



Национальный исследовательский  
университет  
«Высшая школа экономики»

Международный центр  
анализа и выбора  
решений

Москва  
2024 г.

Семинар

Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля (ИГКЭ)

20.03.2024

# Концепция риска и принятия решений в условиях неопределённости. Чрезвычайные ситуации природного характера.

Научный сотрудник,  
к.т.н., Павел Павлович Хачикян

# Крупнейшие вымирания в истории Земли

## Геохронологическая шкала фанерозоя

Эра	Период	Начало периода, млн. лет назад
Кайнозойская	Четвертичный (антропогенный)	2,6
	Неогеновый	23,0
	Палеогеновый	65,5
Мезозойская	Меловой	145,5
	Юрский	199,6
	Триасовый	251
Палеозойская	Пермский	299
	Каменноугольный	359,2
	Девонский	416
	Силурийский	443,7
	Ордовикский	488,3
	Кембрийский	542

## Причины вымираний:

- геологические;
- климатические;
- биологические;
- астрофизические

65,5 млн. лет назад — Мел-палеогеновое вымирание — последнее массовое вымирание. Уничтожена 1/6 часть всех видов, в т.ч. динозавры

199,6 млн. лет назад — Триасовое вымирание — вымерла, по меньшей мере, половина известных сейчас видов, живших на Земле в то время

251,4 млн. лет назад — «Великое» пермское вымирание, самое массовое вымирание, исчезло более 95 % видов всех живых существ

364 млн. лет назад — Девонское вымирание — численность морских видов сократилась на 50 %

440 млн. лет назад — Ордовикско-силурийское вымирание — исчезло более 60 % видов морских беспозвоночных

# Крупнейшие вымирания в истории Земли

- Пять вымираний уже произошли
- Шестое вымирание – в процессе

Важнейшая цель: замедлить массовое вымирание и продлить жизнь большинства видов на планете

**Глобальные экологические риски** - глобальные угрозы для окружающей среды, которые могут иметь катастрофические последствия для планеты и ее жителей, затрагивают все сферы жизнедеятельности

**Факторы экологических рисков:**

1. Естественные (природно-климатические)
2. Деятельность человека (антропогенные): а) прямое; б) косвенное; в) случайное воздействие

**Взаимосвязь и влияние:**

Значительное влияние на социально-экономические и технологические риски

**Последствия в кратко и средне-срочной перспективе:**

Чрезвычайные ситуации, кризисы (в различных сферах), массовые жертвы, значительный материальный ущерб

**Последствия в долгосрочной перспективе:**

Массовые вымирания видов, прекращение жизни на планете



# Доклад ВЭФ 2024 (10.01.2024 г.)

## Актуальность глобальных экологических рисков

### ТОП-5 краткосрочных рисков (2 года):

1. Дезинформация
2. Стихийный бедствия и экстремальные погодные явления
3. Социальная поляризация
4. Кибербезопасность
5. Военные конфликты между государствами

### ТОП-5 долгосрочных рисков (10 лет):

1. Стихийный бедствия и экстремальные погодные явления
2. Крупномасштабные инциденты, которые наносят ущерб планете
3. Потеря биоразнообразия и коллапс экосистем
4. Кризис природных ресурсов
5. Дезинформация



# **13 октября - Международный день по снижению риска бедствий (ООН)**

## **Сендайская рамочная программа по уменьшению опасности бедствий (2015-2030) (ООН)**

### **Направления действий:**

1. Понимание риска бедствий
2. Укрепление системы управления рисками стихийных бедствий для управления рисками стихийных бедствий
3. Инвестирование в снижение риска бедствий для обеспечения устойчивости
4. Повышение готовности к стихийным бедствиям для эффективного реагирования и улучшения ситуации в восстановлении, реанимации и реконструкции

## **Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК ООН) от 1992 г.**

**Основная цель:** добиться стабилизации концентрации в атмосфере парниковых газов на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему планеты

**Такой уровень должен быть достигнут в сроки, достаточные для:**

1. Естественной адаптации экосистем к изменению климата
2. Позволяющие не ставить под угрозу производство продовольствия
3. Обеспечивающие дальнейшее экономическое развитие на устойчивой основе

В 2015 году 193 государства — члена ООН достигли консенсуса по итоговому документу новой повестки дня «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года»

## Цели в области устойчивого развития (ЦУР (SDGS), англ. Sustainable Development Goals) (ООН)





**Чрезвычайная ситуация** - это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, представляющего опасность для окружающих, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей\*

\*Федеральный закон "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера"

# Классификация ЧС

1. Биолого-социальные (инфекционная заболеваемость людей, инфекционная заболеваемость с/х животных, поражение с/х болезнями и вредителями, голод, терроризм)
2. Военные (военные конфликты (религиозные, межнациональные), войны)
3. Природные (землетрясения, цунами, наводнения, ураганы, засухи, оползни и др.)
4. Техногенные (радиационные, химические, биологические аварии, пожары и взрывы, обрушение сооружений, крушение (аварии), транспортных средств)
5. Экологические (литосферные, атмосферные, гидросферные, биосферные)

# Основные виды ЧС природного характера



Геофизические опасные явления (землетрясения, извержения вулканов)



Геологические опасные явления (оползни, сели, обвалы, лавины и пр.)



Метеорологические опасные явления (ураганы, бури, смерчи, засухи, заморозки и пр.)



Гидрологические опасные явления (цунами, наводнения, заторы, ветровые нагоны и пр.)



Природные пожары (лесные, торфяные)



Массовые инфекционные заболевания (людей, с/х животных и растений)



Космического происхождения (астероиды, кометы, метеориты, опасные движения небесных тел и их влияние на Землю)

**Глобальные экологические риски** – сложность оценки связана с тем, что большинство таких риск-событий находятся в поле глубокой неопределённости.

**Неопределённость (частичная)** — вероятные риски с прогнозируемыми последствиями.

Признак: значения ожидаемого результата носят вероятностный характер, взаимосвязи между критериями и показателями меры риска являются стохастическими, требуют установления взаимосвязей между началом события и последствиями (поиск взаимосвязей, зависимостей, влияние одних факторов на другие и конечный результат).

Поиск решения: модели распределения вероятностей, статистическое моделирование

**Глубокая (полная) неопределённость** — это маловероятные риски с недооцененными серьёзными последствиями.

Признак: значения ожидаемого результата не могут быть описаны в рамках вероятностных моделей.

Поиск решения: сценарное моделирование, оптимистические и пессимистические подходы принятия решений.

Риск-события в поле глубокой неопределённости также именуют *джокерами*.

*Джокеры* – это события с низкой вероятностью наступления, которые могут представлять серьёзные и глобальные последствия в будущем.

### **Основные характеристики джокеров:**

- частота проявления;
- скорость наступления, от которой зависит возможность прогнозирования сроков и масштаба последствий;
- время, когда джокер может проявиться (в кратко, средне или долгосрочной перспективе);
- причина наступления и уровень влияния человека на событие;
- число и понимание факторов.



## Эволюция уровней неопределённости

Полная определённость	Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3	Уровень 4	Уровень 5	Полное неведение	
	Контекст	Полностью определённое будущее (с восприимчивостью факторам)	Альтернативные варианты будущего (с вероятностями)	Альтернативные варианты будущего (ранжированные)	Множество вероятных вариантов будущего (не ранжированных)		Неизвестное будущее
	Модель системы	Модель единственной системы	Модель единственной системы с вероятностными параметрами	Модели нескольких систем, одна из которых наиболее вероятная	Модели нескольких систем с различной структурой		Неизвестная модель системы; знаем, что не знаем
	Результаты работы системы	Точка, определённая с доверительным интервалом	Несколько наборов точек с доверительными интервалами и вероятностью попадания в них	Несколько наборов точек, ранжированных по вероятности попадания в них	Известный диапазон результатов		Неизвестные результаты; знаем, что не знаем
	Значимость результатов работы системы	Единственная оценка весов	Несколько наборов весов, с вероятностью их реализации	Несколько наборов весов, ранжированных по вероятности их реализации	Известный диапазон весов		Неизвестные веса; знаем, что не знаем

# Основные факторы причин глобальных экологических рисков

**Изменение климата:** глобальное потепление, увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений, подъем уровня моря, изменения климатических условий, движение тектонических плит и др.

**Производственно-промышленные:** выбросы загрязняющих веществ, углеводородная проблема, углекислота в атмосфере, несчастные случаи на производствах и техногенные катастрофы.

**Агроэкологические:** вызваны сельскохозяйственной деятельностью, такой как использование пестицидов и удобрений, которые могут негативно влиять на почву и водные ресурсы.

**Биологические:** воздействие на биоразнообразие, включая инвазивные виды, потерю местообитаний и распространение заболеваний.

**Урбанизация:** урбанизация, рост городов, увеличение населения, в т.ч. связанное загрязнение воздуха, воды и почвы, а также проблемы с утилизацией отходов.

**Космические:** движение и действие космических тел (в т.ч. солнца), астероидная опасность.

# Основные направления деятельности по снижению глобальных экологических рисков

1. Выявление причин возникновения риск-событий
2. Повышение качества прогнозирования риск-событий
3. Исследование взаимосвязей рисков
4. Снижение воздействия факторов, ответственных за возникновение и развитие риск-событий
5. Выявление уязвимостей и повышение защищенности перед риск-событиями
6. Повышение внимания, готовности и осведомленности населения и государств к риск-событиям

# Исследования глобальных рисков (в т.ч. экологических):



**World Economic Forum (WEF)**  
**Всемирный экономический форум (ВЭФ)**



**World Bank Group**  
**Всемирный банк (Мировой банк)**



**International Monetary Fund (IMF)**  
**Международный валютный фонд (МВФ)**

**И иные организации:**

**(Организация Объединенных Наций (ООН), организации и программы учрежденные ООН: Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП), Всемирная метеорологическая организация (ВМО) и др.**



## **Оценки рисков МВФ, ВБ**

В отчетах МВФ и ВБ не содержится конкретных значений, необходимых для построения рейтингов, в связи с чем отчеты носят общий характер о текущих рисках и проблемах в мире, для дальнейшего анализа не применяются, в связи с чем больший интерес вызывают данные ВЭФ.



## **Оценки рисков ВЭФ**

Всемирный экономический форум (ВЭФ) проводит опросы с участием экспертов, чтобы составить рейтинг значимости и влияния глобальных рисков.



ВЭФ классифицировал 30 глобальных рисков по пяти различным категориям рисков: экономические, экологические, геополитические, социальные и технологические риски.

Основная проблема с использованием средних значений при глобальной оценке рисков - отсутствие информации о возможных значительных различиях во взглядах экспертов, что, в конечном счете, сказывается на достоверности результатов и может серьезно повлиять на эффективность процесса принятия решений в сфере управления рисками.



## **Подходы к оценке рисков и исследованию зависимостей между глобальными рисками**

1. Экспертные оценки при подготовке отчётов ВЭФ, МВФ, МБ и др.
2. Различные подходы, основанные на работе с отчётами ВЭФ (А. Qazi и M.K.S. Al - Mhdawi и др., построение Байесовской сети доверия и приоритизация рисков и пр.)
3. Применение методики оценки риска природопользования для оценки глобальных экологических рисков и другие работы на основании конкретных цифровых данных (Кузьмин С.Б. и др.)

# **Стратегические направления работы в области обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях**

- Прогнозирование
- Мероприятия по снижению негативных последствий ЧС

# Прогнозирование ЧС

- Прогнозирование наступления чрезвычайных ситуаций – опережающее отражение вероятности возникновения и развития ЧС на основе анализа возможных причин ее возникновения, ее источника в прошлом и настоящем\*

\*ГОСТ Р 22.1.02-95. Государственный стандарт Российской Федерации безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. // Постановление Госстандарта России от 21.12.1995 г. № 625

# Прогнозирование и последствия наступления чрезвычайных ситуаций природного характера



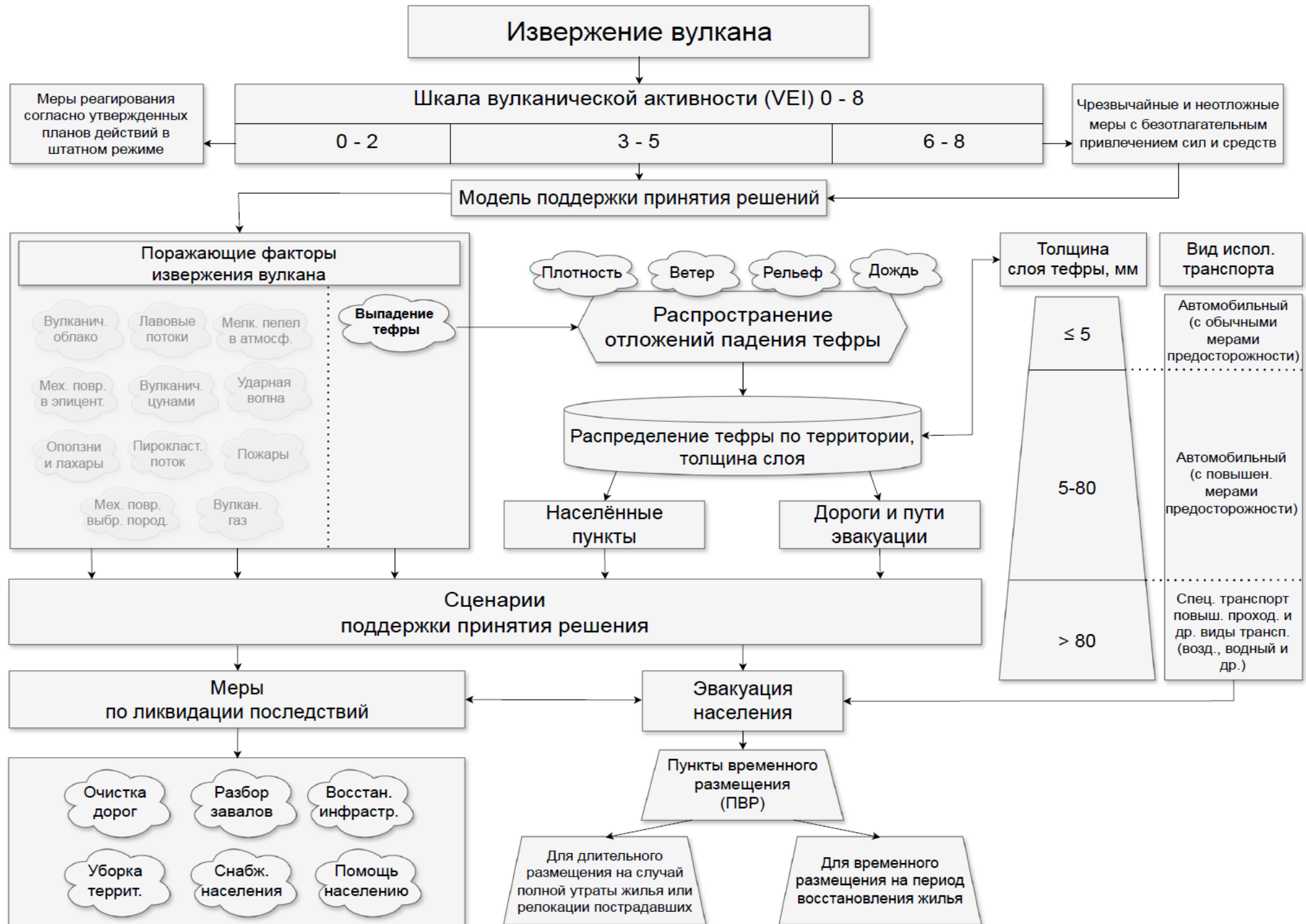
# Снижение негативных последствий чрезвычайных ситуаций природного характера

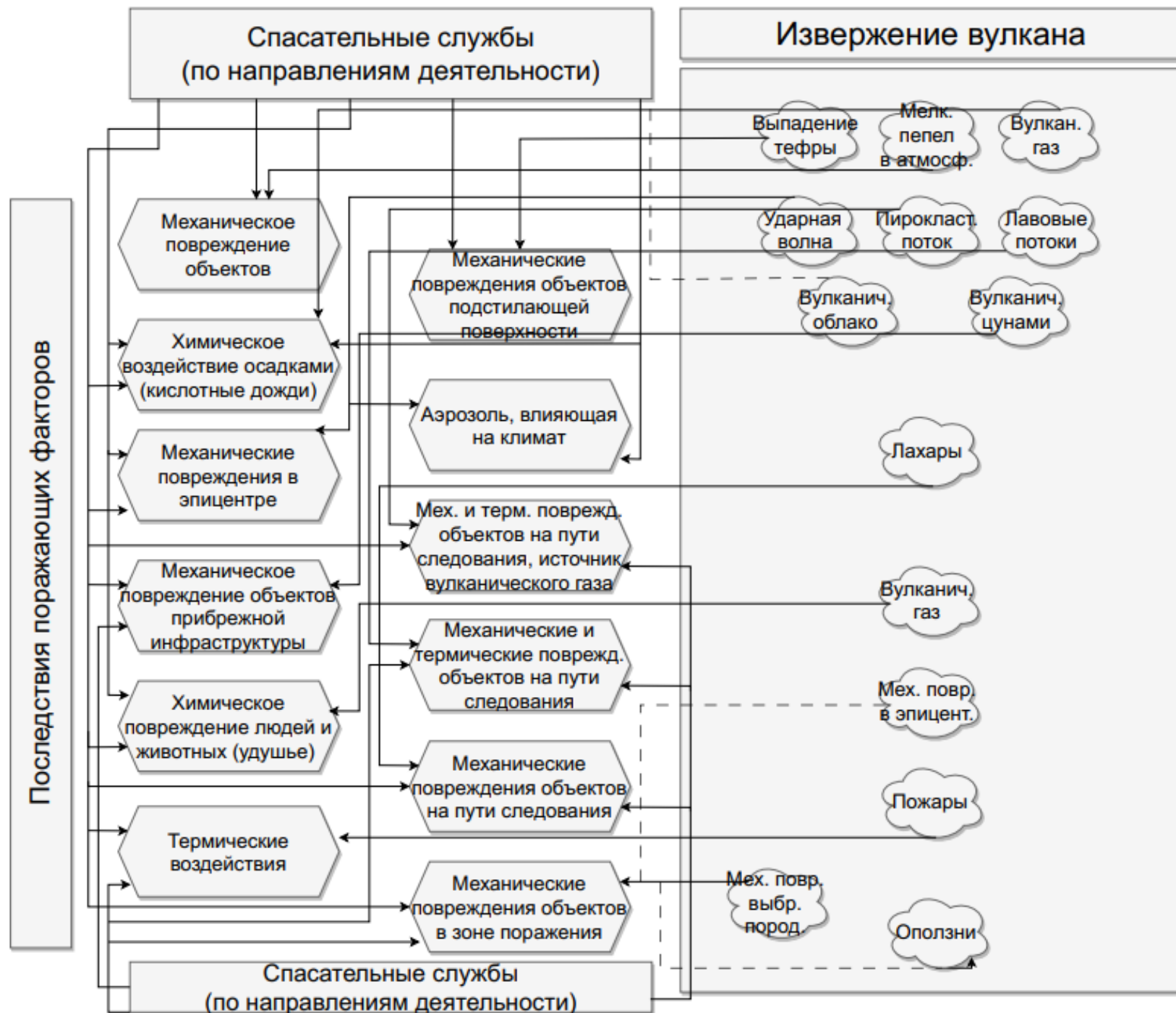
Современные инструменты принятия решений

в условиях неопределенности:

- Robust Decision Making (RDM)
- Multi-Objective Robust Decision Making (MORDM)
- Dynamic Adaptive Planning (DAP)
- Dynamic Adaptive Policy Pathways (DAPP)
- Info-gap (IG) decision theory
- Engineering Options Analysis (EOA)
- Decision Scaling (DS)
- Adaptation Tipping Point (ATP)
- Many-Objective Robust Optimization (MORO)
- Network analysis
- Data Envelopment Analysis (DEA)







# Модель поддержки принятия управленческих решений при наводнении

## Класс наводнения

Низкий уровень  
Высокий уровень  
↓  
Вода прибывает



## Сбор и обработка данных

- Население
  - 1. Высокая мобильность
  - 2. Низкая мобильность
- Подъездные пути и коммунал.
  - 1. Полностью уничтожены
  - 2. Пригодны для временного использования
- Здания и сооружения
  - 1. Подлежат восстановл.
  - 2. Не подлежат восстановл.
- Скорость снижения уровня воды

## Данные после предварительной обработки

Пункт временного размещения (ПВР)

## Сценарий наводнения

Особенности местности и ландшафта

Экспертные прогнозы и предположения

Прогноз погоды и сезонность

Скорость эвакуации

Мобильность населения

Скорость оповещения

Скорость реагирования служб спасения

### Число эвакуированного и спасённого населения



**Риск в сфере чрезвычайных ситуаций природного характера** – количественная величина возможности определенных негативных событий приносить вред человеку, мера опасности, характеризующая вероятность или частоту проявления опасности и последствий ее реализации за определенный промежуток времени.

**Риск** – сочетание вероятности и последствий наступления неблагоприятных событий.

### **Риски:**

- индивидуальный;
- коллективный;
- природный;
- технический и др.

### **Методы определения риска:**

- статистический;
- модельный;
- экспертный;
- социологический.

### **О приемлемом (допустимом) уровне риска:**

В странах Евросоюза принимаются как приемлемые значения индивидуального риска в интервале  $10^{-8}$  до  $10^{-4}$  в год. Индивидуальный риск больше  $10^{-4}$  в год повсеместно признается неприемлемым.

Например, в Нидерландах правительство законодательно установило величину максимально приемлемого уровня индивидуального риска -  $10^{-6}$  в год, т.е. вероятность гибели человека в течение года не должна превышать одного шанса из миллиона. Значение  $10^{-6}$  также установлено в случае с авиационными происшествиями и принято Международной организацией гражданской авиации (ИКАО).

# Риск-ориентированный подход

## Влияние надежности, качества и квалификации на риск

### Постановка задачи:

В регионе  $X$  произошло наводнение.

Возникла необходимость направить спасательные силы на проведение работ по эвакуации населения, ликвидации последствий и проведению иных вспомогательных мероприятий.

Спасательный отряд ( $S$ ) – условная система, в которую входят  $N$ -элементы (человеческий ресурс, технические средства и пр.).

Количество отрядов ограничено, в связи с чем предположим, что в наиболее ответственные зоны работ должны быть направлены наилучшие по своей квалификации силы. Между тем, количество недостаточно квалифицированных отрядов превосходит число квалифицированных.

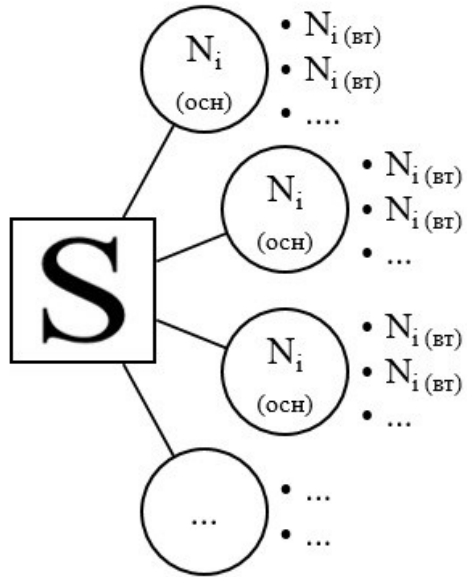
### Вопросы:

- Как фактически влияет надёжность и качество используемой техники, средств спасения, а также квалификация спасателей на успех спасательных мероприятий?
- Может ли большее количество спасательных отрядов недостаточно высокой квалификации заменить меньшее число квалифицированных отрядов?



# Риск-ориентированный подход

## Влияние надежности, качества и квалификации на риск



Спасательный отряд как система ( $S$ ) с элементами - основными ( $N_{осн}$ ) и второстепенными ( $N_{вт}$ )

В случае, если функционирование одного из элементов зависит от работы другого, будем рассматривать их в качестве одного элемента, при этом выход из строя лишь одного элемента может иметь последствия в виде жертв среди спасаемого населения. Далее рассматривается исключительно последовательная модель, при этом существование и применение параллельных моделей на практике в данных задачах не вызывает сомнений, однако не входит в рамки настоящего примера.

В связи с высокой ответственностью спасательных мероприятий, все элементы, входящие в структуру спасательного отряда ( $S$ ), представляют собой высоконадёжные элементы. Высоконадёжной будем считать такую систему и элемент, надёжность которой не менее заданной и для которой удовлетворяются качественные критерии надёжности. Значения каждой из  $P_i$  в таком случае должны быть близки к 1.



# Риск-ориентированный подход

## Влияние надежности, качества и квалификации на риск

Вероятность, что в течение времени ( $T$ ) элемент  $N_i$  будет функционировать без сбоев обозначим как  $P_j$ , при этом  $j = \overline{1, N}$ .

Время ( $T$ ), в течение которого элемент должен нормально функционировать, задается условным верхним уровнем иерархии по отношению к проверяемым элементам (нормативно-правовыми актами, должностной инструкцией, технической документацией и пр.).

Выражение  $R_j = (1 - P_j)$  обозначим как риск, при этом важно обратить внимание, что риск является функцией времени, но, крайне важно, чтобы в течение требуемого времени вероятность  $P_j$  не уменьшалась. Это требование проще соблюдается для технических средств (время безотказной работы, безсбойность функционирования и пр.), т.к. в случае с человеческим фактором, в действие вступает ряд как физиологических, так и психологических аспектов, которые напрямую зависят от утомляемости и истощения организма.

Согласно представленных обозначений вероятность успешной работы всех  $N$ -элементов системы ( $S$ ) будет определяться равенством:

$$P_{\Sigma} = 1 - \prod_{j=1}^N (1 - P_j) \quad (1)$$

Допустимый риск может находиться в установленных значениях, например как распространённый вариант с  $10^{-6}$ . Представим вероятность в следующем виде:

$$P_j = 10^{-n_j} \quad (2)$$

Тогда в соответствии с (1):

$$P_{\Sigma} = 1 - \prod_{j=1}^N (1 - 10^{-n_j}) = 10^{-M} \quad (3)$$

Выражение для риска, вероятности того, что, хотя бы один элемент не выполнил своей функции, в этом случае будет иметь вид:

$$R_{\Sigma} = 1 - 10^{-M} \quad (4)$$

Так как речь идет о высоконадёжных элементах, поэтому  $P_j$  имеет значения больше, чем 0,97-0,99. Риски в этом случае не превосходят единиц процентов, следовательно, параметры  $n_j$  имеют значения порядка 0,01-0,03.

# Риск-ориентированный подход

## Влияние надежности, качества и квалификации на риск

На **графике 1** показана зависимость величины риска  $R_{\Sigma}$  системы от числа одинаковых высоконадёжных элементов, вероятность выполнения ими своих функций соответственно была 0,97, 0,98 и 0,99.

Достаточно наглядно прослеживается существенный рост риска при увеличении числа элементов системы, особенно это заметно, что даже для очень высоконадёжных элементов ( $P=0,97$ ) при числе элементов 12, надёжность системы падает в 2 раза.

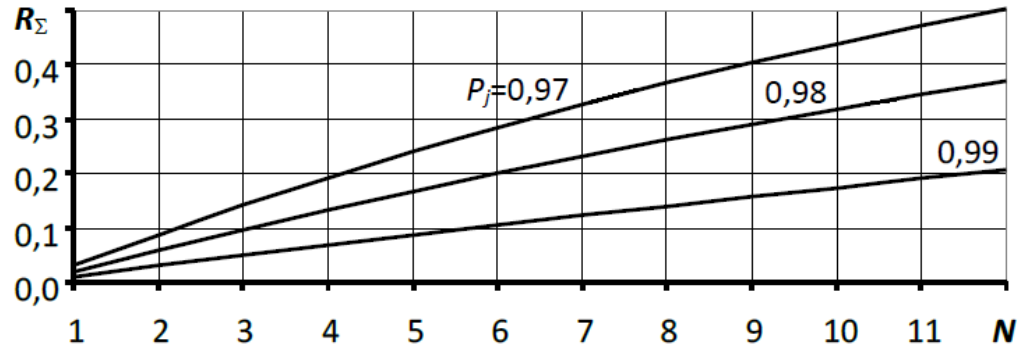


График 1. Зависимость риска  $R_{\Sigma}$  от числа элементов при одинаковых вероятностях надёжности  $P_j$

На **графике 2** представлена аналогичная зависимость для ситуации, когда с позиции надёжности все элементы отличаются друг от друга, между тем, влияние числа элементов на надёжность системы также достаточно наглядно.

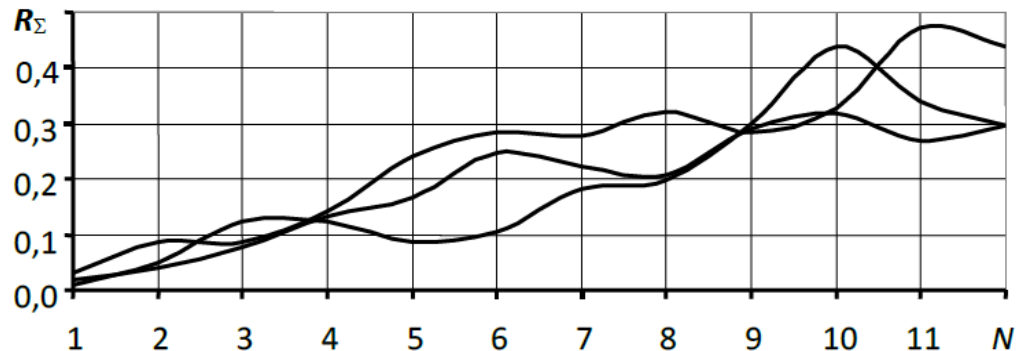


График 2. Зависимость риска  $R_{\Sigma}$  от числа элементов при их различных вероятностях надёжности  $P_j$

### Выводы:

Спасательные мероприятия на ответственных зонах работ должны производиться исключительно квалифицированными ( $P=0,98$  и выше) отрядами. Количество отрядов должно быть необходимо и достаточно для выполнения задачи, т.к. рост числа отрядов вызывает существенный рост риска даже, если привлекаются наиболее квалифицированные силы.

Привлечение спасательных отрядов недостаточно высокой квалификации недопустимо, т.к. риск (“цена”) ошибки в их действиях влияет на успех спасательных мероприятий, предотвращенные потери среди населения и материальный ущерб.

## Риск-ориентированный подход

### Функция полезности. Склонность к риску.

Деятельность в чрезвычайных ситуациях является ответственной, сопряжена с риском как для жизни сотрудников, отвечающих за спасательные мероприятия, так и самих спасаемых.

При действиях в условиях риска, наиболее важным является определение склонности к риску лиц, принимающих решения.

Склонность к риску ЛПР можно распределить по следующим категориям:

- а) не расположен к риску;
- б) нейтрален к риску;
- в) любит риск.

Склонность к риску рассматривается с точки зрения устоявшихся в теории игр понятий выигрышей и проигрышей, при которых особое значение приобретают понятия величина и вероятность выигрыша. Соответственно, математическое ожидание изображается в следующем виде :

$$U = \sum_{i=1}^n p_i x_i , \quad (1)$$

где  $U$  – функция полезности фон Неймана-Моргенштерна;

$x_i$  – величина выигрыша;

$p_i$  – вероятность выигрыша.

Учитывая, что речь идёт о лице, принимающем решение в условиях чрезвычайной ситуации, то есть о человеке со своим чувственным восприятием, моральными качествами и устоявшимися привычками, можно применить опыт Д. Бернулли в вопросах «морального ожидания».

В таком случае вместо величины положительного исхода  $x_i$  следует рассматривать функцию полезности по Бернулли  $u(x_i)$ , что позволяет отобразить ожидаемую математическую полезность в следующем виде:

$$U = \sum_{i=1}^n p_i u(x_i) \quad (2)$$

Представляется возможность сравнивать различные решения по отношению к риску исходя из сравнения полезности гарантированного выигрыша, соответствующего математическому ожиданию с математическим ожиданием полезности.

Полезность гарантированного выигрыша может быть больше, равна или меньше математическому ожиданию полезности, что в таком случае можно отобразить в следующем виде и определять принятые решения, которые:

а) не расположены к риску:

$$u\left(\sum_{i=1}^n p_i x_i\right) \geq \sum_{i=1}^n p_i u(x_i) \quad (3)$$

б) нейтральны к риску:

$$u\left(\sum_{i=1}^n p_i x_i\right) = \sum_{i=1}^n p_i u(x_i) \quad (4)$$

в) любят риск:

$$u\left(\sum_{i=1}^n p_i x_i\right) \leq \sum_{i=1}^n p_i u(x_i) \quad (5)$$

Следует также обратить внимание и на существующую практику математического выражения меры отношения к риску. Непринятие риска по Эрроу-Пратту описывается следующей функцией:

$$r(x) = -\frac{u''(x)}{u'(x)} \quad (6)$$

Для решений, которые не расположены к риску эта функция будет строго положительна. Для решений, обладающих склонностью к риску:  $r(x) < 0$  при всех  $x$ , а в случае лиц с нейтральным отношением к риску:  $r(x) = 0$ .

Теория перспектив («Prospect Theory») Д. Канемана и А. Тверски позволяет (в отличие от теории полезности) учитывать избегание рисков - достаточно распространенный психологический аспект, при котором человек может переоценивать маленькие вероятности и недооценивать большие. Теория перспектив также характеризуется возможностью фиксировать начальную точку - положение сторон из которого был получен дальнейший результат (а не текущее положение, без учёта зависимости от какой точки каждая из сторон пришла к этому положению, как это производится в теории полезности) что, безусловно, важно для понимания и точности моделирования уровня удовлетворённости результатом. Формула Канемана и Тверски (7) для вычисления возможной ценности решения, где решение с наибольшей ценностью будет выбрано как предпочтительное, выглядит следующим образом:

$$V = \sum_{i=1}^N \pi(p_i)v(x_i) \quad (7)$$

Пусть у решения  $A$  есть  $N$  возможных исходов, при этом каждый исход  $i$  имеет свою вероятность  $p_i$ .

$x_i$  – это значение исхода на горизонтальной оси функции ценности (ось убыток/прибыль), а  $v(x_i)$  сама функция ценности.

Функция  $\pi(p_i)$  – функция коррекции вероятности (субъективной вероятности), которая по Канеману и Тверски как раз и предполагает, что люди недооценивают большие вероятности, но, переоценивают маленькие.

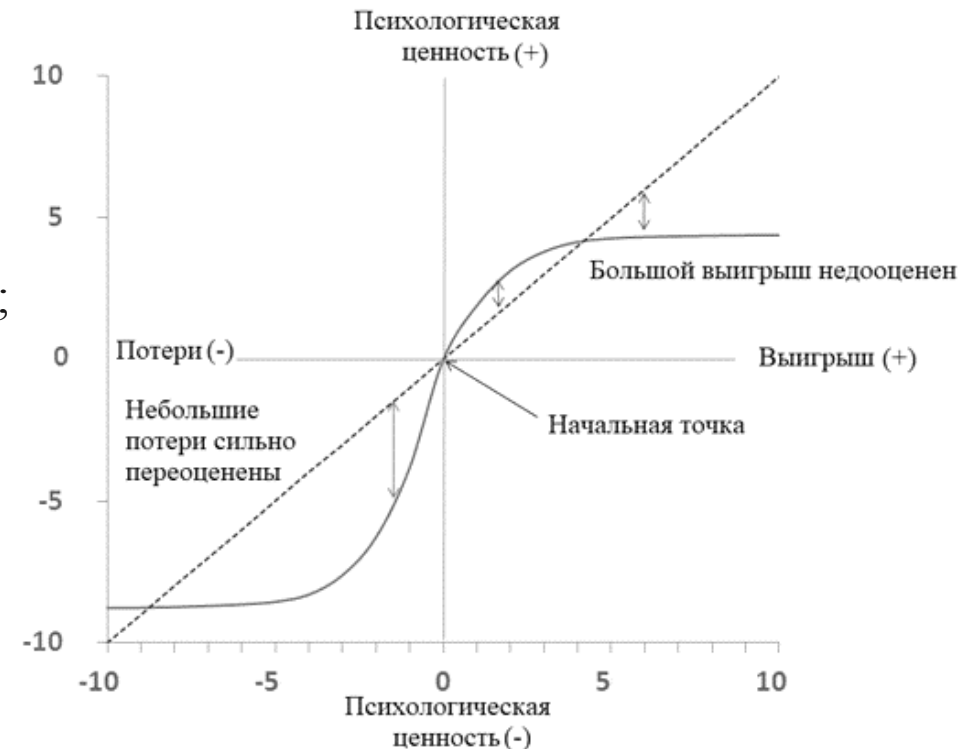
Таким образом:  $\pi(0.01)$  будет казаться больше, чем  $0.01$ , но  $\pi(0.99)$  будет казаться меньше, чем  $0.99$ . По Канеману и Тверски вероятность  $0.01$  это намного больше, чем вероятность  $0$ , при этом вероятности  $0.4$  и  $0.5$  обычно воспринимаются людьми как примерное одинаковые, при этом в качестве условной психологической границы раздела вероятностей «больше-меньше», авторы теории предлагают принимать число  $0.33$ . При этом следует выделить, что  $\pi(0) = 0$ , как и  $\pi(1) = 1$ , так как психологически человек не будет завышать ожидания того, что событие должно произойти, если оно гарантировано не может случиться, также и не будет занижать ожидания события, которое гарантированно произойдет.

Фактически, ценность избранного решения равна сумме произведений субъективной вероятности каждого исхода на значение этого исхода на функции ценности и чем выше ценность решения – тем больше её предпочтительность для лица, принимающего решение.

### Восприятие выигрыша и потери по теории перспектив

Характерными свойствами приведённой функции являются:

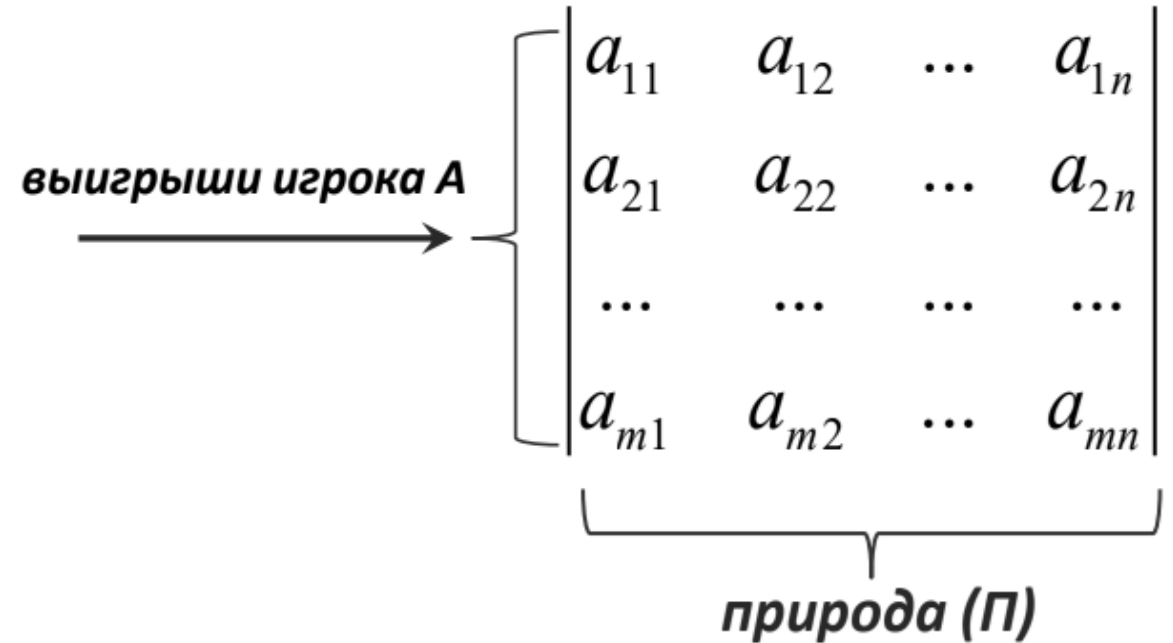
- асимметричное восприятие прибылей и потерь (потери воспринимаются примерно в 2 раза сильнее, чем выигрыши);
- различное отношение к риску при потерях и выгодах (неприятие риска в случае выгод и склонность к риску в случае потерь);
- наличие начальной точки отсчета для оценивания психологической ценности результата;
- оценивается только изменение, а не абсолютный уровень;
- искаженное восприятие вероятности.





# Теоретико-игровой подход к принятию решений в условиях неопределённости

При теоретико-игровом подходе существует некоторое количество игроков, у которых есть свои стратегии поведения. При выборе конкретной стратегии (принятию решения) – игрок может получить выигрыш. В случае с неопределенностями, существует модель игры, в которой осознанно действует только один из игроков – в таком случае, такие игры называются игрой с «Природой». «Природа» – это обобщенное понятие противника, не преследующего собственных целей в данном конфликте, хотя такую ситуацию конфликтом можно назвать лишь условно. Природа может принимать одно из своих возможных состояний и не имеет целью получение выигрыша. Игра с природой представляется в виде платежной матрицы, элементы которой – выигрыши игрока А, но не являются проигрышами природы П. Каждый элемент платежной матрицы  $a_{ij}$  – выигрыш игрока А при стратегии  $A_i$  в состоянии природы  $P_j$ .



Подобная матрица также называется матрицей стоимости или доходности, которая агрегирует информацию о возможной доходности вариантов стратегии при различных сценариях развития экономической ситуации.

# Теоретико-игровой подход к принятию решений в условиях неопределённости

Предположим, что лицо, принимающее решение, может выбрать одну из возможных альтернатив, обозначенных номерами  $i = 1, 2, \dots, m$

Ситуация является полностью неопределенной, т. е. известен лишь набор возможных вариантов состояний внешней (по отношению к лицу, принимающему решение) среды, обозначенных номерами  $j = 1, 2, \dots, n$ .

Если будет принято  $i$ -е решение, а состояние внешней среды соответствует  $j$ -й ситуации, то лицо, принимающее решение, получит доход  $a_{ij}$

Необходимо провести оценку риска в условиях, когда реальная ситуация неизвестна. Если игрок знает, что осуществляется  $j$ -е состояние природы, то выбрал бы наилучшее решение, то есть то, которое принесет наибольший выигрыш

$$b_j = \max(a_{ij}), j = 1, 2, \dots, n$$

Принимая  $i$ -е решение, игрок  $A$  рискует получить не  $b_j$ , а только  $a_{ij}$ , то есть, если игрок примет  $i$ -е решение, а в природе реализуется  $j$ -е состояние, то произойдет недополучение дохода в размере:  $r_{ij} = b_j - a_{ij} = a_{\max j} - a_{ij}$

(по сравнению с тем, как если бы игрок знал точно, что реализуется  $j$ -е

состояние природы, и выбрал бы решение, приносящее наибольший доход  $b_j = \max(a_{ij}), j = 1, 2, \dots, n$ )

$a_{ij}$  – значение показателя доходности варианта стратегии с максимальной доходностью из имеющихся  $i$ -ых вариантов при наступлении  $j$ -ого сценария развития событий

$a_{\max j}$  - значение показателя доходности  $i$ -ого варианта стратегии при наступлении  $j$ -ого сценария развития событий (элемент платежной матрицы).

Матрица рисков (сожалений) отражает риск реализации вариантов стратегии для каждой альтернативы развития событий (характеризует риск выбора определенного варианта стратегии).

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{i1} & \dots & r_{ij} & \dots & r_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & & r_{mj} & & r_{mn} \end{pmatrix} \quad \text{где } r_{ij} = b_j - a_{ij} = a_{\max j} - a_{ij}$$

# Теоретико-игровой подход к принятию решений в условиях неопределённости

## Постановка задачи:

Вулкан  $H$  расположен на территории  $X$  и, в случае извержения, может оказать негативное воздействие на территорию и население в радиусе  $Y$  км.

Пусть  $A_i$  ( $A_{1-4}$ ) – стратегии спасательных операций по эвакуации людей на территории  $X$  в радиусе  $Y$  км. от вулкана  $H$ .

Пусть  $\Pi_i$  ( $\Pi_{1-3}$ ) – сценарии извержения вулкана  $H$  (условная природа) и воздействия на территорию и население  $X$  в радиусе  $Y$  км.

Матрица  $A$  вероятностей удачного проведения спасательной операции известна.

Например, если будет использована стратегия  $A_1$  и сценарий извержения вулкана будет  $\Pi_3$ , то с вероятностью 0,60 эвакуация будет удачной. Аналогичный смысл имеют остальные элементы матрицы  $A$ .

**Вопросы:** Стратегий - 4, вариантов извержения вулкана 3 – какая стратегия “самая лучшая” для всех вариантов извержения вулканов? В каких случаях?

Матрица

$A_i$	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$
$A_1$	0.40	0.25	0.60
$A_2$	0.15	0.35	0.70
$A_3$	0.45	0.65	0.05
$A_4$	0.70	0.20	0.55

## Решение игр с природой в условиях неопределённости

**Определение наилучших (оптимальных) решений в условиях неопределенности с помощью критериев:**

1. Критерий Вальда
2. Критерий максимакса (оптимизма)
3. Критерий Сэвиджа
4. Критерий Байеса
5. Критерий Лапласа
6. Критерий Гурвица

# Теоретико-игровой подход к принятию решений в условиях неопределённости

**1. Критерий Вальда** (критерий гарантированного результата, максиминный критерий) позволяет выбрать наибольший элемент матрицы доходности из её минимально возможных элементов:

$$W = \max_i \min_j a_{ij},$$

$a_{ij}$  - элемент матрицы доходности.

Критерий Вальда предназначен для выбора из рассматриваемых вариантов стратегий варианта с наибольшим показателем эффективности из минимально возможных показателей для каждого из этих вариантов. Критерий обеспечивает максимизацию минимального выигрыша, который может быть получен при реализации каждого из вариантов стратегий. Критерий ориентирует лицо, принимающее решение, на **осторожную линию поведения**, направленную на получение дохода и минимизацию возможных рисков одновременно.

Применение критерия Вальда оправдано, если ситуация, в которой принимается решение, характеризуется следующими обстоятельствами:

- о вероятности наступления того или иного состояния природы ничего не известно;
- не допускается никакой риск;
- реализуется лишь малое количество решений.

# Теоретико-игровой подход к принятию решений в условиях неопределённости

По критерию Вальда за оптимальную принимается чистая стратегия, которая в наихудших условиях гарантирует максимальный выигрыш, т.е.  $a = \max(\min a_{ij})$ .

Критерий Вальда ориентирует статистику на самые неблагоприятные состояния природы, т.е. этот критерий выражает пессимистическую оценку ситуации.

$A_i$	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\min(a_{ij})$
$A_1$	0.40	0.25	0.60	0.25
$A_2$	0.15	0.35	0.70	0.15
$A_3$	0.45	0.65	0.05	0.05
$A_4$	0.70	0.20	0.55	0.20

Выбираем из (0.25; 0.15; 0.05; 0.20) максимальный элемент  $\max=0.25$

Вывод: выбираем стратегию  $A_1$



# Теоретико-игровой подход к принятию решений в условиях неопределённости

**2. Критерий максима** (критерий оптимизма) предназначен для выбора наибольшего элемента матрицы доходности из её максимально возможных элементов:

$$M = \max_i \max_j a_{ij},$$

Критерий оптимизма используется, когда ЛПР оказывается в безвыходном положении, когда любой его шаг равновероятно может оказаться как абсолютным выигрышем, так и полным провалом.

Данный критерий предполагает, что развитие ситуации будет благоприятным для лица, принимающего решение.

Вследствие этого, оптимальным выбором будет вариант с наибольшим значением показателя эффективности в матрице доходности.

# Теоретико-игровой подход к принятию решений в условиях неопределённости

Критерий максима ориентирует статистику на самые благоприятные состояния природы, т.е. этот критерий выражает оптимистическую оценку ситуации.

$A_i$	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\max(a_{ij})$
$A_1$	0.40	0.25	0.60	0.60
$A_2$	0.15	0.35	0.70	0.70
$A_3$	0.45	0.65	0.05	0.65
$A_4$	0.70	0.20	0.55	0.70

Выбираем из (0.60; 0.70; 0.65; 0.70) максимальный элемент  $\max=0.70$  – одинаковый элемент есть сразу у двух стратегий.

**Вывод: выбираем стратегию  $A_4$  или  $A_2$ .**

Комментарий: При этом, по логике критерия максима, более приоритетным следует назвать стратегию  $A_4$ , т.к. в этой стратегии есть и следующий  $\max$  элемент 0.55, тогда как у стратегии  $A_2$  следующий по  $\max$  элемент имеет значение лишь 0.35.

# Теоретико-игровой подход к принятию решений в условиях неопределённости

**3. Критерий Сэвиджа** (критерий минимаксного риска Сэвиджа) - выбор максимального элемента матрицы рисков из её минимально возможных элементов:

$$S = \min_i \max_j r_{ij},$$

Среди элементов матрицы рисков сначала выбирается максимальный риск при каждой стратегии, а затем из них выбирается минимальный. То есть в данном случае пессимистично настроенный игрок предполагает, что состояние природы будет таковым, что для любой его стратегии риск будет наибольшим, а стратегию выбирает такую, чтобы этот риск минимизировать.

Критерий Сэвиджа позволяет выбрать вариант стратегии с меньшей величиной риска по сравнению с более высоким, первоначально ожидаемым уровнем риска. Данный критерий ориентирует лицо принимающее решение на более благоприятное развитие ситуации по сравнению с наихудшим состоянием, на которое то рассчитывало вначале.

# Теоретико-игровой подход к принятию решений в условиях неопределённости

Критерий минимального риска Севиджа рекомендует выбирать в качестве оптимальной стратегии ту, при которой величина максимального риска минимизируется в наихудших условиях, т.е. обеспечивается:  $a = \min(\max r_{ij})$ . Критерий Севиджа ориентирует статистику на самые неблагоприятные состояния природы, т.е. этот критерий выражает пессимистическую оценку ситуации. Находим матрицу рисков.

Риск – мера несоответствия между разными возможными результатами принятия определенных стратегий. Максимальный выигрыш в  $j$ -м столбце  $b_j = \max(a_{ij})$  характеризует благоприятность состояния природы.

Рассчитываем 1-й столбец матрицы рисков.

$$r_{11} = 0.70 - 0.40 = 0.3; r_{21} = 0.70 - 0.15 = 0.55;$$

$$r_{31} = 0.70 - 0.45 = 0.25; r_{41} = 0.70 - 0.70 = 0;$$

2. Рассчитываем 2-й столбец матрицы рисков.

$$r_{12} = 0.65 - 0.25 = 0.4; r_{22} = 0.65 - 0.35 = 0.3;$$

$$r_{32} = 0.65 - 0.65 = 0; r_{42} = 0.65 - 0.20 = 0.45;$$

3. Рассчитываем 3-й столбец матрицы рисков.

$$r_{13} = 0.70 - 0.60 = 0.1; r_{23} = 0.70 - 0.70 = 0;$$

$$r_{33} = 0.70 - 0.05 = 0.65; r_{43} = 0.70 - 0.55 = 0.15;$$



Исходная матрица

$A_i$	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$
$A_1$	0.40	0.25	0.60
$A_2$	0.15	0.35	0.70
$A_3$	0.45	0.65	0.05
$A_4$	0.70	0.20	0.55



Матрица рисков

$A_i$	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\max(a_{ij})$
$A_1$	0.3	0.4	0.1	0.4
$A_2$	0.55	0.3	0	0.55
$A_3$	0.25	0	0.65	0.65
$A_4$	0	0.45	0.15	0.45

Выбираем из (0.4; 0.55; 0.65; 0.45)

минимальный элемент  $\min=0.4$

**Вывод: выбираем стратегию  $A_1$**

# Теоретико-игровой подход к принятию решений в условиях неопределённости

## 4. Критерий Байеса

По критерию Байеса за оптимальные принимается та стратегия (чистая)  $A_i$ , при которой максимизируется средний выигрыш  $a$  или минимизируется средний риск  $r$ .

Установим условные значения  $p_j$

$$p_1 = 0.50$$

$$p_2 = 0.70$$

$$p_3 = 0.40$$

Считаем значения  $\sum(a_{ij}p_j)$

$$\sum(a_{1,j}p_j) = 0.40 \cdot 0.50 + 0.25 \cdot 0.70 + 0.60 \cdot 0.40 = 0.615$$

$$\sum(a_{2,j}p_j) = 0.15 \cdot 0.50 + 0.35 \cdot 0.70 + 0.70 \cdot 0.40 = 0.6$$

$$\sum(a_{3,j}p_j) = 0.45 \cdot 0.50 + 0.65 \cdot 0.70 + 0.05 \cdot 0.40 = 0.7$$

$$\sum(a_{4,j}p_j) = 0.70 \cdot 0.50 + 0.20 \cdot 0.70 + 0.55 \cdot 0.40 = 0.71$$



Исходная матрица

$A_i$	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$
$A_1$	0.40	0.25	0.60
$A_2$	0.15	0.35	0.70
$A_3$	0.45	0.65	0.05
$A_4$	0.70	0.20	0.55



Матрица с  $p_j \sum(a_{ij}p_j)$

$A_i$	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\sum(a_{ij}p_j)$
$A_1$	0.2	0.175	0.24	0.615
$A_2$	0.075	0.245	0.28	0.6
$A_3$	0.225	0.455	0.02	0.7
$A_4$	0.35	0.14	0.22	0.71
$p_j$	0.50	0.70	0.40	

Выбираем из (0.615; 0.6; 0.7; 0.71)

максимальный элемент  $\max=0.71$

**Вывод: выбираем стратегию  $A_4$**

# Теоретико-игровой подход к принятию решений в условиях неопределённости

## 5. Критерий Лапласа

Если вероятности состояний природы правдоподобны, для их оценки используют принцип недостаточного основания Лапласа, согласно которого все состояния природы полагаются равновероятными, т.е.:

$$P_1 = P_2 = \dots = P_n = 1/n.$$

$$P_i = 1/3$$

$$p_j = 0.333$$



Считаем значения  $\sum(a_{ij})$

$$\sum(a_{1j}) = 0.40 \cdot 0.333 + 0.25 \cdot 0.333 + 0.60 \cdot 0.333 = 0.4163$$

$$\sum(a_{2j}) = 0.15 \cdot 0.333 + 0.35 \cdot 0.333 + 0.70 \cdot 0.333 = 0.4$$

$$\sum(a_{3j}) = 0.45 \cdot 0.333 + 0.65 \cdot 0.333 + 0.05 \cdot 0.333 = 0.3837$$

$$\sum(a_{4j}) = 0.70 \cdot 0.333 + 0.20 \cdot 0.333 + 0.55 \cdot 0.333 = 0.4827$$

Исходная матрица

$A_i$	$P_1$	$P_2$	$P_3$
$A_1$	0.40	0.25	0.60
$A_2$	0.15	0.35	0.70
$A_3$	0.45	0.65	0.05
$A_4$	0.70	0.20	0.55



Матрица  $\sum(a_{ij})$

$A_i$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$\sum(a_{ij})$
$A_1$	0.133	0.0833	0.2	0.4163
$A_2$	0.05	0.117	0.233	0.4
$A_3$	0.15	0.217	0.0167	0.3837
$A_4$	0.233	0.0667	0.183	0.4827
$p_j$	0.333	0.333	0.333	

Выбираем из (0.4163; 0.4; 0.3837; 0.4827)

максимальный элемент  $\max=0.4827$

**Вывод: выбираем стратегию  $A_4$**



# Теоретико-игровой подход к принятию решений в условиях неопределённости

**6. Критерий Гурвица** является критерием пессимизма - оптимизма.

За оптимальную принимается та стратегия, для которой выполняется соотношение:

$$\max(s_i), \text{ где } s_i = y \min(a_{ij}) + (1-y)\max(a_{ij})$$

При  $y = 1$  получим критерий Вальда, при  $y = 0$  получим – оптимистический критерий (максимакс).

Критерий Гурвица учитывает возможность как наихудшего, так и наилучшего для человека поведения природы. Как выбирается  $y$ ? Чем хуже последствия ошибочных решений, тем больше желание застраховаться от ошибок, тем  $y$  ближе к 1.

Зададим значение пессимизма  $y = 0.5$

Рассчитываем  $s_i$ .

$$s_1 = 0.5*0.25+(1-0.5)*0.60 = 0.425$$

$$s_2 = 0.5*0.15+(1-0.5)*0.70 = 0.425$$

$$s_3 = 0.5*0.05+(1-0.5)*0.65 = 0.35$$

$$s_4 = 0.5*0.20+(1-0.5)*0.70 = 0.45$$

Выбираем из (0.425; 0.425; 0.35; 0.45)

максимальный элемент  $\max=0.45$

**Вывод: выбираем стратегию  $A_4$**

$A_i$	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\min(a_{ij})$	$\max(a_{ij})$	$y \min(a_{ij}) + (1-y)\max(a_{ij})$
$A_1$	0.40	0.25	0.60	0.25	0.60	0.425
$A_2$	0.15	0.35	0.70	0.15	0.70	0.425
$A_3$	0.45	0.65	0.05	0.05	0.65	0.35
$A_4$	0.70	0.20	0.55	0.20	0.70	0.45

# Теоретико-игровой подход к принятию решений в условиях неопределённости

Решения, полученные

с помощью различных критериев:

№ п/п	Критерий	Стратегия
1.	Критерий Вальда	$A_1$
2.	Критерий максимакса (оптимизма)	$A_4$ или $A_2$
3.	Критерий Сэвиджа	$A_1$
4.	Критерий Байеса	$A_4$
5.	Критерий Лапласа	$A_4$
6.	Критерий Гурвица	$A_4$

Исходная матрица

$A_i$	$P_1$	$P_2$	$P_3$
$A_1$	0.40	0.25	0.60
$A_2$	0.15	0.35	0.70
$A_3$	0.45	0.65	0.05
$A_4$	0.70	0.20	0.55

Как правило, наиболее предпочтительной считают стратегию, на которую указало большинства критериев (в нашем случае -  $A_4$ ).

Тем не менее, при принятии окончательного решения необходимо оценивать все имеющиеся доводы и взаимосвязи, рассматривать и менее предпочтительные стратегии, в зависимости от реальной сложившейся ситуации.

## Существующие проблемы и направления дальнейшей работы в сфере глобальных экологических рисков

- Существует масштабная проблема недостаточного внимания государств и населения к глобальным экологическим рискам.
- Отсутствие полных и актуальных данных в единообразном виде в области глобальных экологических рисков с разделением по странам.
- Отчёты ВЭФ, МВФ, ВБ носят обобщённый и усредненный характер, построены исключительно на экспертных оценках. Оценка рисков не должна основываться исключительно на экспертных оценках.
- Существует научный пробел в изучении зависимостей между глобальными экологическими рисками (внутри самого перечня этих рисков), а также между этими рисками и социально-экономическими и технологическими рисками. Влияние экологических рисков практически всегда оценивается как высокое, однако не подкреплено цифровыми значениями взаимосвязей.
- Существует научный пробел в оценках влияния неопределенности как на наступление глобальных экологических риск-событий, так и их влияние на другие виды рисков.

## **Основные направления работы по совершенствованию прогнозирования и снижению негативных последствий чрезвычайных ситуаций**

- Создание единого банка данных входных параметров
- Автоматизация сбора и обновления банка данных из БД всех органов власти
- Разработка современных инструментов сценарного анализа и планирования, развитие применения математических моделей и методов, разработка специализированного ПО
- Обеспечение полной интеграции и обмена данными между информационно-аналитическими системами и системами поддержки принятия решений
- Использование интуитивно понятного пользовательского интерфейса ПО и выдача результатов в доступном для конечного пользователя виде

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бараш М.С. Причины массовых вымираний в фанерозое // Геология морей и океанов. Мат-лы XX Межд. школы по морской геологии, Москва, Институт океанологии РАН, 2013. С.150-154.
2. Снакин В.В. Вымирание видов // Жизнь Земли. 2017. №3. С. 321-337.
3. Хачикян П. П. Философские аспекты роли научно-технического прогресса // В кн.: Инновационные технологии в науке и образовании: сборник статей XIV Международной научно-практической конференции, состоявшейся 15 декабря 2019 г. в г. Пенза. Пенза: Наука и Просвещение, 2019. С. 97-100.
4. United Nations. Организация Объединенных Наций (ООН). Официальный веб-сайт. // <https://www.un.org/ru/> (дата обращения: 09.01.2024).
5. United Nations. Организация Объединенных Наций (ООН). Генеральная Ассамблея - Двадцатая сессия. Резолюции, принятые по докладам Третьего комитета. 2034(XX).07 декабря 1965 г. Официальный веб-сайт // <https://documents-dds-ny.un.org/doc/RESOLUTION/GEN/NR0/220/47/PDF/NR022047.pdf?OpenElement> (дата обращения: 09.01.2024).
6. United Nations. UN Office for Disaster Risk Reduction, UNDRR // <https://www.undrr.org/> (дата обращения: 11.01.2024).
7. United Nations. Организация Объединенных Наций (ООН). К 2030 году в мире будет происходить около 560 стихийных бедствий в год. Официальный веб-сайт. 13.10.2023 г. // <https://news.un.org/ru/story/2023/10/1445762> (дата обращения: 09.01.2024).
8. Weather-related disasters increase over past 50 years, causing more damage but fewer deaths. World Meteorological Organization (WMO). 31.08.2021. // <https://public-old.wmo.int/en/media/press-release/weather-related-disasters-increase-over-past-50-years-causing-more-damage-fewer> (дата обращения: 18.12.2023).
9. Kuhl L., Ahmed I., Rahman F. M., Shinn J., Arango-Quiroga J., Huq S. Climate loss-and-damage funding: how to get money to where it's needed fast. Nature, vol. 623, 23.11.2023. P. 693-695.
10. United Nations. Организация Объединенных Наций (ООН). Департамент по экономическим и социальным вопросам. Устойчивое развитие. // <https://sdgs.un.org/ru> (дата обращения: 11.01.2024).

## ЛИТЕРАТУРА

11. Кобыляцкая И.А., Шкатова Е.Ю., Мохова Л.Я., Филимонов А.М., & Медведев М.С. Актуальные вопросы работы специальных служб по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций в зарубежных странах // Вестник современной клинической медицины, 12 (4), 2019. С. 59-63.
12. ГОСТ Р 22.1.02-95. Государственный стандарт Российской Федерации безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. // Постановление Госстандарта России от 21.12.1995 г. №625.
13. Marchau Vincent A. W. J., Walker Warren E., Bloemen Pieter J. T. M., Popper Steven W. (2019) (edit.). Decision Making under Deep Uncertainty: From Theory to Practice. Springer - 405 pp.
14. Rahman S. A., Walker W. E., & Marchau V. A. W. J. (2008). Coping with uncertainties about climate change in infrastructure planning: An adaptive policymaking approach. Rotterdam: Ecorys
15. Agusdinata D.B., Marchau V. A.W. J. & Walker W. E. (2007). Adaptive policy approach to implementing intelligent speed adaptation. IET Intelligent Transport Systems (ITS), 1(3), 186–198.
16. Marchau V. A. W. J., Walker W. E., & van Duin, R. (2008). An adaptive roach to imple-menting innovative urban transport solutions. Transport Policy, 15(6), p. 405–412.
17. Marchau V. A.W. J., Walker W. E., & van Wee G. P. (2010). Dynamic adaptive transport policies for handling deep uncertainty. Technological Forecasting and Social Change, 77, 940–950.
18. Aleskerov F., Sergeeva Z., and Shvydun S. (2017). Assessment of Exporting Economies In-fluence on the Global Food Network, in Optimization Methods and Applications, S. Butenko et al. (eds.) // Springer Optimization and Its Applications 130, Springer International Publishing AG, p. 1-10
19. Aleskerov F. T. Demin S.S. (2021). DEA for the Assessment of Regions' Ability to Cope with Disasters // Dynamics of Disasters. Impact, Risk, Resilience, and Solutions. Vol. 169. p. 31-37.
20. Demin S.S., Aleskerov F. T. (2018). Modelling Possible Oil Spills in the Barents Sea and their Consequences // Dynamics of Disasters. Ch. 2. p. 47-56.

## ЛИТЕРАТУРА

21. Постановлением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2003 г. № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций». 30.12.2003 г.
22. Путинцева Е.Н., Воронцова А.А., Лобова С.Ф. Совершенствование программно-технических средств систем ЦУКС территориальных органов МЧС России // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 3 (47). С. 29–35. DOI: 10.61260/2307-7476-2023-3-29-35.
23. Максимов А.В. Анализ применяемых информационных систем в пожарно-спасательных подразделениях МЧС России // Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Т. 2. СПб.: Петровская акад. наук и искусств, 2019. С. 30–33.
24. Национальный центр управления в кризисных ситуациях МЧС России. <http://www.mchs.gov.ru/>. (дата обращения: 11.01.2024).
25. Концепция развития системы управления МЧС России до 2030 года (утв. решением Коллегии МЧС России от 5 декабря 2014 г. № 15/III).
26. Щепин П. А., Метлушин С. В., Урванцева С. В., Широбоков С. В. Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций // Ижевск: Удмуртский университет, 2011. С. 8-10.
27. Р.И. Песков. Основные используемые в МЧС России информационные системы // Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности". Выпуск № 2 (72), 2017 г. С. 1-10.
28. Задорожная М.С. "Некоторые проблемы единой системы предупреждения чрезвычайных ситуаций" // Международный журнал гуманитарных и естественных наук, № 10-2, 2020. С. 99-102. doi:10.24411/2500-1000-2020-11126
29. Долгин Н.Н. "О некоторых проблемах развития единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны" // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования, Выпуск 2, №. 2, 2012. С. 560-573.
30. Аппаратно-программный комплекс "Безопасный город". МЧС России. <https://mchs.gov.ru/dokumenty/gosudarstvennyye-i-federalnyye-celevye-vedomstvennyye-programmy/apparatno-programmnyy-kompleks-bezopasnyy-gorod?ysclid=lrqa5us8un728983228> (дата обращения: 12.01.2024).



## ЛИТЕРАТУРА

31. «Безопасный город»: первые итоги и перспективы развития. МЧС России. <https://mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/novosti/1426236> (дата обращения: 12.01.2024).
32. Концепция АПК Безопасный город. Интернет-ресурс. <https://kit.volgograd.ru/current-activity/cooperation/news/66318/> (дата обращения: 13.01.2024).
33. Агеев С.В, Чухров И.П., Нехорошев С.Н., Попов А.П. "Специальное программное обеспечение планирования действий при ликвидации ЧС системы поддержки принятия решений" // Технологии гражданской безопасности, Т. 4, № 3, 2007. С. 29-35.
34. Васильев В.И., Пестриков В.А., Красько А.С. "Интеллектуальная поддержка принятия решений в экстремальных ситуациях на основе вывода по прецедентам" // Известия Южного федерального университета. Технические науки, №. 85, 8, 2008. С. 7-14.
35. Крошилин А.В., Бабкин А.В., Крошилина С.В. "Особенности построения систем поддержки принятия решений на основе нечёткой логики" // Информатика, телекоммуникации и управление, №. 2 (97), 2010. С. 58-63.
36. Алескеров Ф.Т., Андриюшина Н.А., Хуторская О.Е., Якуба В.И. Консультационная система оценки удовлетворенности населения деятельностью администрации региона // Проблемы управления. 2007. С. 9-14.
37. P. J. Schneider, B. A. Schauer. HAZUS-its development and its future. *Natural Hazards Review* 7(2). 05.2006. DOI:10.1061/(ASCE)1527-6988(2006)7:2(40)
38. Yildirim, Enes. "Hazardus-MH flood loss estimation on a web-based system." MS (Master of Science) thesis, University of Iowa, 2017. <https://doi.org/10.17077/etd.18d7eydp>
39. Aleskerov F., Sergeeva Z., and Shvydun S. (2017). Assessment of Exporting Economies Influence on the Global Food Network, in *Optimization Methods and Applications*, S. Butenko et al. (eds.) // Springer Optimization and Its Applications 130, Springer International Publishing AG, p. 1-10
40. Aleskerov F. T. Demin S.S. (2021). DEA for the Assessment of Regions' Ability to Cope with Disasters // *Dynamics of Disasters. Impact, Risk, Resilience, and Solutions*. Vol. 169. p. 31-37.
41. Demin S.S., Aleskerov F. T. (2018). Modelling Possible Oil Spills in the Barents Sea and their Consequences // *Dynamics of Disasters*. Ch. 2. p. 47-56.

## ЛИТЕРАТУРА

42. Walker W.E., Lempert R. J., Kwakkel J.H. Deep Uncertainty // Encyclopedia of Operations Research and Management Science. New York: Springer, 2013 P. 395–402 DOI: 10 1007/978- 1-4419-1153-7\_1140
43. Шипкова О.Т., Акимова Е.Н., Шатаева О.В. Инструменты планирования и принятия решений в условиях глубокой неопределённости как основа проактивной позиции экономического субъекта // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2022. № 2 С.127–141. DOI: 10 18384/2310-6646-2022-2-127-141
44. Rahman, S. A., Walker, W. E., & Marchau, V. A. W. J. (2008). Coping with uncertainties about climate change in infrastructure planning: An adaptive policymaking approach. Rotterdam: Ecorys
45. Marchau, V. A. W. J., Walker, W. E., & van Duin, R. (2008). An adaptive roach to implementing innovative urban transport solutions. Transport Policy, 15(6), 405–412
46. Marchau, V. A.W. J., Walker, W. E., & vanWee, G. P. (2010). Dynamic adaptive transport policies for handling deep uncertainty. Technological Forecasting and Social Change, 77, 940–950.
47. Agusdinata, D.B., Marchau, V. A.W. J. & Walker, W. E. (2007). Adaptive policy approach to implementing intelligent speed adaptation. IET Intelligent Transport Systems (ITS), 1(3), 186–198.
48. Программа курса «Специальные главы теории принятия решений», Международный центр анализа и выбора решений (МЦАВР) НИУ ВШЭ. <https://www.hse.ru/ba/bi/courses/646476187.html?ysclid=lguid58of586653943> , электронный ресурс, дата обращения: 03.03.2024.
49. Дж. фон Нейман, О. Моргенштерн. Теория игр и экономическое поведение». — М.: «Наука», 1970. — 707 с.
50. Бернулли Д. Опыт новой теории измерения жребия // Теория потребительского поведения и спроса. — СПб.: Экономическая школа, 1993. — 380 с.
51. Pratt J. W. Risk Aversion in the Small and in the Large. Econometrica, 1964, Vol. 32, no. 1-2, pp. 122-136.
52. Arrow, K.J. The theory of risk aversion // Collected Papers of Kenneth J. Arrow: Individual choice under certainty and uncertainty. — Harvard University Press, 1984. — Vol. 3. — 284 p.
53. Tversky, Amos. Advances in Prospect Theory : Cumulative Representation of Uncertainty : [англ.] / Amos Tversky, Daniel Kahneman // Journal of Risk and Uncertainty. — 1992. — Vol. 5, p. 297—323.
54. Петросян Л. А. Теория игр. — 2-е изд. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 424 с.
55. Печерский С. Л. Теория игр для экономистов. Вводный курс. — СПб.: Изд-во Европейского университета, 2001. — 342 с.<sup>56</sup>

## ЛИТЕРАТУРА

56. Exploring dependencies among global environmental, socioeconomic, and technological risks. A. Qazi and M.K.S. Al-Mhdawi Environmental Impact Assessment Review 98 (2023) <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106912>
57. Ismail-Zadeh A, Cutter S, editors. Disaster risks research and assessment to promote risk reduction and management. International Council for Science and the International Social Science Council, Paris; 2015 Available at: [https://council.science/wpcontent/uploads/2015/03/Report\\_RiskReduction\\_WCDRR\\_2015.pdf](https://council.science/wpcontent/uploads/2015/03/Report_RiskReduction_WCDRR_2015.pdf). (retrieved on 30 May 2021).
58. Ismail-Zadeh, A. Natural hazards and climate change are not drivers of disasters. Nat Hazards 111, 2147–2154 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05100-1>
59. Гохберг Л. М., Веселитская Н. Н., Вишневецкий К. О., Гребенюк А. Ю., Грибкова Д. Е., Коцемир М. Н., Лобанова П. А., Логинова И. В., Мильшина Ю. В., Радомирова Я. Я., Соколов А. В., Стрельцова Е. А., Сычев С. В., Чулок А. А., Шашнов С. А. Форсайт: методы и практики / Рук.: А. В. Соколов; под общ. ред.: Л. М. Гохберг, А. В. Соколов. Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", 2023
60. Гавриш С. А., Гохберг Л. М., Грибкова Д. Е., Дюгованец Ю. И., Ефимов А. Р., Мильшина Ю. В., Пайсон Д. Б., Соколов А. В., Черногорцева С. В. Прорывные инновации: человек 2.0: доклад к XXIII Ясинской (Апрельской) международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества, Москва, 4–8 апреля 2022 г. / Под общ. ред.: Л. М. Гохберг, А. Р. Ефимов, Ю. В. Мильшина. М. : Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", 2022
61. Кузьмин С. Б. Оценка риска хозяйственной деятельности в условиях стихийных бедствий по странам мира. // Известия РАН. Серия географическая. 2007. № 4. С. 86-96.
62. Кузьмин С. Б. Опасные геоморфологические процессы и риск природопользования. Новосибирск: Изд-во «ГЕО», 2009. 195 с.
63. Кузьмин С. Б., Шаманова С. И. Районирование Иркутской области по опасным геоморфологическим процессам и их синергетическое моделирование. // Известия Русского географического общества. 2014. Т. 146. № 2. С. 9-21.
64. Кузьмин С.Б. "Мировые оценки риска природопользования" Проблемы современной науки и образования, no. 10 (40), 2015, с. 120-125.
65. Abroon Qazi a, M.K.S. Al-Mhdawi. Exploring dependencies among global environmental, socioeconomic, and technological risks. Environmental Impact Assessment Review. Volume 98. January 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106912>



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**