

# Физические климатические риски для коммерческих компаний и практические подходы к их оценке

А.В. Чернокульский

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН*  
a.chernokulsky@ifaran.ru

## Введение

Изменение климата проявляется, в том числе, в повышении средней глобальной температуры, подъеме уровня Мирового океана и росте кислотности океана, изменении режима выпадения осадков, таянии ледников и морских льдов, деградации вечной мерзлоты, увеличении числа ряда погодных аномалий и опасных гидрометеорологических явлений. Последствия этих изменений провоцируют возникновение *физических климатических рисков* (имеющих природный характер<sup>1</sup>), связанных с воздействием изменений в окружающей среде на здоровье человека, сельское хозяйство и землепользование, обеспеченность водными ресурсами, инфраструктуру, городскую среду, туризм и т.д.

В связи с наличием физических климатических рисков, у компаний, инвесторов, кредиторов, потребителей и других стейкхолдеров возникает потребность в оценке подобных рисков и в разработке эффективных методов управления ими. Это нашло отражение во всех современных международных стандартах и руководствах по корпоративной отчетности, включая стандарты ISO, TCFD, GRI, IIRC, SASB, CDSB, CDP, IFRS и т.д. Все они требуют от компаний раскрытия информации о климатических рисках, о том, как эти риски влияют на деятельность компаний, на их доходы, расходы, активы и пассивы, как компании реагируют на эти риски, какие меры они предпринимают для уменьшения указанных рисков и связанного с ними потенциального ущерба.

Число компаний, представляющих соответствующую информацию в своих корпоративных отчетах, год от года растет. Ведущие российские компании также начинают проявлять интерес к этой теме. В том числе и потому, что этого требуют от них крупнейшие банки и фондовые биржи. Крупным компаниям на сегодняшний день достаточно сложно обходиться без анализа и мониторинга климатических рисков и без создания эффективных систем управления ими. При этом, на данный момент нет общепринятых методик по оценке подобных рисков и управлению ими.

В данном докладе представлены некоторые наработки, полученные автором в области оценки физических климатических рисков, которые нашли отражение в работе ряда российских коммерческих компаний.

---

<sup>1</sup> Также среди «климатических рисков» выделяют риски перехода, имеющие экономический характер. Риски перехода обусловлены переходом на путь социально-экономического развития с низкими выбросами в атмосферу парниковых газов для уменьшения антропогенного воздействия на климат и смягчения климатических изменений.

## Виды и компоненты риска

Под физическим климатическим риском стоит понимать сочетание вероятности и последствий наступления неблагоприятных событий, вызванных изменением погодно-климатических условий и других параметров внешней среды вследствие глобального изменения климата. При этом в последнее время принято выделять два вида физических климатических рисков — *экстремальные («острые»)* и *систематические («хронические»)*. К первым относят риски, вызванные стихийными бедствиями и другими опасными явлениями природно-климатического характера, например, лесными пожарами, наводнениями, волнами холода и жары, гололедными явлениями и т.д. Ко вторым — риски, вызванные долговременными необратимыми изменениями окружающей среды, такими как повышение температуры и влажности, затопление прибрежных территорий из-за повышения уровня Мирового океана, таяние ледников и многолетнемерзлых грунтов, изменение породного состава леса и т.д.

Как правило, выделяют такие компоненты (факторы) климатического риска, как опасность, подверженность и уязвимость (рис.1). Под *опасностью* понимают возможную повторяемость и интенсивность в будущем периоде событий и процессов, вызванных изменением климата, которые могут иметь негативные последствия для рассматриваемых объектов, людей, экосистем и т.д. *Подверженность* — это нахождение объектов в области потенциального негативного воздействия климатической опасности и во время этого воздействия (экспонирование воздействию). *Уязвимость* представляет собой внутреннее свойство подверженного климатическому воздействию объекта быть чувствительными (или нечувствительным) к негативным воздействиям изменения климата, при этом уязвимость прямо зависит от чувствительности, которую можно определить как совокупность недостатков, слабостей, уязвимых мест, и обратно зависит от защищенности.



Рисунок 1. Компоненты физического климатического риска.

Стоит отметить, что иногда к климатическим рискам относят только компонент опасности, например, повышение температуры, изменение повторяемости ураганов, засух, наводнений и т.п. Однако, для материализации риска, только изменения погодно-климатических параметров, учащения и интенсификации экстремальных явлений недостаточно. Условно, наводнение на реке не создает риска для компании, если ее объекты расположены на достаточном удалении от берега (нет подверженности). Аналогично, аномальная жара практически не представляет угрозы для сотрудников компании, если они работают внутри помещений, оснащенных системами кондиционирования (нет уязвимости). О существовании риска можно говорить только в том случае, когда какие-либо объекты, уязвимые (т.е. восприимчивые) к негативному воздействию, оказываются в зоне, где происходят климатические изменения, способные оказать негативное воздействие на эти объекты.

## Оценка риска

Для анализа физических климатических рисков целесообразно использовать те же подходы и понятия, которые обычно используют при анализе рисков природных катастроф. Так, под величиной риска природных катастроф понимают сочетание вероятности риска и ущерба, связанного с подобными явлениями (например, медианное значение функции распределения ущерба, которая определяется функцией распределения того или иного опасного явления и уровнем уязвимости к этому явлению). Существенная разница состоит, однако, в том, что климатический риск изменения климата представляет собой, по сути, приращение риска природных катастроф.

Пусть  $\{A_0, A_1, \dots, A_N\}$  — проявления природного события, например, дождя разной интенсивности (разной суммы: от нуля до  $N$  мм), которые происходят с вероятностью  $\{P_0, P_1, \dots, P_N\}$  и приводят к ущербу  $\{D_0, D_1, \dots, D_N\}$ . Тогда значение риска природного катастроф в простом случае может быть вычислено, как:

$$R_{\text{я}} = P_0 D_0 + P_1 D_1 + \dots + P_N D_N \quad (1)$$

Предполагая, что с изменением климата может измениться функция распределения осадков, например, возрасти вероятность более интенсивных ливней, под физическим климатическим риском (по крайней мере, в части катастрофических/острых рисков) можно понимать приращение риска природных катастроф, обусловленное климатическими изменениями, то есть разность риска природных катастроф между будущим («б») и настоящим («н») климатом:

$$R_{\text{к}} = R_{\text{я\_б}} - R_{\text{я\_н}} \quad (2)$$

По сути, климатический риск может быть представлен как:  $R_{\text{к}} = \Delta R_{\text{я}}$  (рис. 2). В более общем виде это может быть не только изменение медианных значений, но и, например, изменение дисперсии, стандартного отклонения и т.д. Данный подход подразумевает, что компании (или другие объекты риска: регионы, отрасли, люди, экосистемы и т.д.) адаптированы к текущему уровню риска природных катастроф, но не адаптированы к его

приращению, что само по себе создает риск, требующий оценки и выработки мер по управлению.

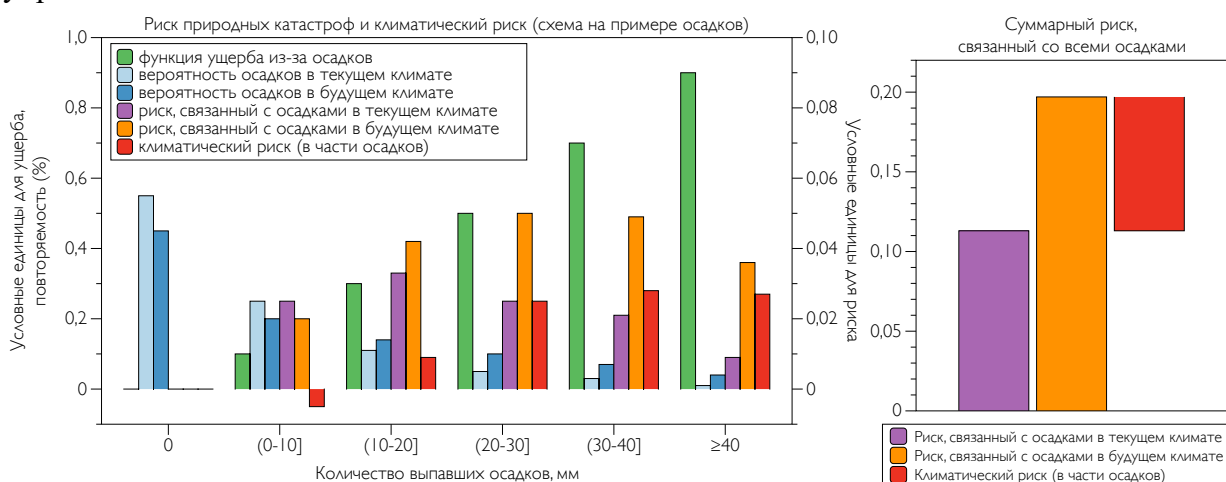


Рисунок 2. Иллюстративный пример оценки физического климатического риска (в части изменения атмосферных осадков).

При оценке климатических рисков необходимо определить *горизонты планирования* (краткосрочный, среднесрочный). Также целесообразно отдельно оценивать климатические риски в рамках стресс-тестирования, то есть оценить устойчивость компании в условиях максимально суровых, но физически возможных для региона присутствия компании, климатических изменений (просчитанных с помощью климатических моделей).

Оценку климатических рисков необходимо сопровождать оценкой статистической значимости ожидаемых изменений (для снижения неопределенности, связанной с внутренней изменчивостью климатической системы). Учитывая разный уровень достоверности воспроизведения моделями климатических параметров, целесообразно использовать ансамбль моделей, наилучшим образом воспроизводящих целевые климатические параметры в регионе присутствия. Также, учитывая принципиальную неопределенность в будущих сценариях развития общества, анализ климатических рисков должен проводиться для нескольких сценариев (*сценарный анализ*). Например, могут использовать «крайние» сценарии — SSP1-2.6 и SSP5-8.5, при которых максимизируются, соответственно, климатические риски перехода и физические климатические риски.

В формуле (1) в общем виде вероятность реализации риска зависит не только от вероятности возникновения опасности  $P(H)$ , но и вероятности того, что реализовавшаяся опасность приведет к негативному событию (сбою в работе, чрезвычайной ситуации и т.д.)  $P(V|H)$ . Данная вероятность по сути является функцией от уязвимости ( $P(V|H) = f(V)$ ). В свою очередь, эту функцию целесообразно оценивать только для подверженных объектов. В определенных случаях удобным представляется определить пороговые значения опасности  $H_{crit}$ , превышение которых будет приводить к 100% реализации риска, то есть  $P(V|H \geq H_{crit}) = 1$ . В данном случае вероятность реализации риска, обусловленного опасностью  $H$ , будет равна  $P(H \geq H_{crit})$ , а климатический риск равен изменению этой вероятности на рассматриваемых горизонтах времени по сравнению с текущим климатом.

На рисунке 3 приведен пример предлагаемого порядка оценки климатического риска для коммерческих компаний (Чернокульский и др., 2022), подразумевающий выделение

групп объектов, имеющих значение для деятельности компании (как правило это здания, сооружения, производственные объекты, технологическое оборудование и транспортные средства, персонал, объекты электрогенерации, передачи и/или поступления электроэнергии, системы водоотведения и водоснабжения, логистические цепочки (в том числе за периметром объекта), источники сырья, коммуникации).

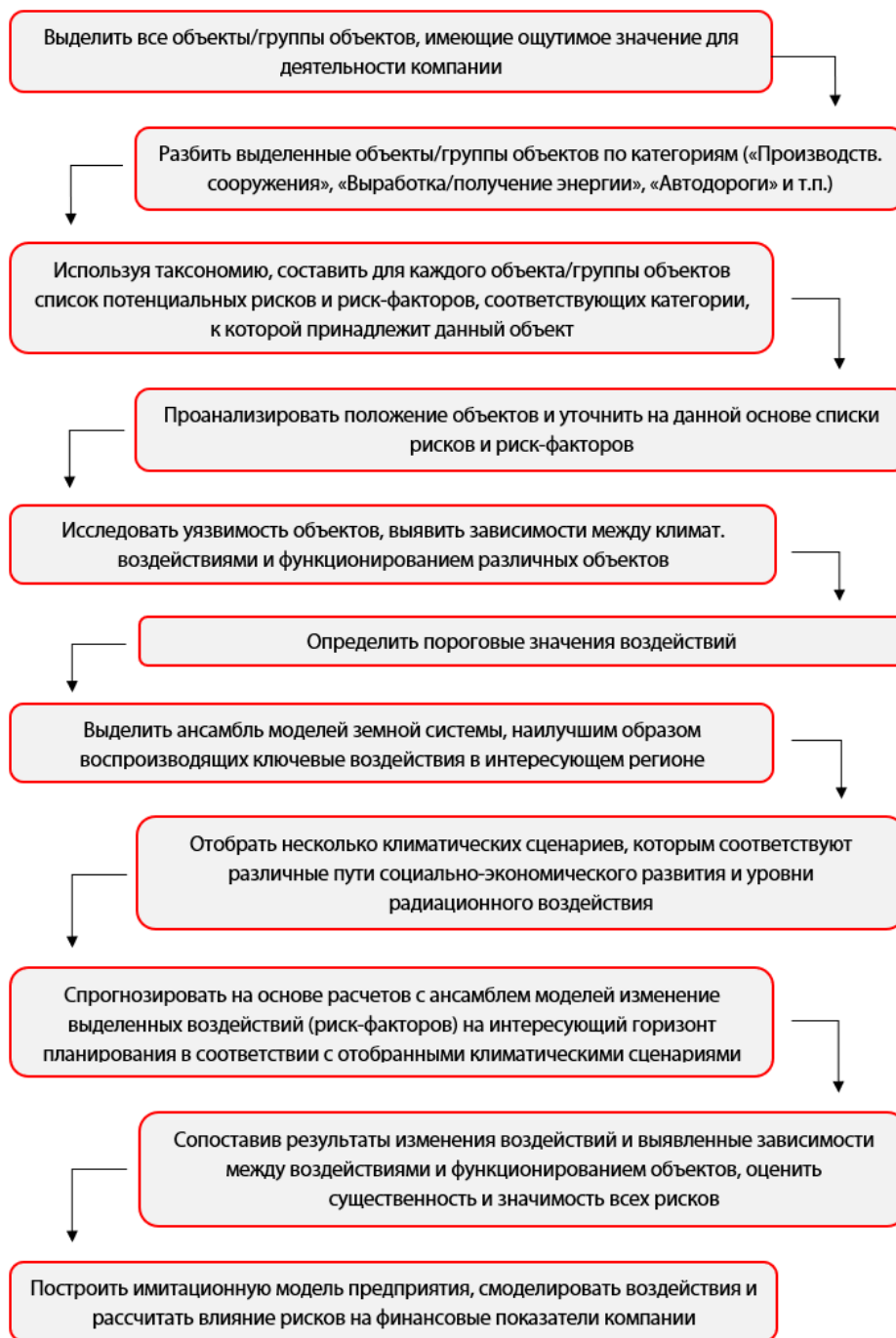


Рисунок 3. Порядок проведения оценки физических климатических рисков для коммерческих компаний.

Для групп объектов определяется широкий список рисков и риск-факторов (опасностей). Уточняется подверженность объектов, например, определяется и анализируется их географическое положение, в том числе относительно потенциальных источников негативного воздействия, таких как реки (наводнения), моря (штормовые

нагоны, затопление), лесные массивы и торфяники (природные пожары), горные склоны (сели и лавины), многолетнемерзлые грунты (таяние мерзлоты) и т.п., или относительно крупных городов, на которые данный объект может оказывать негативное воздействие (например, ухудшать качество воздуха), из-за чего его хозяйственная деятельность может быть ограничена.

Уязвимость объектов рассматривается как свойство объекта, повышающее вероятность появления ущерба (сбоя, отказа и т.д.) в случае 100 % реализации опасности. При анализе уязвимости устанавливается взаимосвязь между климатической опасностью и эффективностью функционирования подверженных объектов и блоков компании, максимально широко анализируются особенности объектов, которые делают их восприимчивыми (приводят к усилению негативных эффектов) к воздействиям внешней среды в контексте климатических изменений. Например, исследуются технические характеристики оборудования, устанавливаются доли уязвимых групп сотрудников, находятся зависимости между климатическими параметрами и выработкой и расходом энергии, уточняются потенциальные нарушения графика работы объектов по причине экстремальных явлений, формирования тех или иных метеорологических режимов и т.д.

Результатом анализа подверженности и уязвимости является уточненный список рисков и соответствующих риск-факторов, выявленные зависимости между климатическими воздействиями (риск-факторами), эффективностью функционирования объектов, подверженных воздействию этих риск-факторов, или величиной ущерба, наносимого таким объектам, уточненные пороговые значения климатической опасности. Далее, выявив ключевые для компании климатические риски и уточнив пороговые значения опасности, целесообразно определить ожидаемые изменения климатической опасности (повторяемости пороговых значений) на различных временных диапазонах и при разных сценариях и определить вероятность реализации риска (например, на качественном уровне, в баллах).

Для событий, интенсивность которых превышает пороговое значение воздействия, оценивается потенциальный максимальный ущерб, который может произойти при реализации физического климатического риска. Может оцениваться негативное влияние на выручку компании, на здоровье персонала, на окружающую среду, отдельно может оцениваться репутационный ущерб. Оценка может быть проведена качественно (ущербу может быть присвоен определенный балл) или количественно (например, в случае наличия имитационной модели предприятия).

В определенных случаях при отсутствии данных по ущербу (или при отсутствии причин, приведших к ущербу) и невозможности построения имитационных моделей предприятия, количественная оценка ожидаемых изменений повторяемости пороговых значений опасности может служить робастной оценкой физического климатического риска. Пример подобной оценки для одного из анализируемых объектов приведен на рисунке 4.

Также в условиях отсутствия подробной статистики по ущербу, препятствующего количественной оценке природных климатических рисков, может быть реализован подход по ранжированию объектов компании по степени риска. Подобный подход был реализован для субъектов Российской Федерации на примере нескольких рисков в работе (Макаров и Чернокульский, 2023), в том числе на примере влияния аномальной жары на население, влияния водного стресса на сельское хозяйство, а также интенсификации лесных пожаров.

Природный климатический риск в данной работе оценивался, как среднее геометрическое компонентов риска (опасности, подверженности и уязвимости). При этом компоненты характеризовались одним или несколькими индикаторами, которые нормировались на диапазон от нуля до единицы. В случае, если одну компоненту характеризовало несколько индикаторов, то проводилось их арифметическое осреднение. Подобный подход позволил ранжировать субъекты РФ по климатическим рискам и приоритизировать регионы по необходимости адаптации к рассмотренным рискам.

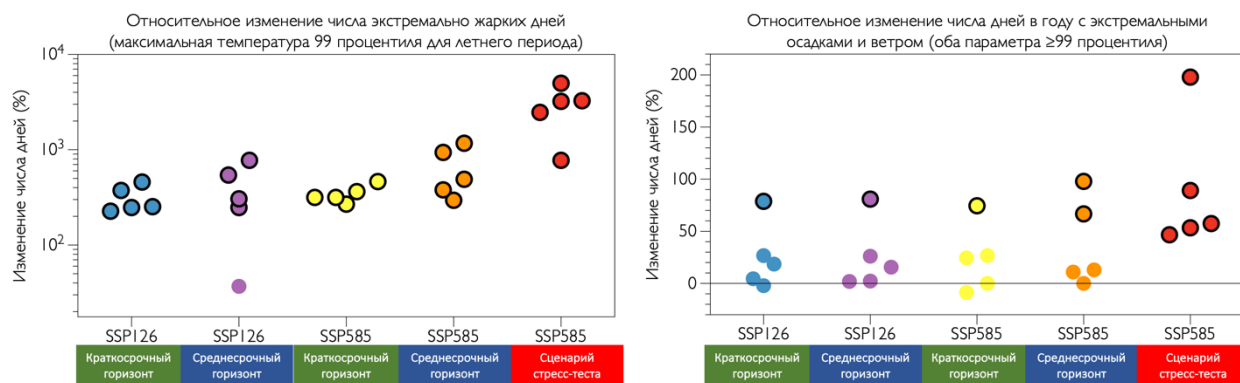


Рисунок 4. Пример количественной оценки физического климатического риска, производимой в приближении неизменности ущерба и максимальной уязвимости, при котором риск может быть оценен как ожидаемое изменение порогового значения опасности. Показаны относительные изменения факторов риска: аномальной жары в летний период (максимальная температура  $\geq 99$  перцентиля) (слева) и числа дней в году с событиями совместных экстремальных осадков и экстремального ветра (оба параметра  $\geq 99$  перцентиля) (справа). Пример выполнен для объекта в Центральном федеральном округе на основе 5 климатических моделей CMIP6, наилучшим образом воспроизводящих современный температурный режим и режим осадков в регионе (на основе сравнения с данными реанализа ERA5). Цветом показаны разные периоды и сценарии, кружки с черной обводкой соответствуют статистически значимым изменениям (на 95% уровне значимости). Показаны изменения в %, относительно периода 2001–2020, при этом краткосрочному горизонту соответствуют значения за 2021–2040 гг., среднесрочному — за 2041–2060 гг., сценарию стресс-теста — за 2091–2100 гг.

Результатом оценки рисков является *приоритизация рисков* и выбор соответствующей *стратегии по управлению* данными рисками. Например, такая приоритизация может быть проведена по вероятности реализации риска (существенности риска) и по максимально возможному потенциальному ущербу (значимости риска), оцененными качественно или количественно (рис. 5).

В зависимости от вероятности реализации риска и связанного с ним максимального потенциального ущерба, могут быть определены следующие стратегии управления рисками:

а) *действия не требуются* — подобная стратегия подразумевает, что анализируемый риск незначителен для компании (вероятность риска и потенциальный ущерб низкие), при такой стратегии необходима плановая переоценка рисков с определенной периодичностью (например, раз в 5 лет);

б) *реагирование по факту наступления риска* — подобная стратегия подразумевает, что анализируемый риск может нанести существенный ущерб, но его вероятность очень мала, что подразумевает нецелесообразность проведения адаптационных мероприятий, однако, у компании должны быть планы (протоколы) действий на случай реализации риска для минимизации связанных с ним последствий;

в) *мониторинг ситуации* — подобная стратегия целесообразна для достаточно частых событий, ущерб от которых незначителен, при такой стратегии важно наладить мониторинг ущерба и мониторинг факторов риска для исключения вероятности недооценки подобного риска (и попадания в более «верхние» квадранты);

г) *упреждающие действия* — стратегия выбирается для рисков с высокой вероятностью и с высоким потенциальным ущербом, что подразумевает незамедлительное проведение адаптационных мероприятий.



Рисунок 5. Пример приоритизации физических климатических рисков и выбор соответствующей стратегии по управлению данными рисками.

### Открытые вопросы в области оценки физических климатических рисков

Можно выделить следующие открытые научно-практические вопросы в области оценки физических климатических рисков:

- Фрагментарность (или полное отсутствие) данных по ущербу, что затрудняет оценку ущерба из-за климатических опасностей и формализацию функций ущерба для компаний, для разных отраслей экономики и регионов вследствие воздействия той или иной опасности;
- Отсутствие формализованных сценариев стресс-теста для компаний в зависимости от их рода деятельности и расположения;
- Ограничения использования модельных данных для оценки экстремальных явлений (с учетом особенностей воспроизведения мелкомасштабных процессов, разной чувствительности моделей и т.д.);
- Отсутствие понятных, однозначных и согласованных методик построения ансамбля «лучших» климатических моделей;
- Отсутствие математического аппарата для количественной оценки хронических физических климатических рисков (в данном контексте может быть использован подход (Гинзбург и др., 2022));



- Отсутствие понятных и измеряемых метрик для оценки эффективности мер по управлению рисками, в том числе по разработанным протоколам/планам действий, по внедренным системам мониторинга, по внедренным мероприятиям по адаптации.

### **Список литературы**

Гинзбург А.С., Александров Г.А., Чернокульский А.В. Климатические критерии необходимости превентивной адаптации // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2022, Т. 58, № 6, С. 626–637.

Макаров И.А., Чернокульский А.В. Влияние изменения климата на экономику России: рейтинг регионов по необходимости адаптации // Журнал Новой экономической ассоциации, 2023, № 4 (61). С. 145–202.

Чернокульский А. В., Лагошин А. В., Воронина Д. С. Оценка физических рисков изменения климата для компаний, М: ГЕОС, 2022. 36 с.