно привести Руководство МГЭИК по учету неопределенностей (Mastrandrea et al., 2010). Конечно, такие методологические руководства со временем нуждаются в дальнейшем развитии (Mach et al., 2017; Semenov et al., 2019). «Диаграммы тлеющих углей», ТУ-диаграммы, широко используются в докладах МГЭИК как инструмент синтеза и визуализации результатов оценок воздействия изменения климата и соответствующих рисков. Наш анализ показывает, что существует ряд недостатков, присущих ТУ-диаграммам, представленных в докладах МГЭИК. Мы предложили пример формализации процедуры построения ТУ-диаграммы. В данной работе показано, что для дальнейшего корректного использования ТУ-диаграмм для визуализации рисков в докладах МГЭИК имеется настоятельная необходимость в разработке полноценного Руководства МГЭИК по оценке климатообусловленных рисков и их визуализации.

Благодарности

Авторы благодарят В.Н. Павлову (Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии) за полезные обсуждения проблемы. Мы также благодарим М.Э. Шаскольскую за полезные лингвистические комментарии к рукописи.

Исследование выполнено при поддержке со стороны следующих программ и проектов:

Темы НИР по Плану Фундаментальных научных исследований государственных академий наук № 0148-2019-0009, АААА-А19-119022190173-2

«Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России» (анализ концепции риска);

Тема 3.1. «Развитие методов и технологий климатического обслуживания, включая совершенствование моделей прогнозирования климата, методов оценки последствий изменения климата, климатического обоснования национальных адаптационных планов и мониторинга эффективности адаптаций» Плана НИТР Росгидромета на 2020 г., утвержденного приказом № 745 от 31.12.2019;

Программа Президиума РАН «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования», проект «Исследование совместных изменений климатических норм и показателей изменчивости температуры в приповерхностном слое и их влияния на погодные экстремумы, воздействия и риски для экосистем и здоровья населения на территории России и соседних стран».

Список литературы

Бараев А.И., Бакаев Н.М., Веденеева М.Л., Волков Е.Д., Гриванов К.П., Громов А.Г., Нестеренко А.М., Плахотник В.В., Синицын С.С., Степанов А.И., Сулейменов М.К., Фокеев П.Ф., Шевченко Ф.П., Шумаков Н.С. 1978. Яровая пшеница /Бараев А.И. (ред.). − М., Колос, 429 с.

фон Нейман Дж., Моргенштерн О. 1970. Теория игр и экономическое поведение. – М., Наука, 707 с.

Семенов С.М., Анисимов О.А., Анохин Ю.А., Кобышева Н.В. 2008. Введение. − В кн.: Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, т. II. Последствия изменений климата. – Москва, Росгид-ромет, с. 7-18.

Aspinall W.P., Cooke R.M. 2013. Quantifying scientific uncertainty from expert judgement elicitation. – In: Risk and Uncertainty Assessment for Natural Hazards / eds. J. Rougier, S. Sparks, and L.J. Hill. – New York, NY: Cambridge University Press, pp. 64-99. Doi: 10.1017/CBO9781139047562.005.

Aven T., Renn O. 2015. An Evaluation of the Treatment of Risk and Uncertainties in the IPCC Reports on Climate Change. − Risk Analysis, vol. 35, No. 4, pp. 701-712. Doi: 10.1111/risa.12298.

Fischlin A. 2009. Do we have sufficient safety margins in climate policies? [Berücksichtigen wir in der Klimapolitik genügend Sicherheitsmargen?]. – GAIA, vol. 18, No. 3, pp. 193-199.

Gattuso J.-P., Magnan A., Billé R., Cheung W.W.L., Howes E.L., Joos F., Allemand D., Bopp L., Cooley S.R., Eakin C.M., Hoegh-Guldberg O., Kelly R.P., Pörtner H.-O., Rogers A.D., Baxter J.M., Laffoley D., Osborn D., Rankovic A., Rochette J., Sumaila U.R., Treyer S. 2015. Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO_2 emissions scenarios. − Science, vol. 349, Issue 6243, aac4722. Doi: 10.1126/science.aac4722.

Haunschild R., Bornmann L., Marx W. 2016. Climate change research in view of bibliometrics. − PLoS One, vol. 11 (7), e0160393. Doi: 10.1371/journal.pone.0160393.

IPBES, 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services /S. Díaz, J. Settele, E.S. Brondízio, H.T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K.A. Brauman, S.H.M. Butchart, K.M.A. Chan, L.A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S.M. Subramanian, G.F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y.J. Shin, I.J. Visseren-Hamakers, K.J. Willis, and C.N. Zayas (eds.). − IPBES Secretariat, Bonn, Germany, 56 p.

IPCC, 1990. Climate Change. The IPCC Impacts Assessment. Report prepared for IPCC by Working Group II /Tegart WJ. McG., G.W. Sheldon and D.C. Griffiths (eds.) – Australian Government Publishing Service, Canberra, Commonwealth of Australia.

IPCC, 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. – A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change /Field C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.). − Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 582 p.

IPCC, 2014. Summary for policymakers. – In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change /Field C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.). − Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and NewYork, NY, USA, pp. 1-32.

IPCC, 2014a. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change /Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). − IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.

IPCC, 2018. Summary for Policymakers. – In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty /Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.). − In press. – Available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf (accessed 12 May 2020).

IPCC, 2019a. IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. Summary for Policymakers. − Approved Draft, 41 p. – Available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/Edited-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf (accessed 12 May 2020).

IPCC, 2019b. Summary for Policymakers. – In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate /H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. − In press. – Available at https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/03_SROCC_SPM_FINAL.pdf (accessed 12 May 2020).

Kyoto Protocol, 1997. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, 24 p.

De Laplace P.S. 1902. A Philosophical Essay on Probabilities. Translated from the sixth French edition. − John Wiley & Sons, London: Chapman & Hall, Limited, 196 p.

Lokers R., Knapen R., Janssen S., van Randen Y., Jansen J. 2016. Analysis of Big Data technologies for use in agro-environmental science. − Environmental Modelling & Software, vol. 84, pp. 494-504. Doi: 10.1016/j.envsoft.2016.07.017.

Mach K.J., Mastrandrea M.D., Freeman P.T., Field C.B. 2017. Unleashing expert judgment in assessment. – Global Environmental Change, vol. 44, pp. 1-14.

Mastrandrea M.D., Field C.B., Stocker T.F., Edenhofer O., Ebi K.L., Frame D.J., , Held H., Kriegler E., Mach K.J., Matschoss P.R., Plattner G.-K., Yohe G.W., Zweirs F.W. 2010. Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties. – IPCC Cross-Working Group Meeting on Consistent Treatment of Uncertainties. Jasper Ridge, CA, USA 6-7 July 2010, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). – Available at: https://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material/uncertainty-guidance-note.pdf (accessed 13 May 2020).

Minx J.C., Callaghan M., Lamb W.F., Gararda J., Edenhofer O. 2017. Learning about climate change solutions in the IPCC and beyond. − Environmental Science & Policy, vol. 77, November 2017, pp. 252-259. Doi: 10.1016/j.envsci.2017.05.014.

Morgan M.G., Henrion M. 1990. Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis. − Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 332 p.

Nunez-Mir G.C., Iannone B.V. Pijanowski B.C., Kong N., Fei S. 2016. Automated content analysis: addressing the big literature challenge in ecology and evolution. − Methods in Ecology and Evolution, vol. 7 (11), pp. 1262-1272. Doi: 10.1111/2041-210x.12602.

O'Neill B.C., Oppenheimer M., Warren R., Hallegatte S., Kopp R.E., Pörtner H.-O., Scholes R., Birkmann J., Foden W., Licker R., Mach1 K.J., Marbaix Ph.,

Mastrandrea M.D., Price J., Takahashi K., van Ypersele J.-P., Yohe G.W. 2017. IPCC reasons for concern regarding climate change risks. − Nature Climate Change, vol. 7, pp. 28-37. Doi: 10.1038/nclimate3179.

Paris Agreement, 2015. − United Nations, 27 p. – Available at: https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf (accessed 13 May 2020).

Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., and Co-authors. 2007. Technical Summary. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change /M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds. − Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 23-78.

Principles Governing IPCC Work, 2013. − Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 2 p. – Available at https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/09/ipcc-principles.pdf (accessed 13 May 2020).

Rosa E.A. 1998. Metatheoretical foundations for post-normal risk. − Journal of Risk Research, vol. 1(1), pp. 15-44.

Rosa E.A. 2003. The logical structure of the social amplification of risk framework (SARF): metatheoretical foundation and policy implications. − In: The Social Amplification of Risk /Pidgeon N., Kasperson R.E, Slovic P. (eds.). − Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, pp. 47-79.

Schneider S.H., Semenov S., Patwardhan A., Burton I., Magadza C.H.D., Oppenheimer M., Pittock A.B., Rahman A., Smith J.B., Suarez A., Yamin F. 2007. Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. Chapter 19. – In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change /M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds. − Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 779-810.

Semenov S.M., Insarov G.E., Méndez C.L. 2019. Characterization of uncertainties in assessments of the Intergovernmental Panel on Climate Change. − Fundamental and Applied Climatology, vol. 2, pp. 103-119. Doi: 10.21513/2410-8758-2019-2-103-119. Available at: http://downloads.igce.ru/journals/FAC/FAC_2019/FAC_2019_2/Semenov_S_M_et_al_translation_FAC_2019_2.pdf (accessed 13 May 2020).

Smith J.B., Schellnhuber J., Mirza M.M.Q., Fankhauser S., Leemans R., Lin E., Ogallo L., Pittoc B., Richels R.G., Rosenzweig C., Tol R.S.J., Weyant J.P., Yohe G.W. 2001. Vulnerability to climate change and reasons for concern: A synthesis. Chapter 19. – In: Climate Change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change /McCarthy J.J., Canziani O.F., Leary N.A., Dokken D.J., White K.S., eds. − Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, pp. 913-967.

Smith J.B., Schneider S.H., Oppenheimer M., Yohee G.W., Haref W., Mastrandrea M.D., Patwardhan A., Burton I., Corfee-Morlot J., Magadza C.H.D., Füssel H.-M., Pittock A.B., Rahman A., Suarez A., van Ypersele J.-P. 2009. Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ‘‘reasons for concern’’. − PNAS, vol. 106, No. 11, pp. 4133-4137. Doi: 10.1073_pnas.0812355106.

Stockhause M., Juckes M., Chen R., Okia W.M., Pirani A., Waterfield T., Xing X., Edmunds. 2019. Data Distribution Centre Support for the IPCC Sixth Assessment. − Data Science Journal, 18:20, pp. 1-7. Doi: 10.5334/dsj-2019-020.

TG-Data, 2020. Task group on data support for climate change assessments, IPCC-LII/Doc. 8, Fifty-second session of the IPCC, Paris, France, 24-28 February 2020, 8 p. – Available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/12/200220200150-Doc.-8-Rev.-1-TG-Data.pdf (accessed 13 May 2020).

The Global Risks Report. 2019. World Economic Forum. – Geneva, Switzerland, 14th Edition, 108 p. Available at: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2019.pdf (accessed 13 May 2020).

UNFCCC, 1992. United Nations Framework Convention on Climate Change. − United Nations, 25 p. – Available at: https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf (accessed 13 May 2020).

Wilkinson M.D., Dumontier M., Aalbersberg I.J., Appleton G., Axton M., Baak A., Blomberg N., Boiten J.-W., da Silva Santos L.B., Bourne P.E., Bouwman J., Brookes A.J., Clark T., Crosas M., Dillo I., Dumon O., Edmunds S., Evelo C.T., Finkers R., Gonzalez-Beltran A., Gray A.J.G., Groth P., Goble C., Grethe J.S., Heringa J., 't Hoen P.A.C., Hooft R., Kuhn T., Kok R., Kok J., Lusher S.T, Martone M.E., Mons A., Packer A.L., Persson B., Rocca-Serra P., Roos M., van Schaik R., Sansone S.-A., Schulte E., Sengstag T., Slater T., Strawn G., Swertz M.A., Thompson M., van der Lei J., van Mulligen E., Velterop J., Waagmeester A., Wittenburg P., Wolstencroft K., Zhao J., Mons B. 2016. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. – Scientific Data, 3: 160018. Doi: 10.1038/sdata.2016.18.

Статья поступила в редакцию: 07.04.2020 г. *После переработки: 24.05.2020 г.*

CONCEPT OF RISK AND VISUALIZATION OF ITS CHANGES IN THE REPORTS OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

G.E. Insarov[1)], C.L. Méndez[2)], S.M. Semenov[1,3,4)], P.Z. Yanda[5)]*

[1)]Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences,
29 Staromonetny Lane, 109017, Moscow, Russian Federation;
* corresponding author: *insarovg@gmail.com*

[2)]Venezuelan Institute for Scientific Research,
21827, Caracas 1020-A, Venezuela; *carlos.menvall@gmail.com*

[3)]Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,
20B Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russian Federation; *SergeySemenov1@yandex.ru*

[4)] National Research University 'Higher School of Economics',
20 Myasnitskaya str., 101000, Moscow, Russian Federation

[5)] University of Dar es Salaam,
P.O. BOX 33453, Dar es Salaam, Tanzania; *pyanda@gmail.com*

Abstract. Decision making in the field of limiting anthropogenic impacts on the climate system, including climate itself, requires the estimates of consequences. The assessment of the confidence of estimates is important for the reliable justification of the decisions, in particular for the risk analysis. Such an approach was developed in scientific reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), in contributions of its Working Group II' Impacts, adaptation and vulnerability'. The paper presents the evolution of the 'risk' concept in the IPCC scientific reports and current understanding of risk in the latest special reports of 2018-2019. This understanding is based on the fact that the risk arises from the interaction of three circumstances: the presence of climate-related hazard, exposure of the affected object to the hazard and vulnerability of the object. The main approach used in the IPCC reports for the aggregation and visualization of information on climate related changes in risk levels for natural and socio-economic systems, as well as for human health, is the construction of 'burning ember diagrams', BE-diagrams. Some imperfections of BE-diagrams presented in publications, and insufficient degree of formalization of the procedure for constructing BE-diagrams in the IPCC reports are indicated. BE-diagrams are based on analyzing and summarizing data and information of two kinds: (1) the field observations' results, experimental and modelling data available from scientific literature; (2) IPCC expert judgements. However, there is no IPCC published clear procedure describing the sequence of steps, staring from (1) and (2), required to assess risks and to build corresponding BE-diagrams. The paper provides an example of such a procedure, i.e. an algorithm for the construction of a visual image summarizing the assessment of adverse effects of climate warming on an agricultural crop, specifically, spring wheat. The approach to construction of BE-diagrams demonstrated with this example can be generalized and used in the

development of BE-diagrams for other elements of natural or socio-economic systems affected by climate change. To ensure transparency of assessments of climate change impacts using BE-diagrams and possibility to repeat the assessments by different groups of users, a special IPCC Guidance note on this issue is needed.

Keywords. Climate change, impact, risk, assesment, visualization, methodology, Intergovernmental Panel on Climate Change, special reports, assesment reports.

References

Barayev A.I., Bakayev N.M., Vedeneyeva M.L., Volkov Ye.D., Grivanov K.P., Gromov A.G., Nesterenko A.M., Plakhotnik V.V., Sinitsyn S.S., Stepanov A.I., Suleymenov M.K., Fokeyev P.F., Shevchenko F.P., Shumakov N.S. 1978. *Yarovaya pshenitsa* [Spring wheat]. Moscow, 429 p.

fon Neyman Dzh., Morgenshtern O. 1970. *Teoriya igr i ekonomicheskoye povedeniye* [Game theory and economic behavior]. Mocow, 707 p.

Semenov S.M., Anisimov O.A., Anokhin Yu.A., Kobysheva N.V. 2008. Vvedenie. - V knige: *Otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii, t. II. Posledstviya izmeneniy klimata* [Introduction. - In: Assessment Report on climate change and their consequences on the territory of the Russian Federation, vol. II. The effects of climate change]. Moscow, pp. 7-18.

Aspinall W.P., Cooke R.M. 2013. Quantifying scientific uncertainty from expert judgement elicitation. – In: Risk and Uncertainty Assessment for Natural Hazards / eds. J. Rougier, S. Sparks, and L.J. Hill. – New York, NY: Cambridge University Press, pp. 64-99. Doi: 10.1017/CBO9781139047562.005.

Aven T., Renn O. 2015. An Evaluation of the Treatment of Risk and Uncertainties in the IPCC Reports on Climate Change. − Risk Analysis, vol. 35, No. 4, pp. 701-712. Doi: 10.1111/risa.12298.

Fischlin A. 2009. Do we have sufficient safety margins in climate policies? [Berücksichtigen wir in der Klimapolitik genügend Sicherheitsmargen?]. – GAIA, vol. 18, No. 3, pp. 193-199.

Gattuso J.-P., Magnan A., Billé R., Cheung W.W.L., Howes E.L., Joos F., Allemand D., Bopp L., Cooley S.R., Eakin C.M., Hoegh-Guldberg O., Kelly R.P., Pörtner H.-O., Rogers A.D., Baxter J.M., Laffoley D., Osborn D., Rankovic A., Rochette J., Sumaila U.R., Treyer S. 2015. Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO_2 emissions scenarios. − Science, vol. 349, Issue 6243, aac4722. Doi: 10.1126/science.aac4722.

Haunschild R., Bornmann L., Marx W. 2016. Climate change research in view of bibliometrics. − PLoS One, vol. 11 (7), e0160393. Doi: 10.1371/journal.pone.0160393.

IPBES, 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services /S. Díaz, J. Settele, E.S.

Brondízio, H.T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K.A. Brauman, S.H.M. Butchart, K.M.A. Chan, L.A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S.M. Subramanian, G.F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y.J. Shin, I.J. Visseren-Hamakers, K.J. Willis, and C.N. Zayas (eds.). − IPBES Secretariat, Bonn, Germany, 56 p.

IPCC, 1990. Climate Change. The IPCC Impacts Assessment. Report prepared for IPCC by Working Group II /Tegart WJ. McG., G.W. Sheldon and D.C. Griffiths (eds.) – Australian Government Publishing Service, Canberra, Commonwealth of Australia.

IPCC, 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. – A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change /Field C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.). − Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 582 p.

IPCC, 2014. Summary for policymakers. – In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change /Field C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.). − Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and NewYork, NY, USA, pp. 1-32.

IPCC, 2014a. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change /Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). − IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.

IPCC, 2018. Summary for Policymakers. – In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty /Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.). − In press. – Available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf (accessed 12 May 2020).

IPCC, 2019a. IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. Summary for Policymakers. − Approved Draft, 41 p. – Available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/Edited-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf (accessed 12 May 2020).

IPCC, 2019b. Summary for Policymakers. – In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate /H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. − In press. – Available at https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/03_SROCC_SPM_FINAL.pdf (accessed 12 May 2020).

Kyoto Protocol, 1997. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, 24 p.

De Laplace P.S. 1902. A Philosophical Essay on Probabilities. Translated from the sixth French edition. − John Wiley & Sons, London: Chapman & Hall, Limited, 196 p.

Lokers R., Knapen R., Janssen S., van Randen Y., Jansen J. 2016. Analysis of Big Data technologies for use in agro-environmental science. − Environmental Modelling & Software, vol. 84, pp. 494-504. Doi: 10.1016/j.envsoft.2016.07.017.

Mach K.J., Mastrandrea M.D., Freeman P.T., Field C.B. 2017. Unleashing expert judgment in assessment. – Global Environmental Change, vol. 44, pp. 1-14.

Mastrandrea M.D., Field C.B., Stocker T.F., Edenhofer O., Ebi K.L., Frame D.J., Held H., Kriegler E., Mach K.J., Matschoss P.R., Plattner G.-K., Yohe G.W., Zweirs F.W. 2010. Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties. – IPCC Cross-Working Group Meeting on Consistent Treatment of Uncertainties. Jasper Ridge, CA, USA 6-7 July 2010, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). – Available at: https://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material/uncertainty-guidance-note.pdf (accessed 13 May 2020).

Minx J.C., Callaghan M., Lamb W.F., Gararda J., Edenhofer O. 2017. Learning about climate change solutions in the IPCC and beyond. − Environmental Science & Policy, vol. 77, November 2017, pp. 252-259. Doi: 10.1016/j.envsci.2017.05.014.

Morgan M.G., Henrion M. 1990. Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis. − Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 332 p.

Nunez-Mir G.C., Iannone B.V. Pijanowski B.C., Kong N., Fei S. 2016. Automated content analysis: addressing the big literature challenge in ecology and evolution. − Methods in Ecology and Evolution, vol. 7 (11), pp. 1262-1272. Doi: 10.1111/2041-210x.12602.

O'Neill B.C., Oppenheimer M., Warren R., Hallegatte S., Kopp R.E., Pörtner H.-O., Scholes R., Birkmann J., Foden W., Licker R., Mach1 K.J., Marbaix Ph., Mastrandrea M.D., Price J., Takahashi K., van Ypersele J.-P., Yohe G.W. 2017. IPCC reasons for concern regarding climate change risks. − Nature Climate Change, vol. 7, pp. 28-37. Doi: 10.1038/nclimate3179.

Paris Agreement, 2015. − United Nations, 27 p. – Available at: https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf (accessed 13 May 2020).

Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., and Co-authors. 2007. Technical Summary. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change /M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds. − Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 23-78.

Principles Governing IPCC Work, 2013. − Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 2 p. – Available at https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/09/ipcc-principles.pdf (accessed 13 May 2020).

Rosa E.A. 1998. Metatheoretical foundations for post-normal risk. − Journal of Risk Research, vol. 1(1), pp. 15-44.

Rosa E.A. 2003. The logical structure of the social amplification of risk framework (SARF): metatheoretical foundation and policy implications. − In: The Social Amplification of Risk /Pidgeon N., Kasperson R.E, Slovic P. (eds.). − Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, pp. 47-79.

Schneider S.H., Semenov S., Patwardhan A., Burton I., Magadza C.H.D., Oppenheimer M., Pittock A.B., Rahman A., Smith J.B., Suarez A., Yamin F. 2007. Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. Chapter 19. – In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change /M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds. − Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 779-810.

Semenov S.M., Insarov G.E., Méndez C.L. 2019. Characterization of uncertainties in assessments of the Intergovernmental Panel on Climate Change. − Fundamental and Applied Climatology, vol. 2, pp. 103-119. Doi: 10.21513/2410-8758-2019-2-103-119. Available at: http://downloads.igce.ru/journals/FAC/FAC_2019/FAC_2019_2/Semenov_S_M_et_al_translation_FAC_2019_2.pdf (accessed 13 May 2020).

Smith J.B., Schellnhuber J., Mirza M.M.Q., Fankhauser S., Leemans R., Lin E., Ogallo L., Pittoc B., Richels R.G., Rosenzweig C., Tol R.S.J., Weyant J.P., Yohe G.W. 2001. Vulnerability to climate change and reasons for concern: A synthesis. Chapter 19. – In: Climate Change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change /McCarthy J.J., Canziani O.F., Leary N.A., Dokken D.J., White K.S., eds. − Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, pp. 913-967.

Smith J.B., Schneider S.H., Oppenheimer M., Yohee G.W., Haref W., Mastrandrea M.D., Patwardhan A., Burton I., Corfee-Morlot J., Magadza C.H.D., Füssel H.-M., Pittock A.B., Rahman A., Suarez A., van Ypersele J.-P. 2009. Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) "reasons for concern". − PNAS, vol. 106, No. 11, pp. 4133-4137. Doi: 10.1073_pnas.0812355106.

Stockhause M., Juckes M., Chen R., Okia W.M., Pirani A., Waterfield T., Xing X., Edmunds. 2019. Data Distribution Centre Support for the IPCC Sixth Assessment. − Data Science Journal, 18:20, pp. 1-7. Doi: 10.5334/dsj-2019-020.

TG-Data, 2020. Task group on data support for climate change assessments, IPCC-LII/Doc. 8, Fifty-second session of the IPCC, Paris, France, 24-28 February 2020, 8 p. – Available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/12/200220200150-Doc.-8-Rev.-1-TG-Data.pdf (accessed 13 May 2020).

The Global Risks Report. 2019. World Economic Forum. – Geneva, Switzerland, 14th Edition, 108 p. Available at: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2019.pdf (accessed 13 May 2020).

UNFCCC, 1992. United Nations Framework Convention on Climate Change. − United Nations, 25 p. – Available at: https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf (accessed 13 May 2020).

Wilkinson M.D., Dumontier M., Aalbersberg I.J., Appleton G., Axton M., Baak A., Blomberg N., Boiten J.-W., da Silva Santos L.B., Bourne P.E., Bouwman J., Brookes A.J., Clark T., Crosas M., Dillo I., Dumon O., Edmunds S., Evelo C.T., Finkers R., Gonzalez-Beltran A., Gray A.J.G., Groth P., Goble C., Grethe J.S., Heringa J., 't Hoen P.A.C., Hooft R., Kuhn T., Kok R., Kok J., Lusher S.T, Martone M.E., Mons A., Packer A.L., Persson B., Rocca-Serra P., Roos M., van Schaik R., Sansone S.-A., Schulte E., Sengstag T., Slater T., Strawn G., Swertz M.A., Thompson M., van der Lei J., van Mulligen E., Velterop J., Waagmeester A., Wittenburg P., Wolstencroft K., Zhao J., Mons B. 2016. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. – Scientific Data, 3: 160018. Doi: 10.1038/sdata.2016.18.