

Правительство Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»
(НИУ ВШЭ)

УДК 001.891.573

Рег. № НИОКТР 123022800110-8

Рег. № ИКРБС

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора НИУ ВШЭ,
канд. биол. наук

_____ А.В. Балышев

«___» _____ 2023 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ
ГЛУБОКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ: ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ПРИРОДНЫХ УГРОЗ И
ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
(заключительный)

Руководитель НИР,
директор центра, доктор
технических наук

Ф.Т. Алескеров

Москва 2023

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР,
директор центра, доктор
технических наук

подпись, дата

Ф.Т. Алескеров
(общее руководство,
введение, заключение)

Исполнители:

Директор центра

подпись, дата

М.Ю. Голанд
(подраздел 1.1)

Директор центра

подпись, дата

Е.Г. Нечаева
(подраздел 2.5)

Директор центра

подпись, дата

Н.Н. Тарасова
(подраздел 2.6)

Заместитель директора
центра

подпись, дата

Я.Я. Радомирова
(подраздел 1.6)

Профессор

подпись, дата

В.В. Подиновский
(подразделы 6.1–6.3)

Профессор

подпись, дата

А.С. Беленький
(подразделы 6.4–6.7)

Профессор

подпись, дата

А.Е. Лепский
(подпункт 7.1.4.1)

Доцент

подпись, дата

Л.Г. Егорова
(пункт 7.2.3)

Доцент	_____	А.Л. Мячин (подпункты 7.2.1.4, 7.2.1.5)
	подпись, дата	
Заведующий лабораторией	_____	О. Саритас (подраздел 1.1)
	подпись, дата	
Заведующий отделом	_____	И.В. Логинова (подраздел 2.7)
	подпись, дата	
Заведующий отделом	_____	В.В. Дементьев (подраздел 2.6)
	подпись, дата	
Ведущий научный сотрудник	_____	С.А. Шашнов (подраздел 2.6)
	подпись, дата	
Ведущий научный сотрудник, PhD	_____	Ю.Я. Дранев (подраздел 1.4, 1.9)
	подпись, дата	
Старший научный сотрудник	_____	В.Л. Абашкин (подраздел 1.4)
	подпись, дата	
Старший научный сотрудник	_____	А.Ю. Снегирев (подраздел 1.1)
	подпись, дата	
Старший научный сотрудник	_____	С.И. Швыдун (подпункт 7.1.3.2)
	подпись, дата	
Старший научный сотрудник	_____	В.И. Якуба (пункт 7.2.4)
	подпись, дата	

Научный сотрудник	_____	Е.С. Очирова (подраздел 2.8)
	подпись, дата	
Научный сотрудник	_____	П.П. Хачикян (подразделы 5.1–5.3)
	подпись, дата	
Младший научный сотрудник	_____	С.С. Демин (подпункт 7.1.4.2)
	подпись, дата	
Младший научный сотрудник	_____	И.И. Кучин (подраздел 2.6)
	подпись, дата	
Ведущий эксперт	_____	Д.Е. Грибкова (подразделы 1.1, 1.2, 1.3)
	подпись, дата	
Ведущий эксперт	_____	А.В. Клыпин (подраздел 2.4)
	подпись, дата	
Ведущий эксперт	_____	А.Г. Федотов (пункт 7.2.2)
	подпись, дата	
Ведущий эксперт	_____	А.Ю. Шашков (подраздел 1.1)
	подпись, дата	
Стажер-исследователь	_____	Д.С. Ткачев (пункт 7.1.5)
	подпись, дата	
Стажер-исследователь	_____	Д.А. Чубарова (подпункт 7.2.1.1)
	подпись, дата	

Главный аналитик	_____	Л.А. Росовецкая (подраздел 1.3)
	подпись, дата	
Стажер-исследователь	_____	Д.С. Егоров (подпункт 7.1.3.1)
	подпись, дата	
Стажер-исследователь	_____	Д.А. Кобец (подпункт 7.2.1.3)
	подпись, дата	
Стажер-исследователь	_____	М.С. Серегин (подпункт 7.1.3.1)
	подпись, дата	
Стажер-исследователь	_____	Е.В. Шахалиева (подраздел 5.4)
	подпись, дата	
Старший администратор	_____	С.И. Шацкая (введение)
	подпись, дата	
Нормоконтроль	_____	Д.Е. Грибкова
	подпись, дата	

РЕФЕРАТ

Отчет 362 с., 1 кн., 77 рис., 23 табл., 741 источн.

СИСТЕМНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ФОРСАЙТА, СЛАБЫЕ СИГНАЛЫ, ДЖОКЕРЫ, ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ, ГЛУБОКАЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ, СЕТЕВОЙ АНАЛИЗ, ЛОГИСТИЧЕСКИЕ СЕТИ, УГРОЗЫ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА

В 2023 г. цель исследования заключается в совершенствовании подходов по выявлению и анализу слабопредсказуемых событий (джокеров) на примерах исследования критических участков логистических сетей в условиях чрезвычайных ситуаций природного или санкционного характера.

Ключевые задачи исследования:

- системный анализ причин возникновения слабопредсказуемых событий различных типов;
- исследование взаимосвязей между джокерами и комбинациями джокеров;
- приоритизация слабопредсказуемых событий с учетом различных типов джокеров и возникающих эффектов в случае их реализации (в том числе с помощью проведения экспертного опроса);
- формирование базы данных джокеров;
- обзор некоторых моделей и методов принятия решений по предупреждению и противодействию джокерам в зависимости от типов джокеров;
- анализ применимости отдельных типов моделей и методов принятия решений к определенным типам джокеров;
- пилотирование платформенных моделей и методов принятия решений для оценки и прогнозирования джокеров различных типов, в том числе:
 - разработка новых моделей и методов по выявлению критических рёбер (путей, подграфов) сетевых структур;
 - исследование возможности применения методов суперпозиции данных при решении задач предсказания природных катастроф (на примере одного из видов таких катастроф).

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1 Системный анализ причин возникновения слабопредсказуемых событий различных типов.....	11
2 Исследование взаимосвязи между джокерами и комбинациями джокеров.....	37
2.1 Семантическая близость джокеров.....	37
2.2 Совстречаемость джокеров	50
2.3 Семантические тренд-карты, применяемые для анализа событий-джокеров...	61
3 Приоритизация слабопредсказуемых событий с учетом различных типов джокеров и возникающих эффектов в случае их реализации	71
4 Формирование базы данных джокеров.....	116
4.1 Социальные события-джокеры	116
4.2 Технологические события-джокеры.....	128
4.3 Экономические события-джокеры	152
4.4 Экологические события-джокеры	174
4.5 Политические события-джокеры.....	182
5 Обзор некоторых моделей и методов принятия решений по предупреждению и противодействию джокерам в зависимости от типов джокеров	204
5.1 Актуальность	204
5.2 Основные характеристики джокеров	204
5.3 Глобальные риски	205
5.4 Модели и методы принятия решений в условиях глубокой неопределенности	211
6 Анализ применимости отдельных типов моделей и методов принятия решений к определенным типам джокеров	213
6.1 Робастное принятие решений (Robust Decision Making (RDM)	219
6.2 Многоцелевое робастное принятие решений (Multi-Objective Robust Decision Making (MORDM)	220
6.3 Планирование на основе предположений (Assumption-Based Planning (ABP)	220
6.4 Динамическое адаптивное планирование (Dynamic Adaptive Planning (DAP)	222
6.5 Динамическая адаптивная политика (Dynamic Adaptive Policy Pathways (DAPP)	224
6.6 Другие подходы принятия решений в условиях глубокой неопределенности	224

6.7 Резюме	228
7 Пилотирование платформенных моделей и методов принятия решений для оценки и прогнозирования джокеров различных типов	230
7.1 Разработка новых моделей и методов по выявлению критических рёбер (путей, подграфов) сетевых структур	230
7.1.1 Анализ критических участков логистических сетей в условиях санкционных ограничений и наступления чрезвычайных ситуаций природного характера.....	230
7.1.2 Аналитический обзор результатов по выявлению критических рёбер (путей, подграфов) сетевых структур	232
7.1.3 Сценарный анализ возможных частичных разрушений некоторых конкретных сетевых структур в результате действия санкционных ограничений или наступления стихийных бедствий природного характера.....	235
7.1.4 Разработка моделей и методов принятия решений в условиях глубокой неопределённости с неточными экспертными данными	245
7.1.5 Разработка прототипа программного комплекса системы поддержки принятия решений при возможных частичных разрушениях сетевых структур	259
7.2 Исследование возможности применения методов суперпозиции данных при решении задач предсказания природных катастроф (на примере одного из видов таких катастроф).....	264
7.2.1 Аналитический обзор методов предсказания природных катастроф, типов прогнозов природных катастроф	264
7.2.2 Анализ существующих баз данных, которые могут быть использованы для предсказания природных катастроф	283
7.2.3 Разработка и исследование методов предсказания природных катастроф на основе модели суперпозиции процедур многокритериального выбора.....	286
7.2.4. Ретроспективный анализ разработанных суперпозиционных методов прогнозирования на примере одного из видов природных катастроф	296
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	299
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	300

ВВЕДЕНИЕ

По оценке Управления ООН по снижению риска бедствий, за последние 20 лет произошло более 7000 крупных стихийных бедствий, в результате которых погибли более 1,2 млн человек, пострадали 4,2 млрд человек, урон мировой экономике составил около 3 трлн долл. По оценкам, к 2030 г. число людей, ежегодно обращающихся за гуманитарной помощью вследствие природных и техногенных катастроф, может увеличиться почти на 50%. При этом треть населения Земли не охвачена системами заблаговременного предупреждения.

Быстрый рост числа слабопредсказуемых угроз (джокеров) в последние годы обусловлен усложнением технологий, повсеместно используемых в промышленности, социальной сфере и на объектах инфраструктуры, а также изменениями климата и окружающей среды, связанными с деятельностью человека. Наряду с джокерами техногенного и природного характера текущая ситуация в России характеризуется беспрецедентным санкционным давлением со стороны зарубежных стран. В этих условиях проблема принятия решений в условиях глубокой неопределенности приобретает высокую актуальность.

Данный проект продолжает исследование 2022 г. в части адаптации разработанной ранее общей методологии принятия решений в условиях глубокой неопределенности по выявлению слабопредсказуемых событий природного характера и предупреждению их возможных негативных последствий, а также по анализу санкционных ограничений в сфере торговли продовольствием. В проекте особое внимание уделялось системному анализу причин возникновения слабопредсказуемых событий различных типов; исследованию взаимосвязи между джокерами и комбинациями джокеров; приоритизации слабопредсказуемых событий с учетом различных типов джокеров и возникающих эффектов в случае их реализации; формированию базы данных джокеров.

Были апробированы модели и методы выявления джокеров и принятия решений в условиях наступления джокеров на пилотных кейсах, касающихся анализа критических участков логистических сетей в условиях чрезвычайных ситуаций, вызванных санкционными ограничениями, а также исследованы возможности применения методов суперпозиции данных при решении задач предсказания катастроф природного характера.

Актуальность решения указанных проблем обусловлена необходимостью поиска инструментов для раннего предупреждения возможности наступления событий чрезвычайного характера и выработки мер по снижению возможных издержек (в том числе

экономических) на страновом и глобальном уровнях, а также влиянием таких событий на глобальные экономические процессы. Особое значение данные проблемы приобрели из-за возникновения нового типа чрезвычайных ситуаций, связанных с применением санкционных ограничений.

Информационную базу исследования составляет обширная база документов (более 850 млн источников, среди которых научные статьи, патенты, гранты, доклады международных организаций и крупнейших компаний, медиа-источники и проч.), которые включены в систему анализа больших данных, разработанную в ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.

Отчет о проведенном в 2023 г. исследовании состоит из введения, семи разделов, заключения, списка использованных источников.

1 Системный анализ причин возникновения слабопредсказуемых событий различных типов

Для изучения причин возникновения джокеров необходимо системное мышление с присущим ему видением и целого, и взаимосвязанных элементов, поскольку такие события возникают в сложных системах с большим количеством взаимовлияющих динамичных компонентов, обуславливающих их эмерджентные свойства. Системное мышление предполагает, что знание множественно, временно и зависимо от контекста [1]. Вместе с тем, системность подразумевает упорядоченность, известность (изучаемость) элементов и изменения их расположения, а, значит, возможность просчета, что, на первый взгляд, противоречит идее слабопредсказуемых событий.

Джокеры отличаются характеристиками, которые и определяют возможности и ограничения анализа причин их возникновения. Такое событие внезапно; аналогичных ему явлений в прошлом не происходило либо аналогии не исследуются из-за крайне низкой вероятности (или немыслимости) джокера, из-за чего нельзя экстраполировать прошлые данные на будущее; нет неопровержимых подтверждений его неизбежности. В случае реализации джокер будет иметь колоссальное влияние на мировую политику и экономику, отдельные сферы жизни и деятельности человека. Такое событие предсказуемо в ретроспективе — уже после того, как оно произошло, как данность воспринимаются факторы и сигналы, которые можно было бы использовать для идентификации будущего джокера, но до события такие признаки были не очевидны и не привлекали внимания [2].

Джокеры выходят за рамки обычных ожиданий [3], считаются непредсказуемыми, однако, как показало проведенное в 2022 г. исследование, часто не потому, что их нельзя спрогнозировать, а потому что их не прогнозируют в силу разных причин — кажущаяся невероятность реализации такого события, линейность мышления или привычка руководствоваться укоренившимися представлениями, отсутствие творческого подхода, нежелание или неспособность отслеживать едва различимые в информационном шуме слабые сигналы или тренды, ведущие к возникновению критической напряженности и возникновению джокера и др. Быстрый рост числа слабопредсказуемых угроз (джокеров) в условиях неопределенности в последние годы усилил внимание к и прогнозированию, и к событиям-джокерам [4, 5, 6, 7]. Можно выделить факторы, которые повысят (или снизят) вероятность возникновения джокера, отследить события и траектории развития и трансформации трендов, которые могут привести к нему, учесть изменение контекста (развитие технологий, социокультурная среда, экологическая ситуация,

макроэкономическая конъюнктура), а значит, определить вероятные причины. Необходимо учитывать, что в случае с потенциально возможными джокерами на выявление их причин окажет влияние фактор субъективного восприятия, знаний и опыта экспертов, вовлеченных в исследовательский процесс.

Один из подходов к прогнозированию слабопредсказуемых событий

Исследующий финансовые рынки, Д. Сорнетт утверждает, что экстремальные события не являются исключительными, их следует рассматривать, как довольно частые, к тому же, имеющие определенный механизм возникновения. С этой точки зрения, сильное землетрясение — это просто землетрясение, начавшееся так же, как и все остальные, имеющее те же характеристики (кроме масштаба), но «не остановившееся»; возможности предсказать его не было потому, что его предвестники ничем не отличались от сигналов «маленьких» землетрясений.

Ученый отмечает, что экстраполирование событий прошлого на будущее является неверным подходом при прогнозировании крупных потрясений, поскольку постоянно меняются условия, среда, в которой они возникают. В сложных системах большинство событий, объектов, процессов подчиняются степенному закону распределения, но есть класс событий, выходящих за пределы кривой степенной зависимости и нарушающих закономерности (такие сбои Д. Сорнетт называет «королями-драконами»). Нестабильность (динамичность) системы является причиной кризиса. Можно диагностировать симптомы назревания переходящей в кризис нестабильности системы, сопровождающиеся плавными/медленными изменениями. Помимо непосредственно прогнозирования самого чрезвычайного события, такой подход должен позволить понять, на какой стадии кризис еще можно предотвратить точечным воздействием [8].

В рамках реализации научного проекта в 2023 г. для определения причин слабопредсказуемых событий использовались описания джокеров из базы, собранной на предыдущем этапе исследования. Поскольку каждый из джокеров уникален, составление унифицированного списка причин (событий, явлений, трендов), обобщенного, например, до STEEPV-классификации, не представляется возможным.

Примером унификации причин является набор меняющихся бизнес-ландшафт макросил Toffler Associates, занимающейся изучением «будущих сбоев» (future disruptions) и неопределенностей (uncertainties). Представленные в Таблице 1 макросилы выходят за отраслевые границы и проявляются в пространствах между секторами, создавая новые угрозы. Понимание этих макросил позволит организациям лучше подготовиться к будущим

сбоям [9]. Несмотря на структурированность и упорядоченность, такой подход к систематизации причин кризисных явлений представляется чрезмерно обобщенным, но может быть использован в качестве обозначений широких областей.

Таблица 1 — Меняющиеся бизнес-ландшафт макросилы

Макросилы	Характеристики макросил
Социальные объединения и столкновения Societal Coalitions and Collisions	Под влиянием усиления взаимосвязи мира отношения между социальными группами трансформируются, формируются новые типы таких отношений. Традиционные нормы морали, убеждения, ожидания и мировоззрение сталкиваются с новыми.
Биоцифровая конвергенция Bio-digital Convergence	Технологии тесно переплелись с жизнью человека. Последствия такой конвергенции связаны со многими критически важными вопросами — этикой, конфиденциальностью данных, ответственным использованием технологий, изменением отношений человека и технологий.
Сдвиги власти Powershifts	Динамика власти в политических, экономических, гражданских структурах заставляет правительства, бизнес и граждан переопределять свои роли, адаптироваться к переменам, предвидеть изменения в перераспределении власти, используя возникающие возможности и управляя рисками.
Адаптация инфраструктуры Infrastructure Adaptation	Результатом конвергенции физической, кибернетической и человеческой инфраструктуры становится «умная», безграничная глобальная инфраструктура. Она не только повышает связность, но и создает противоречия между теми, кто имеет к ней доступ (или создает ее), и теми, кто его лишен.
Климатические конфликты Climate Conflicts	В экосистемных изменениях и их влиянии на общество заключен конфликтный потенциал, поэтому необходимы активные усилия, направленные на снижение экологических рисков и адаптацию к меняющимся условиям.

Примечание — Источник: составлено авторами на основе Toffler Associates, 2023.

Чаще события с минимальной вероятностью и высокой степенью воздействия (например, стихийные бедствия или инфекционные заболевания) нельзя предсказать на основе информации о других рисках [10]. Реализацию одного джокера не всегда можно прогнозировать на основе информации о другом, но изучение взаимосвязей между ними также позволяет выделить факторы влияния (драйверы или барьеры), способствующие или препятствующие наступлению слабопредсказуемого события. Так, в научном сообществе нет консенсуса относительно того, является ли изменение климата экзистенциальным

риском (в отличие от «просто» катастрофического), но его последствия могут быть движущей силой рисков, которые можно отнести к этой категории [11]. Необходимо учитывать, что уникальность каждого джокера определяет уникальность взаимозависимостей между ними.

Стэнфордский университет в рамках инициативы по изучению экзистенциальных рисков (Existential Risks Initiative) исследует взаимосвязи между ними и то, как «каскады» спровоцированных ими событий и явлений взаимодействуют, создавая угрозы основам существования общества [12], то есть, то, как одни джокеры могут становиться причинами других. Так, последствиями ядерной войны будут ядерная зима, климатическая катастрофа, уничтожение инфраструктуры и, как следствие, продовольственная катастрофа. Потеря контроля над искусственным интеллектом, придумавшим тысячи вариантов отравляющих веществ похожих на боевые, может стать причиной новых эпидемий или использования таких веществ для осуществления биотеррористических атак. Реализация проектов солнечного геоинженеринга может изменить режим осадков, что скажется непосредственно на агропродовольственной сфере, спровоцировать распространение микроорганизмов за пределами их ареалов обитания, что окажет влияния на экосистемы.

Изменение подхода к анализу экстремальных рисков

В докладе Комитета палаты лордов Великобритании по оценке рисков и планированию «Подготовка к экстремальным рискам» отмечается, что чтобы справиться со сложными и непредвиденными рисками, необходимо учитывать то, что сегодня мир представляет собой сеть взаимосвязанных систем, а современные стратегии управления рисками игнорируют или неправильно оценивают комплексные взаимосвязи. В докладе отмечается, что правительственные стратегии не охватывают взаимосвязанные, каскадные, хронические и долгосрочные риски, не уделяют должного внимания рискам с низкой вероятностью и сильным воздействием. Существующую систему оценки рисков нужно заменить на более динамичную, непосредственно связанную с подготовкой, реагированием и смягчением последствий, учитывающую то, что низкая вероятность риска может измениться на высокую за короткий период времени.

К экстремальным рискам в докладе относятся не только внезапные потрясения, но и события с высокой вероятностью, например, рост устойчивости микроорганизмов к противомикробным препаратам, изменения, связанными с антропогенным влиянием на климат, сокращением площади лесов, изменение космической погоды [13].

Таким образом, причины в данном исследовании выделялись на основе:

- описаний из базы событий-джокеров, собранной на предыдущем этапе исследования и доработанной в 2023 г.;
- учета процессов развития и трансформации трендов;
- определения взаимосвязей между джокерами;
- экспертного опроса по оценке вероятности и масштабов проявления джокеров (см. раздел 3 Приоритизация слабопредсказуемых событий с учетом различных типов джокеров и возникающих эффектов в случае их реализации).

Необходимость прогнозирования слабопредсказуемых событий

Эксперты центра прогнозирования Policy Horizons (Канада) выделяют глобальные экзистенциальные риски (global existential risks) — техногенные или природные явления, которые могут уничтожить человечество или навсегда замедлить его развитие. К таким рискам относят последствия изменения климата, ядерную войну, столкновение с космическими объектами, извержение супервулканов, новые пандемии, биотеррористические акты, потерю контроля над технологиями и др. Несмотря на отсутствие упоминания джокеров, такие события отвечают критериям, которые позволяют отнести их к категории слабопредсказуемых. Отмечается, что критики идеи глобальных экзистенциальных рисков обосновывают нерациональность затрат на их изучение крайне низкой вероятностью (кроме ядерной войны) и перспективой отдаленного будущего, предлагая сосредоточиться на насущных проблемах. Однако есть и другая точка зрения, согласно которой игнорирование реализации будущих угроз такого масштаба сегодня снизит способность справиться с ними в будущем [14].

Некоторые экзистенциальные риски усиливаются, становятся более вероятными. Например, темпы и последствия изменения климата уже превзошли большинство прогнозов, а угроза применения ядерного оружия казалась немыслимой еще несколько лет назад. Так, международное сообщество чрезмерно полагалось на созданные в прошлом веке и не соответствующие современным условиям механизмы и договоренности, призванные контролировать и конвенционное, и ядерное вооружение, — со сменой поколений, в условиях длительного мира, неверия в применение ядерного оружия и повышения агрессивности международной политики ушел экзистенциальный страх перед использованием атомного оружия [15].

Исследования экзистенциальных рисков

Т. Орд, философ, автор книги «На краю пропасти. Экзистенциальный риск и будущее человечества», отмечает, что исследования экзистенциальных рисков (изменение

климата, ядерная война, биологическая опасность, др.) находятся на ранней стадии, а без этого невозможно принятие мер для противодействия таким угрозам. Необходимо изучать вероятность, способствующие и препятствующие их наступлению факторы, механизмы реализации и разрабатывать возможные меры для их предотвращения или быстрого восстановления.

Изучением экзистенциальных рисков занимаются Центр изучения экзистенциального риска (Centre for the study of existential risk) при Кембриджском университете и Институт будущего человечества (Future of Humanity Institute) при Оксфордском университете [16].

Эксперты Policy Horizons указывают на то, что, например, изменение климата уже оказывает сильное давление на продовольственную, торговую, миграционные системы, в чем проявляется взаимосвязь между рисками [17]. Это, в свою очередь, увеличивает вероятность глобального поликризиса (многосистемного кризиса), возникающего, когда стрессы в одних системах достигают переломных моментов и синхронизируются, а общий ущерб от них превышает ущерб от отдельных кризисов [18]. Системные риски не ограничиваются сферой, в которой возникают; на первый взгляд такие кризисы могут показаться не взаимосвязанными, но оказывается, что они взаимодействуют, видоизменяют и усугубляют друг друга, формируя поликризис. Michael et al. отмечают, что анализ поликризиса требует нового подхода, а именно — сосредоточения внимания на структуре и свойствах системы, которые позволяют проблемам «каскадироваться» [18].

Поиск причин слабопредсказуемых событий важен для прогнозирования и построения сценариев и стратегий развития. Акторы, учитывающие при стратегическом планировании маловероятные события, которые в случае реализации будут иметь серьезные последствия, оказываются лучше подготовленными к кризисам. Так, когда весной 2010 г. над значительной частью Европы было приостановлено воздушное движение из-за извержения вулкана Эйяфьятлайокудль в Исландии, авиакомпании, которые до этого «проиграли» в своих стратегиях возможный из-за вспышки птичьего гриппа негативный вариант событий, понесли гораздо меньшие убытки, чем те, которые не включали кризисные сценарии в планы развития. Также после событий 11 сентября 2001 г. в США меньше всего упали акции компаний, которые моделировали сбой компьютерных сетей по всему миру при переходе от 1999 г. к 2000 г. [19]. Изучение причин слабопредсказуемых событий может позволить создавать устойчивые стратегии, достаточно гибкие для того,

чтобы подстраиваться к изменяющейся (даже под влиянием джокеров) среде, без необходимости сокращения горизонта планирования [20].

Крайне изменчивая и неопределенная среда становится нормой, отношение к ней как ко временной аномалии чревато стратегическими просчетами в планировании. В первую очередь благодаря технологиям и скорости их распространения изменения происходят быстрее. Согласно Э. Тоффлеру, скорость перемен можно отследить по многим факторам (рост населения, урбанизация, изменение соотношения численности разных возрастных групп, др.), но развитие технологий — ключевой узел в сети причин, активизирующий всю сеть [21]. Управление ООН по уменьшению опасности бедствий отмечает, что технологическое развитие делает экзистенциальные риски более вероятными. В докладе 2023 г. «Экзистенциальный риск и быстрое технологическое развитие» искусственный интеллект и биотехнологии называются основными движущими силами ускоряющихся изменений [22]. RAND Corporation также указывает на ИИ, как основной фактор, который может усугубить известные (вероятные/существующие) угрозы, например, биотерроризм, или стать источником новых, таких как, например, уничтожение человечества как оптимальный способ решения климатических проблем. К просчету вероятности таких угроз не всегда можно применить количественные оценки. Вместо того, чтобы анализировать риски в категориях вероятностей и последствий при отсутствии возможностей количественной оценки, их можно рассматривать, как комбинации угроз, уязвимостей и последствий; такой подход используется подразделением по чрезвычайным ситуациям природного характера Министерства внутренней безопасности США, Агентством по кибербезопасности и защите инфраструктуры и Министерством обороны США [23].

Некоторые причины, более «общего» характера, могут относиться сразу к нескольким джокерам (джокеры и их причины представлены в Таблице 2). Среди таких причин — рост объемов генерации данных и потребность в инструментах работы с ними, актуальность проблем изменения климата, распространение идей устойчивого развития и цели сокращения воздействия на экологию, сохранение неравенства разных видов, необходимость обеспечения продовольственной безопасности, уязвимость информационных систем, др. В основном факторы, способствующие возникновению рисков, носят антропогенный характер, связанный с социальными, экономическими, производственными, технологическими, военными изменениями [24].

Таким образом, как сказано выше, произошел значительный сдвиг в горизонтах планирования, будущее перестало восприниматься как легко предсказуемое в узком

диапазоне вариаций, стратегические планы стали сокращаться до 2-3 лет, а скорость изменений и растущая частота слабопредсказуемых событий усложняют прогнозирование. Принятие во внимание таких событий и изучение их причин позволят адаптировать стратегии к разным сценариям будущего. Изучение причин джокеров дает возможность совершенствовать подходы по выявлению и анализу событий, повысить эффективность принимаемых решений, строить прогнозы, создавать устойчивые стратегии развития и планы предупреждения кризисных событий или быстрого восстановления после них и смягчения последствий.

Таблица 2 — Причины слабопредсказуемых событий, вошедших в подготовленную в рамках проекта базу джокеров

№	Джокер	Причины
1	Печать продуктов питания на 3D-принтерах	– поиск способов снижения энергетических и транспортных затрат при производстве и продаже продуктов – коммерциализация 3D-принтеров и материалов для печати – потребительский спрос на индивидуализированное питание
2	Повсеместное внедрение систем социальных рейтингов	– ужесточение государственного контроля над частной жизнью граждан – появление у государств возможности использовать «технологическую централизацию» при осуществлении контрольных функций – усиление значимости фактора оценки индивида социальными или профессиональными сообществами
3	Повсеместное использование квантовых симуляторов	– ускорение процессов сбора данных, аналитики и моделирования – использование квантовых алгоритмов в криптографии, машинном обучении и симуляторах – создание сложных виртуальных моделей в медицине, промышленности, строительстве, исследовательской сфере
4	Повсеместное использование сверхзвуковых самолетов в гражданской авиации	– разработка решений эффективного совмещения дозвуковых и сверхзвуковых летных качеств самолетов – возможность совершения сверхбыстрых пассажирских перевозок – снижение стоимости производства и обслуживания сверхзвуковых самолетов – сокращение выбросов парниковых газов

Продолжение Таблицы 2

№	Джокер	Причины
5	Повсеместное использование технологии блокчейн в государственном управлении	– новые способы организации процессов и обработки информации – обеспечение безопасного обращения огромных массивов данных – повышение прозрачности системы государственного управления
6	Повсеместное создание «детей из пробирки»	– низкий уровень рождаемости в развитых странах – персонализация медицинского обслуживания – совершенствование диагностики – удешевление генетических технологий – увеличение эффективности ЭКО
7	Полная блокада Тайваня Китаем	– активизация внешней политики США в Азиатско-Тихоокеанском регионе, в частности в отношении Тайваня – демонстрация Китаем своего суверенитета над островом – расширение военного присутствия США на острове
8	Полная резистентность бактерий к антибиотикам	– рост глобального потребления антибиотиков, в частности без назначения врача – рост устойчивости бактерий к лекарствам
9	Полное замещение врачей роботами	– использование ИИ в медицинских технологиях – высокая скорость и точность постановки диагноза при использовании технологий – расширение функциональных возможностей роботов – более высокая эффективность роботов по сравнению с человеком
10	Полное замещение фиатных денег криптовалютой	– дефляционность криптовалюты – сохранение сбережений и ведение бизнеса при сильной девальвации национальных фиатных денег – повышенная безопасность транзакций из-за необратимости операций
11	Потеря человечеством контроля над новейшими технологиями	– достижение момента технологической сингулярности – необратимый и бесконтрольный прогресс ИИ
12	Появление квантового компьютера, способного взламывать шифрование данных	– уязвимость современных криптографических систем перед квантовыми компьютерами – развитие квантовых технологий

Продолжение Таблицы 2

№	Джокер	Причины
13	Появление космического лифта	– создание нанотрубок, способных выдержать воздействие атмосферного давления – прорывы в создании новых материалов – поиск новых способов скоростных перемещений
14	Появление первого в мире общего (сильного) искусственного интеллекта	– достижение общим ИИ критической мощности – рост вычислительных мощностей компьютеров
15	Появление подводных городов	– перенаселение – сокращение пригодных для жизни мест из-за глобального потепления
16	Появление ресурсных автаркий	– постоянные угрозы сбоев в цепочках поставок – использование ограничений доступа к критически важным материалам и ресурсам как политического инструмента принуждения – стремление к ресурсной самодостаточности
17	Появление роботов, обладающих эмоциональным интеллектом, неотличимым от человеческого	– совершенствование алгоритмов компьютерного зрения и машинного обучения – широкое использование ИИ для считывания человеческих эмоций в сфере услуг (накопление огромных массивов данных для обучения алгоритмов) – растущая автономность и совершенствуемая способность роботов считывать и интерпретировать эмоциональное состояние человека
18	Появление цифровых архивов запахов и вкусов	– развитие технологии цифровой ольфакции (науки, изучающей восприятие запахов и процесс коммуникации) – достижение маркетинговых целей: расширение пользовательского опыта, стремление сделать услуги более реалистичными и привлекательными
19	Появление подземных магистралей под мегаполисами	– нехватка свободных территорий в мегаполисах – высокая нагрузка на транспортную инфраструктуру и экологию – сокращение полезной площади урбанизированных территорий города – развитие цепочек поставок

Продолжение Таблицы 2

№	Джокер	Причины
20	Право на чистый воздух включено в перечень основных прав человека	– закрепление юридической обязательности требования к устойчивому развитию компаний – попытки сдержать темп глобального потепления и сократить выбросы парниковых газов – обеспечение выполнимости обязательств хозяйствующих субъектов по сокращению выбросов – усиление экодвижения
21	Применение технологий контроля над сознанием и эмоциями людей	– делегация части рутинных когнитивных задач технологиям (когнитивный аутсорсинг) – целенаправленное использование технологий для поведенческой манипуляции или информационной пропаганды – повышение вовлеченности на цифровых платформах
22	Принудительное вегетарианство	– сокращение производства продуктов животноводства как неэтичного и неэкологичного – влияние идей о необходимости прекращения эксплуатации животных и негативного влияния фермерства на атмосферу – продвижение привычек осознанного питания
23	Принятие антропоморфных роботов в качестве членов семей	– рост популярности антропоморфных роботов в сферах образования, развлечений, медицины – развитие эмоциональной привязанности людей к роботам-компаньонам – «кастомизация» антропоморфных роботов – ухудшение социальных навыков людей
24	Принятие закона о целостности коммерческого программного обеспечения	– несоответствие общепринятых правил защиты интеллектуальной собственности и принципов разработки ПО – необходимость закрепления статуса автора кода за определённым человеком или группой людей
25	Принятие хартии прав трансчеловека	– широкое использование технологий усиления когнитивных и физических возможностей человека – технологические и генетические «модификации» людей – формирование новых форм общественного развития – появление технобиологических и киберфизических форм жизни
26	Промышленное выращивание органов	– высокий уровень смертности из-за нехватки донорских органов – снижение затрат на лечение пациентов

Продолжение Таблицы 2

№	Джокер	Причины
27	Путешествия только через цифровую среду	– ограничение мобильности населения (например, в период пандемии) – ужесточение визовых ограничений – рост спроса на виртуальные путешествия – усовершенствование технологий погружения в виртуальную среду
28	Распространение морских/плавучих ферм	– усиление нагрузки на продовольственные системы, в частности растущий спрос на морепродукты – сокращение популяции вылавливаемых в промышленном масштабе видов океанических рыб – миграция некоторых видов дальше от рыболовных угодий из-за повышения температуры и закисления воды – переход к более устойчивой продовольственной системе
29	Распространение неолуддизма	– сокращение численности работников, вызванное масштабной механизацией и роботизацией производственных процессов – укрепление в общественном сознании негативного отношения к современным технологиям и представление их как враждебной силы – рост безработицы, усиление неравенства и протестных настроений
30	Распространение подводного туризма	– развитие технологий, позволяющих проводить более сложные исследования океанов – кооперация компаний, организующих подводные туры, с учеными, защитниками природы и морскими биологами – потребительский спрос на новые виды туризма
31	Распространение проектов солнечного геоинжиниринга	– несоответствие результатов климатической политики стран принятым ими обязательствам – неэффективность международных соглашений по климату – решение проблемы глобального потепления через снижение средней температуры Земли – высокий потенциальный экономический ущерб от изменений климата
32	Распространение клонирования людей	– отставание в разработке регулирования и стандартов в сфере клонирования – терапевтическое клонирование для лечения людей, страдающих от болезней или травм

Продолжение Таблицы 2

№	Джокер	Причины
33	Расширение доли синтетической биологии в производстве продуктов питания	– обострение проблем продовольственной безопасности из-за увеличения численности населения, экономических шоков, сбоя в цепочках поставок и их трансформации – неурожаи и истощение сельскохозяйственных угодий – повышение доступности продуктов, созданных с помощью синтетической биологии
34	Революция в накопителях энергии, изобретение новых способов хранения энергии	– развитие безуглеродной энергетики – поиск новых, более эффективных способов хранения энергии – технологические инновации в сфере хранения энергии
35	Рост налогов на производство мяса	– обострение климатических и продовольственных проблем – популяризация здорового образа жизни и рационального потребления – распространение в обществе беспокойства вопросами защиты животных – достижения насыщения в потреблении молочных и мясных продуктов в развитых странах
36	Создание генетически модифицированных водорослей, накапливающих в тканях полезные элементы	– разработка новых продуктов на рынке фармакологии – рост коммерческого спроса на устойчивое биотопливо
37	Создание искусственных мозговых синапсов из углеродных нанотрубок	– развитие биотехнологий – потребности сердечно-сосудистой хирургии
38	Раздробление интернет-экосистемы на национальные интрасети / Сплинтернет	– стремление правительств защитить национальные инфраструктуры от внешнего вмешательства – обеспечение информационной безопасности – распространение собственных технологических стандартов – технологическая конкуренция между странами
39	Способность людей обмениваться мыслями с помощью мозговых имплантов	– прогресс в нейробиологии и биомедицинской инженерии – совершенствование мозговых имплантов – развитие биомедицинского протезирования, направленного на восстановление утраченных функций головного мозга

Продолжение Таблицы 2

№	Джокер	Причины
40	Супер масштабные аварии на особо опасных объектах (атомные электростанции и др.)	– увеличение нагрузки на особо опасные и технически сложные объекты – природные катастрофы – операционные ошибки, отсутствие своевременного технического обслуживания или мониторинга, халатность при исполнении служебных обязанностей
41	Технологическая сингулярность	– необратимость технологического развития – превосходство искусственного интеллекта над интеллектом человека – рост самостоятельности и автономности ИИ – прорывы в робототехнике, генетике, нанотехнологиях
42	Тотальный мониторинг здоровья с помощью чипирования	– предотвращение появления новых и распространения существующих инфекций – улучшение возможностей здравоохранения для больных диабетом, сердечно-сосудистыми и др. заболеваниями – стремление снизить расходы на здравоохранение для работодателей
43	Трансграничные водные конфликты	– сокращение запасов доступной и пригодной для питья воды – возведение плотин, гидроэнергетических и других сооружений – критически низкий уровень доступа к воде (из-за повышения температуры, низкого количества осадков, высыхания рек) – обострение межгосударственных разногласий между странами, зависимыми от трансграничных вод
44	Установление личности исключительно через биометрию	– поддержание непрерывной аутентификации пользователя и повышение уровня общественной безопасности – появление новых идентификационных маркеров: распознавание запаха и особенностей сердцебиения, компонента кода ДНК, др. – спрос на приложения идентификации и аутентификации пользователей со стороны банков, финансовых и страховых компаний, авиа-, телекоммуникационных, медицинских и оборонных организаций – использование биометрии в государственном секторе, в правоохранительных органах, в системах эпиднадзора, аэропортах и др.

Продолжение Таблицы 2

№	Джокер	Причины
45	Утрата Антарктидой статуса заповедной территории	– геополитическая турбулентность – пересмотр многих старых правил, отказ от неэффективных (и неравноправных) и создание новых институтов – обострение конкуренции за ресурсы – пересмотр положений договора об Антарктике – территориальные притязания – политизация научно-технических и природоохранных проблем
46	Цифровая амнезия	– снижение способности запоминать и помнить в результате частого использования цифровых устройств – затруднённое формирование долгосрочной памяти, вызванное постоянным использованием цифровых устройств и развившейся ограниченной способностью к восприятию больших объемов информации
47	Цифровое бессмертие	– появление технологий, позволяющих воссоздать карту комбинаций и взаимосвязей всех нейронов – изменение в системе ценностей и мировоззрении людей под влиянием цифровизации – распространение сервисов записи и хранения жизненной активности человека (life-logging services)
48	Широкое использование ИИ в системе здравоохранения для предсказания точной даты и причины смерти	– повышение точности прогнозирования развития болезней – восполнение недостатка высококвалифицированных специалистов
49	Широкое распространение гибридной рабочей силы	– распространение сложных технологий, улучшающих возможности человека – повышение производительности за счет найма людей с улучшенными когнитивными и физическими способностями
50	Широкое распространение глубоководного бурения в океане	– достижения в сфере робототехники, технологий телеприсутствия и обработки больших данных – новые методы извлечения, повышающие экономическую выгоду от разработки небольших месторождений – высокий спрос на редкоземельные металлы и ужесточение контроля над их экспортом – глобальная технологическая конкуренция

Продолжение Таблицы 2

№	Джокер	Причины
51	Широкое распространение медиааскетизма	– усиление социального запроса на ограничение от постоянно растущего потока информации – распространение тревожных настроений, усталости, рассеянности внимания, неспособность саморегуляции при потреблении информации
52	Широкое распространение метавселенных	– рост популярности технологий виртуальной, дополненной, смешанной реальности – потребительский запрос на новые форматы развлечений, получение эмоций – перенос в виртуальную реальность социальной, экономической активности человека
53	Широкое распространение нового этико-философского учения, основанного на поклонении ИИ	– широкое признание неизбежности превосходства ИИ над возможностями человека – внедрение технологий ИИ в практики традиционных религий – совершенствование технологий ИИ, появление сильного ИИ, обретение им способности к творчеству – сакрализация ИИ из-за развития его возможностей
54	Широкое распространение смертоносных автономных систем вооружения	– стремление снизить риск человеческой ошибки в ходе боевых действий – возможность сокращения жертв среди гражданского населения – развитие военных технологий в режиме гонки вооружений при слабом общественном контроле – усиление соперничества государств в создании более совершенных смертоносных автономных систем вооружения
55	Энергетическая независимость зданий / Распространение «активных» домов	– стремление минимизировать экологический след от строительства и эксплуатации зданий – движение к углеродной нейтральности – прогресс в создании новых материалов
56	«Батареи» из водорослей	– спрос на энергоносители – «зеленая» повестка в энергетике

Продолжение Таблицы 2

№	Джокер	Причины
57	Акт биотерроризма	– доступность технологий и биологических агентов – радикализация общественных настроений, нагнетания паники и страха для усиления антиправительственных настроений – провоцирование дестабилизации государственного управления, устрашение населения
58	Биржевая торговля водой	– изменение климата – ограниченность водных ресурсов, усиление нагрузки на них
59	Большое «стирание / сброс» (The Big Wipe)	– технологический сбой в сложных ИТ-системах – человеческая ошибка / целенаправленное воздействие на ИТ-системы с целью нанесения ущерба
60	Введение тотального контроля над поведением населения	– необходимость поддерживать общественный порядок – принятие основанных на данных решений в бизнесе, государственном управлении
61	Внезапное изменение солнечного цикла	– смена полярности магнитного поля Солнца
62	Выдача патентов на ДНК человека	– конкуренция среди частных компаний при исследовании генов – необходимость привлечения инвестиций в научные разработки и поощрение более творческого подхода исследователей
63	Вытеснение реальной экономики виртуальной	– цифровизация экономики – потребительский спрос на онлайн-сервисы – геймификация повседневной активности, работы, обучения и пр.
64	Выход искусственного интеллекта (ИИ) из-под контроля	– совершенствование технологий ИИ – способность ИИ адаптироваться к системам контроля
65	Гибель пчел	– изменение климата – пагубное воздействие человека на экосистемы – потеря благоприятных для пчел мест обитания из-за хозяйственной деятельности человека
66	Длительные засухи в Бразилии, Индии, Китае	– перемены в режиме осадков и температуре из-за изменения климата

Продолжение Таблицы 2

№	Джокер	Причины
67	Добыча полезных ископаемых в космосе	– исчерпаемость природных ресурсов на Земле – усиление конкуренции за ресурсы – ограничение доступа к рынкам стратегически важных и редких ресурсов и материалов / ресурсный национализм – снижение стоимости космических запусков – переход к устойчивой экономике
68	Закрепление четких границ между разными социальными группами, поддерживаемое цифровым неравенством	– сохранение традиционных форм неравенства – неравенство доступа к технологиям и интернету – зависимость повседневной жизни людей от технологий
69	Замедление / остановка процесса старения человека	– нагрузка на экономику и социальные системы из-за увеличения доли пожилого населения – поддержание вовлеченности людей старшего возраста в экономические и трудовые процессы – прогресс в науках о жизни – распространение персонализированной медицины
70	Замена людей роботизированными технологиями в вооруженных конфликтах	– интересы национальной безопасности – развитие ИИ, позволяющего создавать самообучающиеся автономные системы – технологическое соперничество между странами – стремление к минимизации человеческих потерь
71	Замена школьных учителей ИИ-наставниками	– развитие ИИ, позволяющего автоматизировать многие процессы – персонализация обучения – кадровый кризис
72	Замещение традиционного фермерства городским	– увеличение нагрузки на продовольственные системы – сокращение численности рабочей силы в сельском хозяйстве – ускоренная урбанизация – распространение концепции «самообеспечивающихся» поселений – широкое внедрение новых технологических решений

Продолжение Таблицы 2

№	Джокер	Причины
73	Запрет технологий, усиливающих когнитивные способности человека	– отсутствие четкого этического и правового регулирования применения таких технологий – сложность прогнозирования возможных рисков – неравенство доступа к технологиям – риск распространения неэтичных и незаконных практик проведения экспериментов на людях
74	Извержение супервулкана	– процессы, связанные с движением магмы и земной коры – внешних факторов: землетрясения, движении тектонических плит, удары метеоритов
75	Изобретение лекарства от онкологии	– развитие медицинских технологий и фармакологической индустрии – прогресс в науках о жизни
76	Институциональный запрет на использование криптовалют	– децентрализованность и нестабильность криптовалют – риск потери государственного контроля над существующими финансовыми системами
77	Интенсификация добычи твердых полезных ископаемых в Арктике	– приоритет энергетической безопасности над идеями устойчивого развития и защиты экологии – переоценка государствами роли Арктики в национальных интересах – рост спроса на редкоземельные металлы – смягчение условий добычи ресурсов в Арктике из-за климатических изменений
78	Использование ДНК как накопителя цифровой информации	– рост объема генерируемых данных – спрос на надежные и более вместительные накопители информации – ограниченный предел плотности записи современных магнитных носителей – развитие синтетической биологии
79	Использование капсул гибернации при длительных космических перелетах	– реализация длительных космических миссий – развитие космического туризма
80	Использование сильного ИИ для автономного управления городами и всеми процессами в них	– спрос на оптимизацию управления городами, повышение эффективности городских процессов – развитие ИИ и блокчейна

Продолжение Таблицы 2

№	Джокер	Причины
81	Использование современных технологий для управления миграционными потоками	– миграционные кризисы – ограниченность ресурсов международных организаций, занимающихся проблемами миграции – развитие технологий (ИИ, блокчейн и т.д.)
82	Использование энергии морских приливов	– спрос на возобновляемые источники энергии – нехватка энергетических ресурсов
83	Использование колоний бактерий для переработки метана в верхних слоях атмосферы	– усугубление проблемы глобального потепления вследствие увеличения концентрации метана в атмосфере – развитие технологий генной инженерии
84	Исчезновение ледников в Восточной Африке	– климатические изменения, связанные с глобальным потеплением (изменение температуры океана, режима выпадения осадков)
85	Исчезновение классического шопинга, производство одежды на домашних 3D-принтерах	– распространение 3D-принтеров в повседневной жизни – тренд на устойчивое развитие
86	Коллапс Атлантической меридиональной циркуляции	– изменение плотности вод океана из-за глобального потепления
87	Колонизация Марса	– ограниченность природных ресурсов Земли – прогресс в развитии необходимых для терраформирования технологий – пригодность условий Марса для создания небольшой замкнутой экосистемы
88	Коммерциализация 4D-печати	– возможность создания объектов в экстремальных условиях – функциональность используемых в 4D-печати материалов и напечатанных предметов – развитие технологий печати
89	Коммерциализация квантовых компьютеров	– рост инвестиций в квантовые технологии – высокая вычислительная мощность квантовых компьютеров
90	Коммерческое использование энергетических термоядерных реакторов	– увеличение производительности термоядерных установок – спрос на новые, чистые и устойчивые источники энергии

Продолжение Таблицы 2

№	Джокер	Причины
91	Критическое сокращение рабочей силы в сельскохозяйственном секторе (из-за миграции из сельской местности в города)	– климатические изменения, неблагоприятные для ведения сельского хозяйства – отток населения в города – сезонный характер миграции в сельскую местность
92	Купола с настраиваемыми климатическими условиями внутри (для выращивания растений, проживания людей и т.п.)	– распространение концепции устойчивого развития – негативное влияние климатических изменений на деятельность человека – распространение идеи «самообеспечивающихся» поселений
93	Локальные миграционные кризисы	– социально-экономические кризисы – межконфессиональные и межэтнические конфликты – чрезвычайные климатические ситуации
94	Массовое использование литий-кислородных аккумуляторов в электрических автомобилях	– развитие зеленых технологий – необходимость сокращения углеродных выбросов
95	Наделение роботов правами	– развитие робототехники и технологий ИИ – включение роботов в трудовые отношения – расширение числа выполняемых роботами функций
96	Нарушение логистики морских поставок (в результате атаки БПЛА, перекрытия каналов, пр.)	– изменение климата и экстремальные погодные явления – «физические» нарушения в логистике — перекрытие каналов, повреждения инфраструктуры, пандемийные ограничения, блокировка каналов и пиратские нападения – перемены на энергетических рынках – переориентация потребительского спроса – развитие и широкое использование электронной торговли
97	Наступление эпохи тотального неравенства в обществе (в том числе из-за доступа к генным и медицинским технологиям)	– неэффективность мер по сокращению неравенства в условиях глубокой неопределенности и динамично меняющейся среды – ограниченность ресурсов – закрепление неравенства доступа к технологиям

Продолжение Таблицы 2

№	Джокер	Причины
98	Новая эпидемия (оспы обезьян или др.)	– рост частоты передачи патогенных микроорганизмов от животных к людям – климатические изменения, способствующие распространению вирусов – высокая скорость распространения вирусов из-за мобильности населения, транспортной взаимосвязанности мира – неэффективность медицинских сфер
99	Новое неравенство – в доступе к технологиям, усиливающим человеческий потенциал	– неравенство доступа к услугам здравоохранения – низкая доступность для широких слоев населения технологий совершенствования когнитивных и физических способностей человека
100	Обнаружение внеземных форм жизни	– способность ряда микроорганизмов выживать в водородной среде, характерной для ряда экзопланет – научно-технологическое развитие, делающее доступным новые методы и технологии для исследования космоса
101	Обретение искусственным интеллектом творческих способностей, сравнимых с человеческими	– развитие технологии ИИ – постоянный рост объема данных, на которых обучаются нейросети
102	Ограничения на использование открытых распределенных реестров в торговом финансировании и учете товаров	– сложность и дороговизна технологии – спрос на снижении издержек для участников торгового финансирования
103	Одновременный выход из строя большого количества спутников (из-за столкновения с космическим мусором или техногенных причин)	– рост количества выводимых на орбиту спутников – технические неисправности, столкновения с космическим мусором – целенаправленное воздействие на спутники с целью нарушения их работы
104	Океанические плантации	– рост нагрузки на продовольственные системы – потребности косметического и нутрицевтического производств – спрос на биотопливо

Продолжение Таблицы 2

№	Джокер	Причины
105	Определение научной повестки эко лоббистами	– обострение вопросов, касающихся негативных последствий изменения климата – рост влияния политических партий социально-экологической направленности на сферу политики – распространение обеспокоенности населения вопросами изменения климата – восприимчивость населения к популистским идеям
106	Орбитальные солнечные фермы	– энергетические потребности деятельности в условиях роста численности населения – непрерывность генерации энергии – отсутствие негативного экологического влияния
107	Оцифровка мозга человека	– развитие технологий, позволяющих создать цифровую копию мозга человека в компьютерной симуляции – совершенствование технологий накопления, хранения и передачи информации
108	Пандемия вируса, занесенного из космоса	– повышение сложности программ по исследованию космоса – попадание нового биологического вида на Землю с образцами космических тел – снижение устойчивости окружающей среды из-за антропогенной деятельности
109	Перегрузка архитектуры сети из-за взрывного роста передачи данных	– несоответствие качества инфраструктуры объемам передаваемых данных – рост трафика – зависимость критической инфраструктуры от интернета
110	Экодиктатура / Экологический авторитаризм	– обострение экологических проблем – усиление роли партий социально-экологической направленности – превращение задач по борьбе с изменением климата и сохранения биоразнообразия в главные цели национальных и международной повесток

Продолжение Таблицы 2

№	Джокер	Причины
111	Коллапс водных экосистем	– закисление океана из-за потепления климата – чрезмерная эксплуатация морских ресурсов – сброс сточных вод, загрязнение водоемов и грунтовых вод пластиком, сельскохозяйственными удобрениями, нефтью и нефтепродуктами
112	Воздушные купола над азиатскими мегаполисами	– экстремально высокое загрязнение воздуха, делающее невозможной жизнь и деятельность людей в городах – прогресс в разработке материалов, пригодных для возведения таких куполов
113	Распространение технологий микропроизводства бионефти и биогаза	– достижение целей устойчивого развития, сокращение негативного воздействия на экологию – сокращение (разведанных) запасов нефти и газа
114	Производство пищевых продуктов с использованием микробиологического синтеза белка из нефтепродуктов	– усиление нагрузки на продовольственные системы – продовольственные кризисы, сбои в поставках – сокращение площади земель, пригодных для сельского хозяйства
115	Распространение биоразлагаемых полимеров (резин, пластика) (биопродукты как сырье для резиновых изделий)	– необходимость решения проблемы пластиковых отходов и снижения уровня загрязнения атмосферы и водной среды
116	Технологии извлечения металлических элементов из вод Океана	– истощение разведанных запасов – экспортные ограничения – технологическое развитие
117	Колонизация Антарктиды / Создание автономных городов в Антарктиде	– смягчение погодных условий в Антарктике – начало коммерческой добычи ресурсов на материке – сокращение пригодных для жизни и деятельности людей территорий на других материках
118	Распространение доставки дронами и роботами	– доставка грузов в труднодоступные места или места технологических работ – необходимость срочной доставки (напр., в медицине) – ограничения мобильности людей в случае чрезвычайных ситуаций – соображения повышения эффективности и сокращения расходов компаний, осуществляющих доставку

Продолжение Таблицы 2

№	Джокер	Причины
119	Обострение межгосударственной конкуренции за освоение «зашельфовых» пространств мирового океана	– поиск новых ресурсов технологического и экономического развития – поиск новых месторождений – формирование новой международной системы, сопровождающееся пересмотром старых договоренностей и шельфовых границ
120	Отказ от экспорта продукции АПК	– обеспечение национальной продовольственной безопасности – необходимость сохранения почвенного потенциала страны – экономия запасов удобрений в условиях экспортных ограничений из стран-производителей удобрений
121	Серийное производство на орбите Земли	– развитие частных и государственных космических миссий – условия (микро- или нулевая гравитация), делающие доступными невозможные на Земле проекты – распространение многоразовых средств выведения и доставки с орбиты
122	Энергетическая сингулярность	– рост энергопотребления – распространение передовых технологий накопления и распределения энергии в мировых масштабах
123	Появление фемтоматериалов	– потребность в новых материалах с качественно новыми характеристиками (сверхпрочность, легкость, др.) в разных отраслях (освоение космоса, металлургия, добыча полезных ископаемых, др.) – прогресс в материаловедении
124	Печать продуктов питания на 3D-принтерах	– тренд на здоровый образ жизни – рационализация производства и потребления (сокращение пищевых отходов, затрачиваемых ресурсов)
125	Добыча и доставка на Землю полезных ископаемых с космических объектов	– переход к устойчивой экономике – ограничение доступа к рынкам стратегически важных и редких ресурсов и материалов на фоне усиления конкуренции за неэнергетические ресурсы – технологическое развитие, позволяющее снижать стоимость запусков
126	Продовольственные шоки	– последствия климатических изменений – события геополитического характера – логистические сбои

Продолжение Таблицы 2

№	Джокер	Причины
127	Сокращение площадей выращивания традиционных культур из-за роста производства технических культур для химической промышленности	– обострение проблемы продовольственной безопасности – негативные для сельскохозяйственного производства последствия климатических изменений – усиление нагрузки на природные ресурсы
128	Резкое изменение климата, необратимые последствия для экологии	– увеличение частоты, серьезности и продолжительности экстремальных природных явлений – масштабные техногенные катастрофы – нарушение экологического баланса из-за военной деятельности
129	Генетический дизайн детей	– распространение репродуктивной дисфункции – рост числа страдающих бесплодием пар – увеличение среднего возраста родителей при рождении первенца – научно-технологическое развитие – удешевление генетических технологий
130	Принятие закона о целостности внутреннего программного обеспечения	– поиск новых способов защиты интеллектуальной собственности

2 Исследование взаимосвязи между джокерами и комбинациями джокеров

Исследование взаимосвязей между событиями-джокерами и их комбинациями было проведено с использованием системы анализа больших данных iFORA (Intelligent Foresight Analytics), разработанной ИСИЭЗ НИУ ВШЭ. В целях выявления взаимосвязей был проведен семантический анализ близости и совстречаемости событий-джокеров. Была проанализирована выборка из 1 038 093 научных статей по пяти тематическим направлениям (кластерам), к которым относятся события-джокеры:

- экология;
- технологии;
- экономика;
- политика;
- социальная сфера.

С помощью семантического анализа были построены карты для всех тематических направлений в целом и каждого в отдельности по близости и совстречаемости в двух версиях: с большим количеством соединяющих ребер и с меньшим количеством соединяющих ребер.

Расчет значения показателя семантической близости основывается на корреляции Пирсона и может быть интерпретирован как сила взаимосвязи: чем выше значение данного показателя между двумя терминами — тем выше взаимосвязь между ними. Совстречаемость — это попарная встречаемость терминов в тех или иных документах. Чем выше значение данного показателя между двумя терминами — тем чаще они вместе встречаются в проанализированном массиве документов. Карты с большим количеством соединяющих ребер позволяют оценить наличие как сильных, так и слабых взаимосвязей, а карты с меньшим количеством соединяющих ребер — наличие только сильных взаимосвязей. В обоих случаях происходит интерпретация событий-джокеров с точки зрения взаимосвязей между ними.

Суммарно было построено четыре общих семантических карты, одна общая семантическая тренд-карта, а также 25 отдельных карт по тематическим направлениям (по четыре семантические карты и по одной тренд-карте для каждого направления). Итого в общей сложности было построено 30 карт.

2.1 Семантическая близость джокеров

Семантическая близость определяет наличие связи между двумя терминами и ее силу. Чем выше значение показателя семантической близости между двумя терминами, тем

сильнее события взаимосвязаны между собой. В области анализа событий-джокеров семантическая близость отражает наличие и силу взаимосвязи двух событий. С учетом значений показателя семантической близости между двумя событиями можно делать выводы о том, насколько сильно одно событие может влиять на возникновение другого события. Семантическая близость рассчитывается по формуле (1).

$$d(c_1, c_2) = \frac{(c_1, c_2)}{|c_1| \cdot |c_2|} \quad (1)$$

Согласно формуле (1), (c_1, c_2) — это скалярное произведение двух векторов (ключевых слов), а $|c|$ — модуль вектора. Значение показателя семантической близости находится в промежутке от 0 до 1 включительно. По степени близости (и взаимосвязи) можно выделить слабую близость (меньше 0,3), среднюю близость (меньше 0,7) и высокую близость (больше 0,7). На рисунке 1 представлена общая семантическая карта всех анализируемых джокеров по их близости с высокой плотностью ребер.

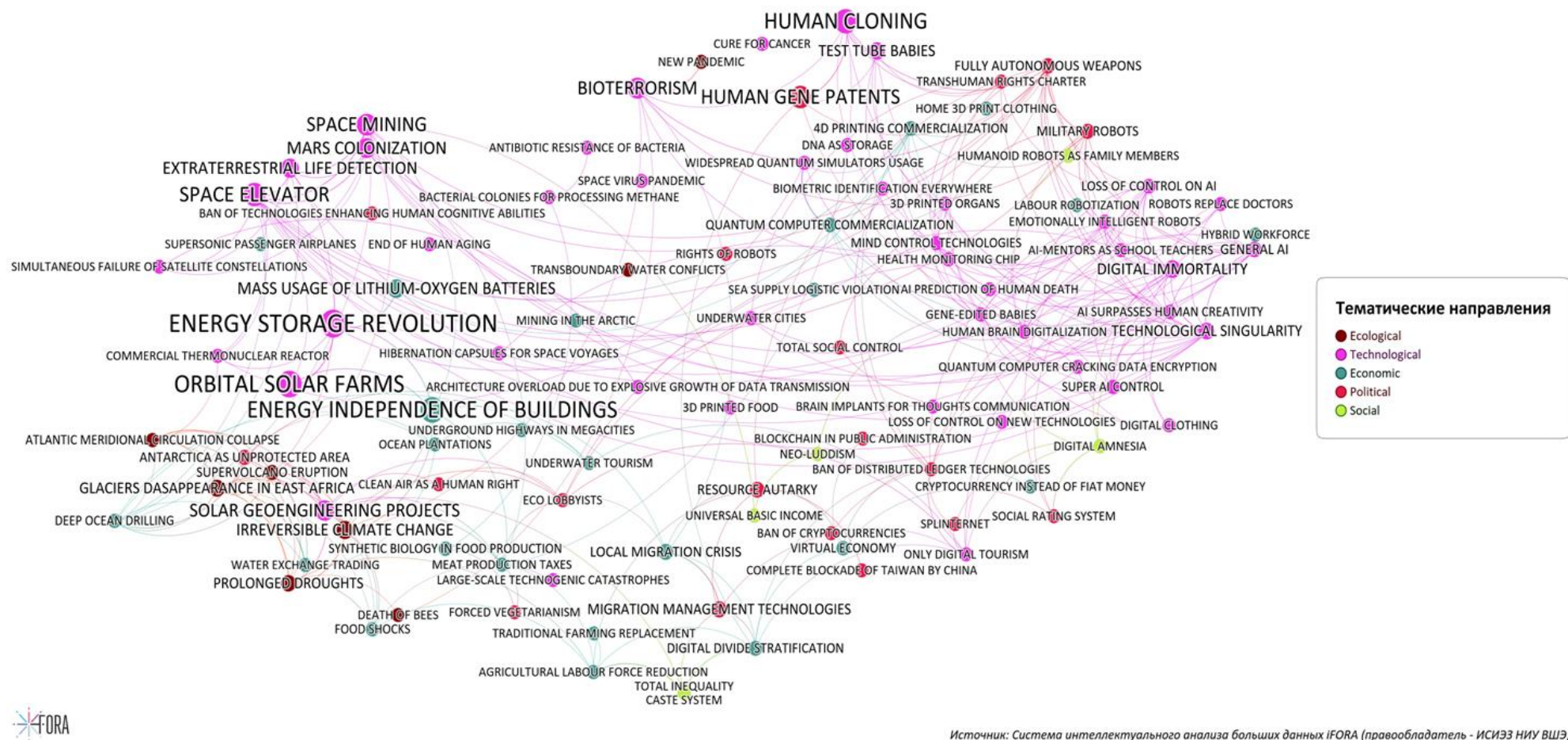


Рисунок 1 — Семантическая карта джокеров по близости, высокая плотность ребер

Согласно представленной на рисунке 1 карте, можно проследить взаимосвязи как между кластерами джокеров, так и между джокерами в отдельности по каждому из пяти представленных тематических направлений. При этом размеры определенных терминов могут быть больше, чем размеры других, что связано с частотой упоминаемости: термины, которые наиболее часто упоминаются в исследованных документах, имеют более крупный размер по сравнению с остальными терминами. Ребра соединяют между собой термины, имеющие семантическую близость. Например, если определенный термин имеет три ребра, это означает, что он семантически близок с другими тремя терминами. Следовательно, чем больше ребер у конкретного термина, тем больше он имеет семантических связей с другими терминами. На карте можно выделить множество сложных взаимосвязей, которые будут описаны ниже в рамках каждого кластера.

На рисунке 2 представлена менее «плотная» семантическая карта событий-джокеров, т.е. на ней отображены только часть связей между событиями.

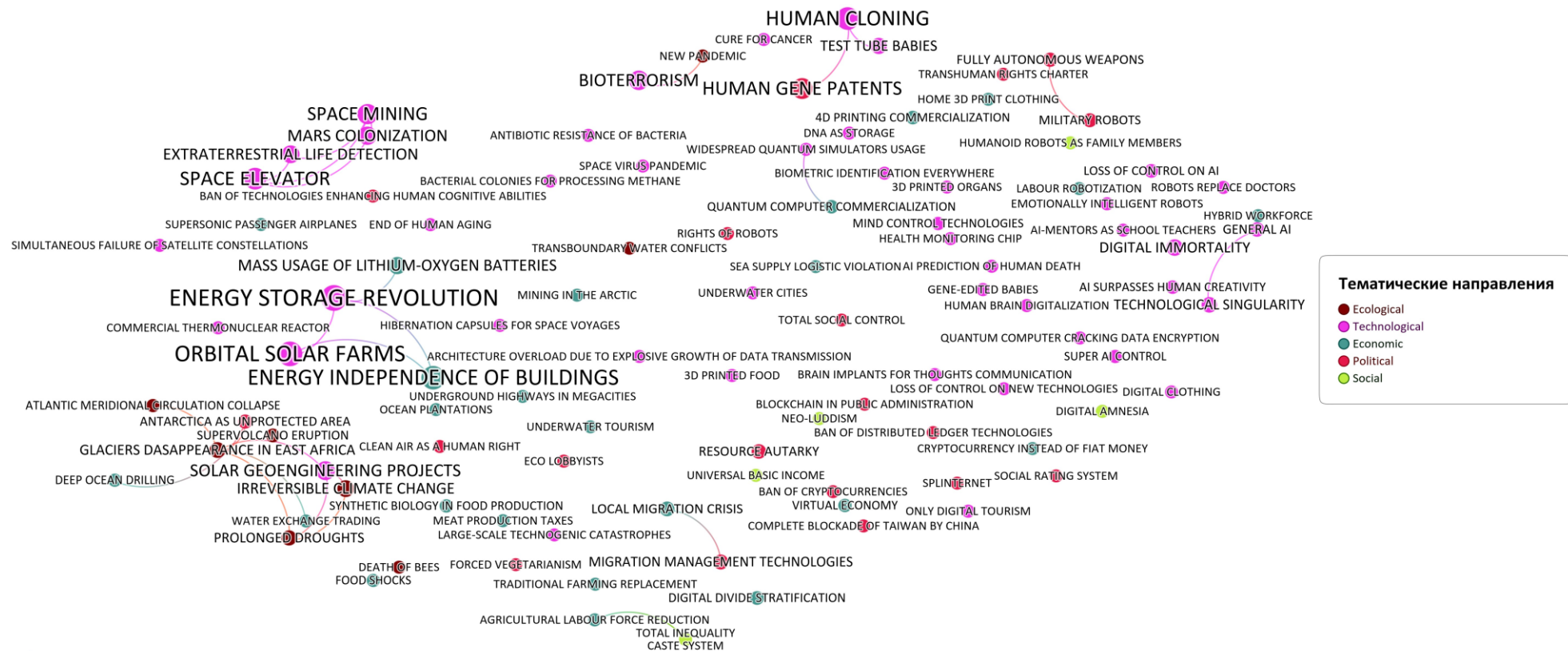


Рисунок 2 — Семантическая карта джокеров по близости, низкая плотность ребер

На рисунке 2 представлены только максимальные значения показателя семантической близости (максимально сильные взаимосвязи). Ввиду этого, плотность карты на рисунке 2 низкая, но это дает возможность проследить сильные взаимосвязи между кластерами джокеров. Например, энергетическая независимость зданий (energy independence of buildings) из экономического кластера связана с революцией в накопителях энергии (energy storage revolution) из технологического кластера, а использование современных технологий для управления миграционными потоками (migration management technologies) из политического кластера связан с локальными миграционными кризисами (local migration crisis) из экономического кластера. В первом случае взаимосвязь объясняется тем, что наличие энергонакопителей является одним из важных условий обеспечения энергетической независимости зданий. Во втором случае использование современных технологий для управления миграционными потоками и локальные миграционные кризисы также тесно связаны, но принадлежат к разным кластерам. Новые технологии управления в сфере миграции используются для реализации определенных политических мер как для повышения эффективности менеджмента, так и для ответа на возникновение миграционных кризисов.

На рисунке 3 представлена семантическая карта по близости джокеров в кластере «экология» с высокой плотностью ребер.



Рисунок 3 — Семантическая карта джокеров кластера «Экология» по близости, высокая плотность ребер

Самым крупным термином в рамках данного кластера является резкое и необратимое изменение климата (irreversible climate change): он связан с исчезновением ледников в Восточной Африке (glaciers disappearance in East Africa), извержением супервулкана (supervolcano eruption) и продолжительными засухами (prolonged droughts). Показатели семантической близости между необратимым изменением климата (irreversible climate change) и другими упомянутыми джокерами составляют 0,5, 0,3 и 0,6 соответственно. Это означает, что необратимые климатические изменения в большей

степени связаны с длительными засухами, чем с извержением супервулкана (чем выше показатель семантической близости между двумя джокерами, тем сильнее взаимосвязь между ними).

Наименьшее количество ребер в рамках кластера «экология» относится к гибели пчел (death of bees): этот джокер связан только с продолжительными засухами (prolonged droughts) (значение показателя семантической близости — 0,3). Связь между гибелью пчел и длительными засухами является слабой. Это говорит о том, что засухи, скорее всего, не смогут спровоцировать гибель пчел, или же смогут, но с достаточно низкой вероятностью.

На рисунке 4 представлена семантическая карта по близости джокеров в кластере «экология» с низкой плотностью ребер.

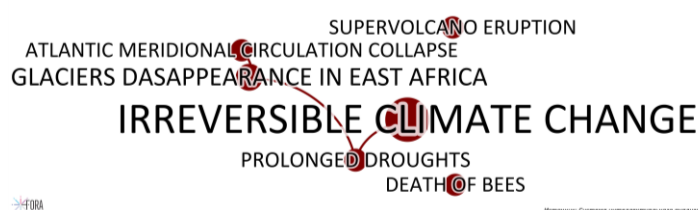


Рисунок 4 — Семантическая карта джокеров кластера «Экология» по близости, низкая плотность ребер

На данной карте (на рисунке 4) отражены только максимальные показатели семантической близости. Здесь можно наблюдать попарные взаимосвязи: необратимых климатических изменений (irreversible climate change) и продолжительных засух (prolonged droughts), продолжительных засух и исчезновения ледников в Восточной Африке (glaciers disappearance in East Africa), исчезновения ледников в Восточной Африке и коллапса Атлантической меридиональной циркуляции (Atlantic meridional circulation collapse). Исходя из цепочки наблюдаемых взаимосвязей, можно предположить, что необратимые климатические изменения могут спровоцировать возникновение всех указанных выше событий, связанных с ними. Например, возникновение климатических изменений может привести как к продолжительным засухам, так и к исчезновению ледников в Восточной Африке и коллапса Атлантической меридиональной циркуляции, поскольку все эти события сильно зависят от климатической обстановки на Земле.

На рисунке 5 представлена семантическая карта по близости джокеров в кластере «технологии» с высокой плотностью ребер.



Рисунок 6 — Семантическая карта джокеров кластера «Технологии» по близости, низкая плотность ребер

На рисунке 6 отражены только взаимосвязи, соответствующие максимальным значениям показателя семантической близости. Таким образом, максимальные показатели соответствуют взаимосвязям между технологической сингулярностью (technological singularity) и общим искусственным интеллектом (general AI). Одним из определений технологической сингулярности является ускорение технологического развития, что тесно связано с развитием ИИ, которое, в свою очередь, может привести к появлению общего (сильного) ИИ.

Также тесно связаны между собой добыча полезных ископаемых на астероидах (space mining), обнаружение внеземных форм жизни (extraterrestrial life detection) и колонизация Марса (Mars colonization). Природные ресурсы Земли являются исчерпаемыми, потому возможным становится использование ресурсов Марса и астероидов, что также предполагает добычу полезных ископаемых в космосе. Это повышает вероятность обнаружение внеземных форм жизни.

На рисунке 7 представлена семантическая карта по близости джокеров в кластере «Экономика» с высокой плотностью ребер.



Рисунок 7 — Семантическая карта джокеров кластера «Экономика» по близости, высокая плотность ребер

Согласно карте (рисунок 7), самыми крупными джокерами с наибольшим количеством связей являются массовое использование литий-кислородных аккумуляторов в электрических автомобилях (mass usage of lithium-oxygen batteries) и энергетическая независимость зданий (energy independence of buildings). Данные джокеры не взаимосвязаны друг с другом. Массовое использование литий-кислородных аккумуляторов слабо связано с коммерциализацией 4D-печати (4D printing commercialization) (показатель семантической близости — 0,3). Такая связь может объясняться тем, что в 4D-принтерах могут использоваться литий-кислородные аккумуляторы, однако связь, ввиду своего низкого значения, является неочевидной. Энергетическая независимость зданий также является слабо взаимосвязанной с локальными миграционными кризисами (local migration crisis, 0,32) и ростом налогов на производство мяса (meat production taxes, 0,38). Таким образом, в экономическом кластере отсутствуют сильные и средние взаимосвязи между джокерами, в которых показатель семантической близости был бы больше, чем 0,5.

На рисунке 8 представлена семантическая карта по близости джокеров в кластере «экономика» с низкой плотностью ребер.

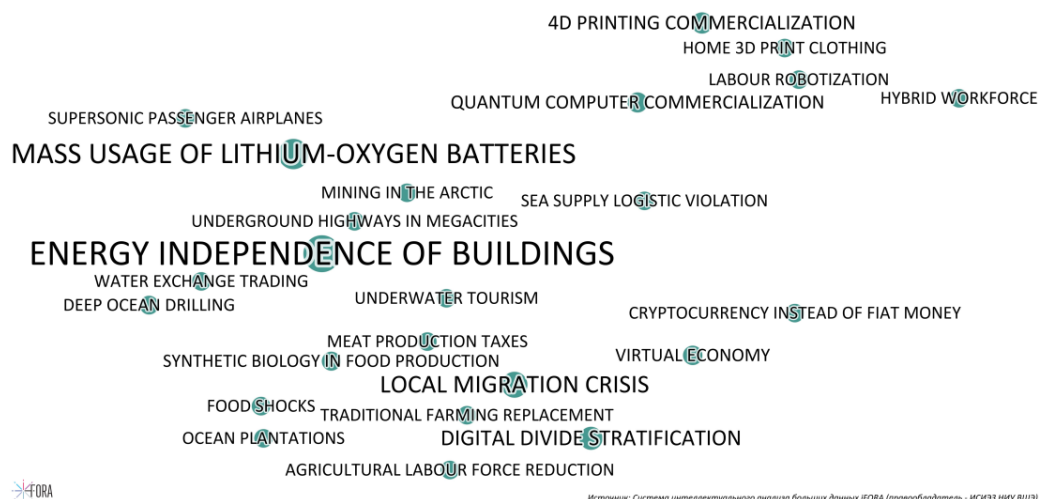


Рисунок 8 — Семантическая карта джокеров кластера «Экономика» по близости, низкая плотность ребер

На рисунке выше, в целом, не представлено ни одного ребра, соответственно, в рамках экономического кластера отсутствуют сильные взаимосвязи между джокерами.

На рисунке 9 представлена семантическая карта по близости джокеров в кластере «политика» с высокой плотностью ребер.

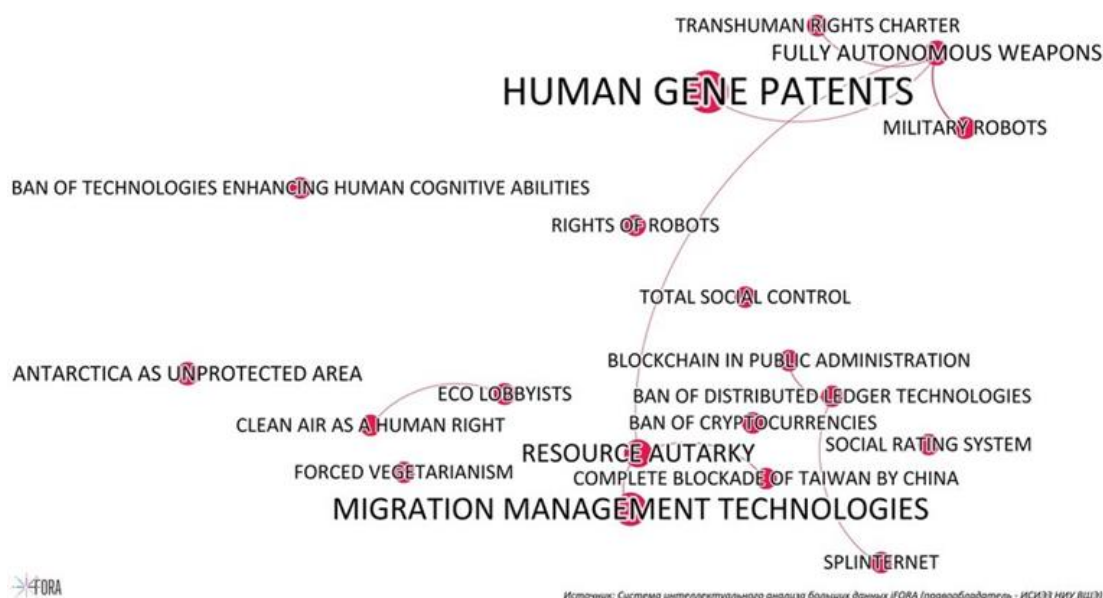


Рисунок 9 — Семантическая карта джокеров кластера «Политика» по близости, высокая плотность ребер

Самым крупным джокером в рамках кластера «политика» является выдача патентов на ДНК человека (human gene patents), эта тема часто упоминается, но явных связей с другими джокерами она не имеет (кроме распространения автономных систем вооружения (fully autonomous weapons). Распространение автономных систем вооружения связано с

заменой людей роботизированными технологиями в вооруженных конфликтах (military robots) (0,59), принятием хартии прав трансчеловека (transhuman rights charter) (0,37) и появлением ресурсных автархий (resource autarky) (0,29). Также связь присутствует между определением научной повестки эко лоббистами (eco lobbyists) и правом на чистый воздух (clean air as a human right).

Поочередно связанными джокерами являются сплинтернет (раздробление интернет-экосистемы на национальные интрасети) (splinternet), ограничение на использование открытых распределенных реестров (ban of distributed ledger technologies) и использование технологии блокчейн в государственном управлении (blockchain in public administration).

На рисунке 10 представлена семантическая карта по близости джокеров в кластере «политика» с низкой плотностью ребер.

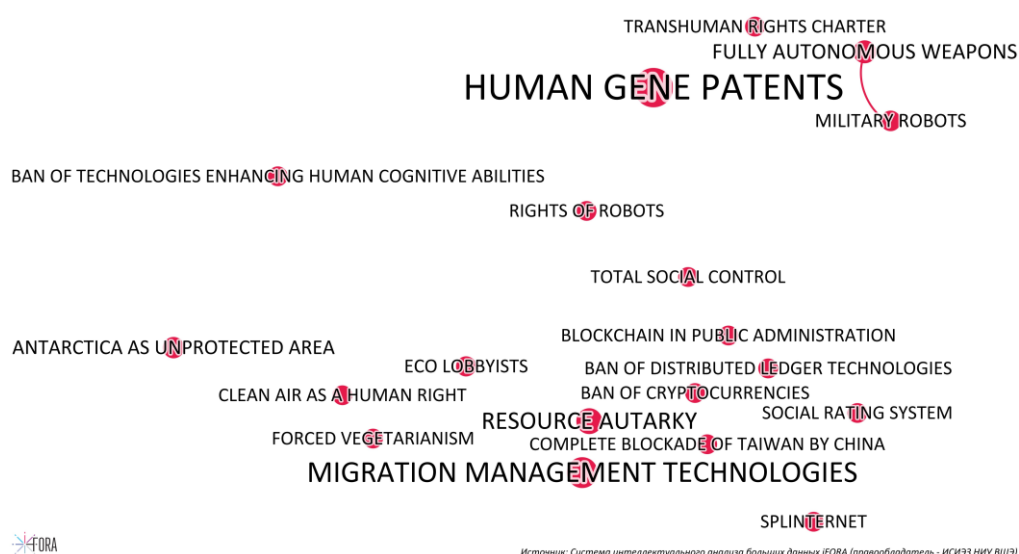


Рисунок 10 — Семантическая карта джокеров кластера «Политика» по близости, низкая плотность ребер

Согласно представленной карте с низкой плотностью ребер в рамках политического кластера, на ней отражена только одна взаимосвязь, которая выше была отмечена как средняя — между распространением автономных систем вооружения (fully autonomous weapons) и заменой людей роботизированными технологиями в вооруженных конфликтах (military robots). Слабые связи, представленные на карте на рисунке 9, на карте с меньшей плотностью ребер не отражены.

На рисунке 11 представлена семантическая карта по близости джокеров в кластере «социальная сфера» с высокой плотностью ребер.

NEO-LUDDISM
UNIVERSAL BASIC INCOME
**TOTAL INEQUALITY
CASTE SYSTEM**

DIGITAL AMNESIA

Источник: Система интеллектуального анализа Больших Данных (ГОДА) (правовладелец – ИСХИ НИУ ВШЭ)

Рисунок 11 — Семантическая карта джокеров кластера «Социальная сфера» по близости, высокая плотность ребер

Кластер «социальная сфера», даже при условии высокой плотности ребер, является наименее «плотным» среди всех остальных кластеров, рассмотренных выше. На представленной карте можно наблюдать только одну взаимосвязь — между распространением неолуддизма (neo-luddism) и повсеместным введением универсального базового дохода (universal basic income). Показатель семантической близости между распространением неолуддизма и повсеместным введением универсального базового дохода составляет 0,30. Данная взаимосвязь — на границе слабой и средней степеней. Отсутствие взаимосвязей между другими джокерами в кластере «социальная сфера» может быть объяснено тем, что они могут быть связаны с джокерами из других кластеров.

На рисунке 12 представлена семантическая карта по близости джокеров в кластере «социальная сфера» с низкой плотностью ребер.

HUMANOID ROBOTS AS FAMILY MEMBERS

NEO-LUDDISM
UNIVERSAL BASIC INCOME
**TOTAL INEQUALITY
CASTE SYSTEM**

DIGITAL AMNESIA

Источник: Система интеллектуального анализа Больших Данных (ГОДА) (правовладелец – ИСХИ НИУ ВШЭ)

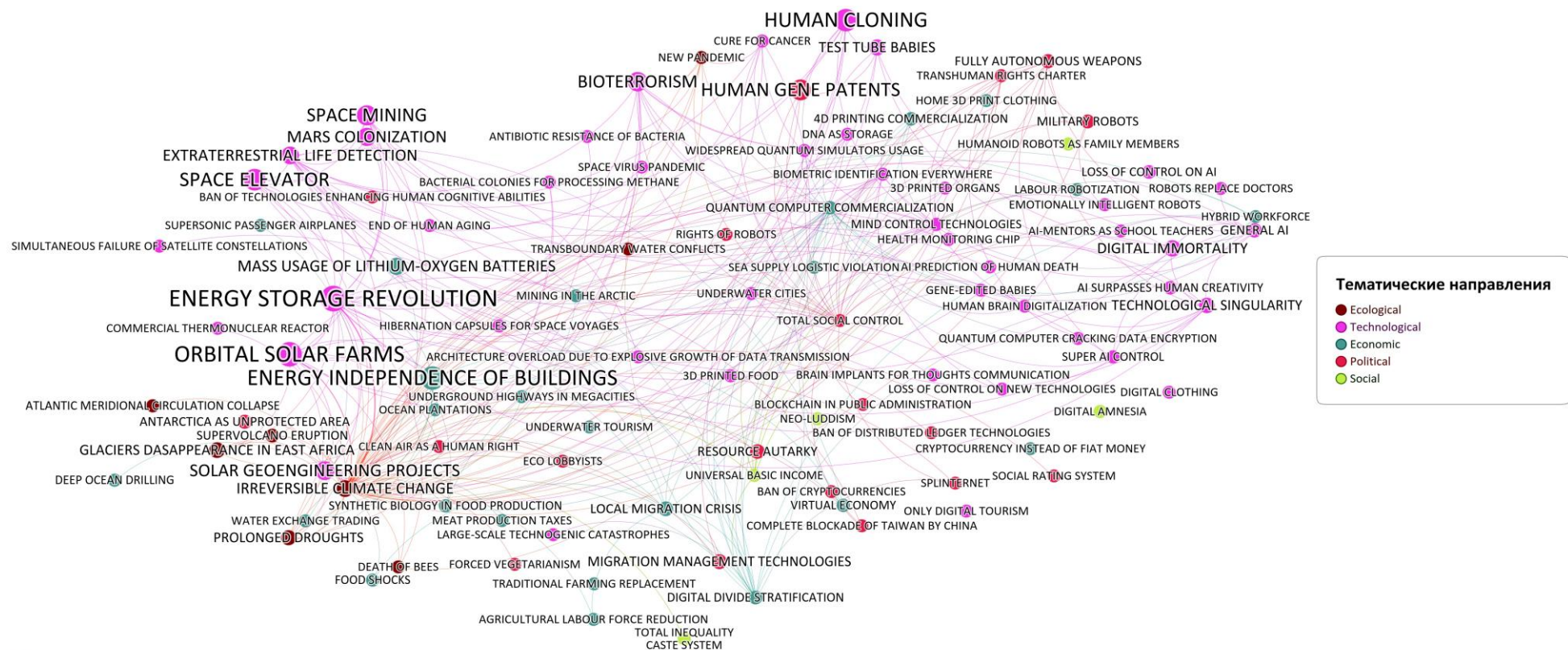
Рисунок 12 — Семантическая карта джокеров кластера «Социальная сфера» по близости, низкая плотность ребер

Как было указано выше, взаимосвязь между распространением неолуддизма и повсеместным введением универсального базового дохода граничит со средней и слабой взаимосвязью, следовательно, связь такого типа не была отражена на рисунке 12 с низкой плотностью ребер.

2.2 Совстречаемость джокеров

Совстречаемость отражает количество документов, в которых оба термина встретились одновременно. Чем выше значение показателя совстречаемости между двумя терминами, тем чаще они попарно встречаются в исследованном наборе документов. Например, если показатель совстречаемости между двумя джокерами равен 200 — это означает, что они оба были упомянуты вместе в 200 исследованных документах. Отличие совстречаемости от семантической близости, в первую очередь, заключается в способах расчета показателей: в случае с семантической близостью расчет происходит по специальной формуле, то в случае с совстречаемостью — это подсчет количества документов. Также, в отличие от семантической близости, совстречаемость не отражает наличие и силу взаимосвязи между событиями-джокерами, а показывает количество документов, в которых попарно встретились те или иные термины.

На рисунке 13 представлена общая семантическая карта по совстречаемости джокеров с высокой плотностью ребер.



Источник: Система интеллектуального анализа больших данных IFORA (правообладатель - ИСИЭЗ НИУ ВШЭ)

Рисунок 13 — Семантическая карта джокеров по встречаемости, высокая плотность ребер

На представленной на рисунке 13 карте можно наблюдать высокую плотность сети. Следовательно, у большинства терминов достаточно высокая совстречаемость. Например, климатические изменения (irreversible climate change) и революция в накопителях энергии (energy storage revolution) имеют максимальную совстречаемость среди всех других джокеров и встречаются вместе в исследованных документах 3420 раз.

На рисунке 14 представлена менее плотная семантическая карта событий-джокеров по совстречаемости.

Сравнивая рисунок 13 и рисунок 14, можно отметить, что на рисунке 14 отражены только те связи между джокерами, которые соответствуют максимальным показателям совстречаемости — встречаются в большем количестве проанализированных документов.

На рисунке 15 представлена семантическая карта по совстречаемости джокеров в кластере «экология» с высокой плотностью ребер.

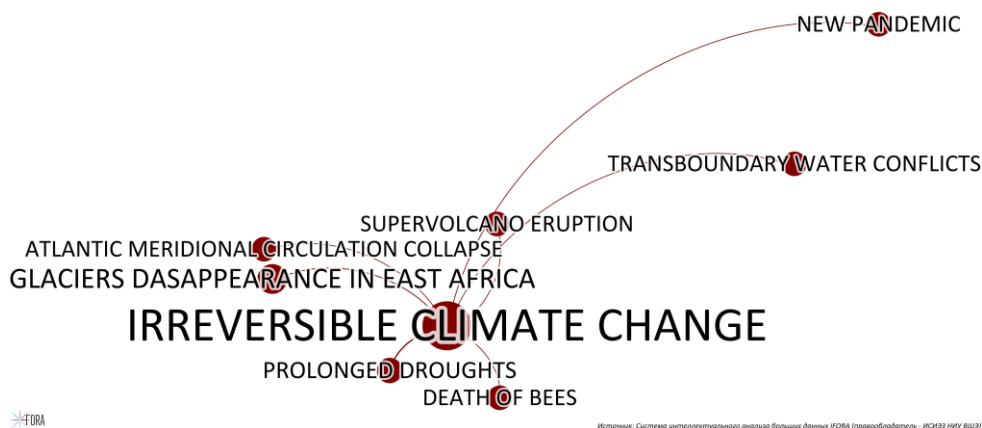


Рисунок 15 — Семантическая карта джокеров кластера «Экология» по совстречаемости, высокая плотность ребер

Исходя из карты, представленной на рисунке 15, можно отметить, что не все термины связаны только с одним термином, который имеет максимальную центральность во всей сети — резкое изменение климата и необратимые последствия для экологии (irreversible climate change). Это говорит о том, что резкое изменение климата попарно встречается с каждым джокером рассматриваемой карты в массиве исследованных документов. Также ни один из остальных джокеров не встречается в документах ни с одним другим джокером, входящим в экологический кластер, кроме резкого изменения климата. Таким образом, резкое изменение климата взаимосвязано, например, и с гибелью пчел (death of bees), и с возникновением новых пандемий (new pandemic), и с продолжительными засухами (prolonged droughts).

На рисунке 16 представлена семантическая карта по совстречаемости джокеров в кластере «экология» с низкой плотностью ребер.

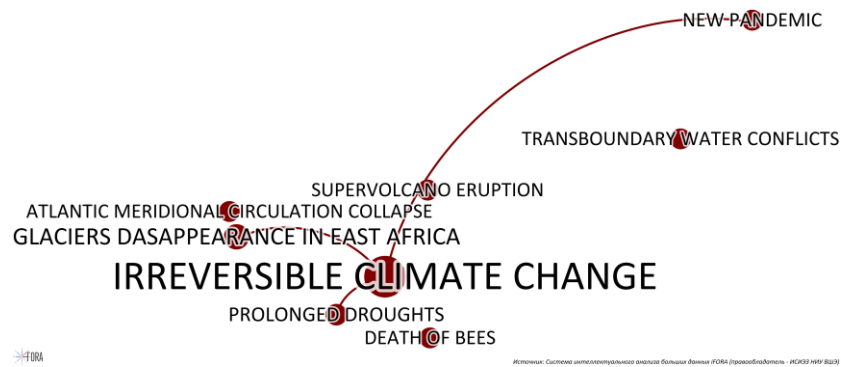


Рисунок 16 — Семантическая карта джокеров кластера «Экология» по совстречаемости, низкая плотность ребер

Судя по представленной карте с низкой плотностью ребер, чаще всего резкие изменения климата (irreversible climate change) в исследованных документах встречаются с исчезновением ледников в Восточной Африке (glaciers disappearance in East Africa) и с возникновением новых пандемий. Это говорит о том, что у резких изменений климата с данными джокерами наиболее сильная взаимосвязь, чем с любыми другими джокерами, принадлежащими к экологическому кластеру.

На рисунке 17 представлена семантическая карта по совстречаемости джокеров в кластере «технологии» с высокой плотностью ребер.

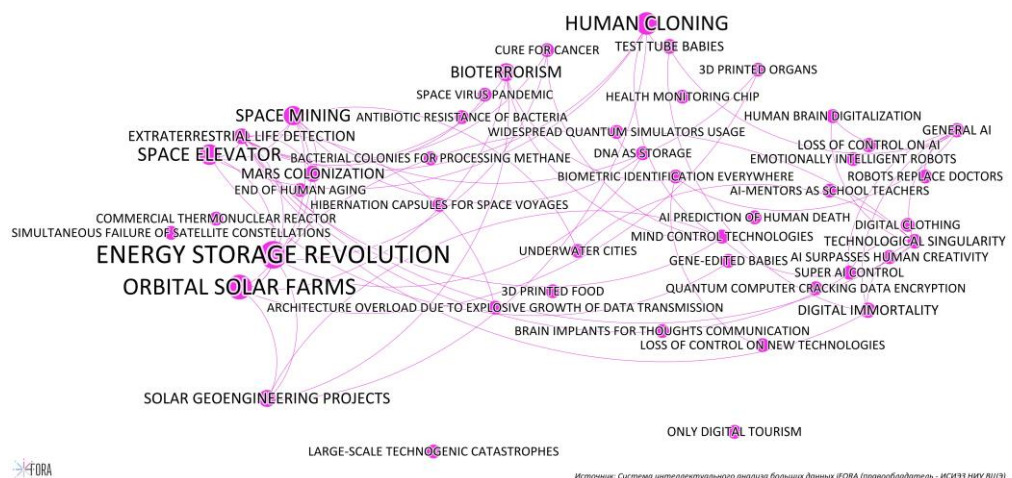


Рисунок 17 — Семантическая карта джокеров кластера «Технологии» по совстречаемости, высокая плотность ребер

Исходя из карты, представленной на рисунке 17, можно отметить, что наиболее крупными терминами, как и в случае с аналогичной картой по семантической близости, являются революция в накопителях энергии (energy storage revolution), орбитальные солнечные фермы (orbital solar farms) и распространение клонирования людей (human cloning). В случае с совстречаемостью, более крупный размер термина, относящегося к

событию-джокеру, означает большое количество работ, в котором этот термин встречается. Таким образом, наиболее часто встречающимися в документах джокерами являются революция в накопителях энергии, орбитальные солнечные фермы и распространение клонирования людей.

На рисунке 18 представлена семантическая карта по совстречаемости джокеров в кластере «технологии» с низкой плотностью ребер.



Рисунок 18 — Семантическая карта джокеров кластера «Технологии» по совстречаемости, низкая плотность ребер

На карте (рисунок 18) практически не представлены связи между событиями. Единственная взаимосвязь, присутствующая в рамках кластера «технологии» с низкой плотностью ребер, — между революцией в накопителях энергии и орбитальными солнечными фермами, которые попарно встречаются в большем количестве исследований, чем другие джокеры.

На рисунке 19 представлена семантическая карта по совстречаемости джокеров в кластере «экономика» с высокой плотностью ребер.

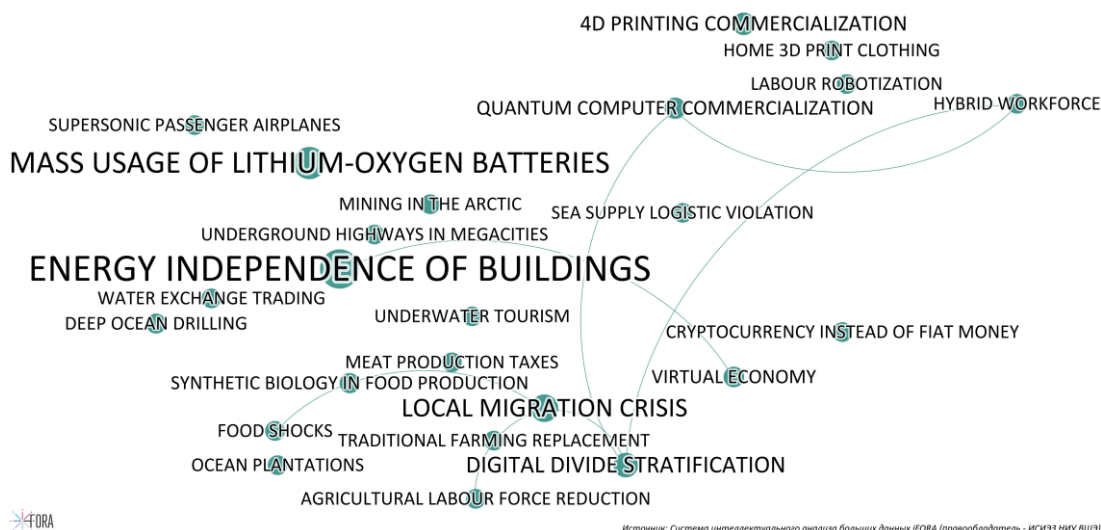


Рисунок 19 — Семантическая карта джокеров кластера «экономика» по совстречаемости, высокая плотность ребер

Сеть на этой карте имеет сравнительно низкую плотность, следовательно, малое количество джокеров попарно встречаются в исследованном наборе документов. Согласно плотности, можно сделать предварительный вывод об отсутствии сильных взаимосвязей (частых попарных совстречаемостей) событий-джокеров в рамках экономического кластера. Несмотря на это, у некоторых джокеров присутствует попарная совстречаемость. Например, энергетическая независимость зданий (energy independence of buildings) встречается в текстах, где упоминается вытеснение реальной экономики виртуальной (virtual economy), данные термины могут упоминаться в одном контексте. Также поочередная совстречаемость наблюдается у продовольственных шоков (food shocks), расширения доли синтетической биологии в производстве продуктов питания (synthetic biology in food production), локальных миграционных кризисов (local migration crisis) и закреплении границ между разными социальными группами, поддерживаемым цифровым неравенством (digital divide stratification). Можно предположить, что появление продовольственных шоков может поочередно спровоцировать указанные события, вплоть до разграничения социальных групп ввиду цифрового неравенства. Это может быть связано с тем, что продовольственные шоки, вызванные, к примеру, климатическими изменениями, повлияют на доступность тех или иных продуктов питания, что вызовет необходимость производства этих продуктов при помощи синтетической биологии. Так или иначе, это может привести к проблемам с экономикой и продовольственной безопасностью, что вызовет возникновение локальных миграционных кризисов, которые, в свою очередь,

приведут к усилению социального неравенства и закреплению четких границ между различными социальными группами, поддерживаемому цифровым неравенством.

На рисунке 20 представлена семантическая карта по совстречаемости джокеров в кластере «экономика» с низкой плотностью ребер.

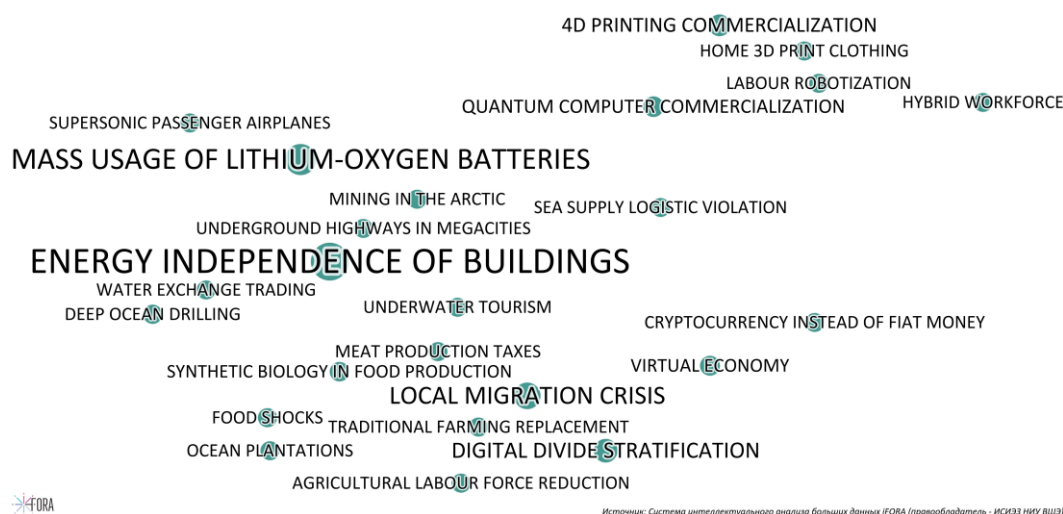


Рисунок 20 — Семантическая карта джокеров кластера «Экономика» по совстречаемости, низкая плотность ребер

Эта карта подтверждает предположение об отсутствии частых попарных совстречаемостей между джокерами, поскольку представлена полностью пустая сеть без ребер. Это означает, что ни один из джокеров, представленных в кластере «экономика», не имеет частой попарной совстречаемости с любым другим джокером из данного кластера.

На рисунке 21 представлена семантическая карта по совстречаемости джокеров в кластере «политика» с высокой плотностью ребер.

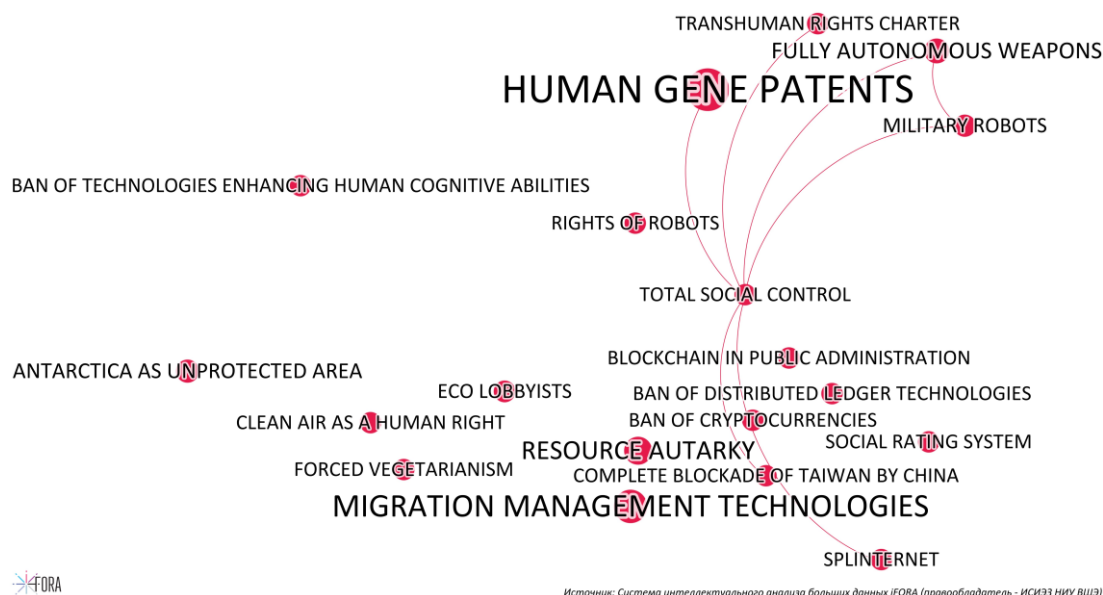


Рисунок 21 — Семантическая карта джокеров кластера «политика» по совстречаемости, высокая плотность ребер

Здесь сеть имеет достаточно низкую плотность. Несмотря на это, максимальное количество попарных совстречаемостей относится к тотальному контролю над поведением населения (total social control). Этот джокер попарно встречается с наибольшим количеством других джокеров в рассмотренных научных работах в рамках политического кластера. Например, появление тотального контроля упоминается в одних работах со сплинтернетом (splinternet) и выдачей патентов на ДНК человека (human gene patents). Это может быть объяснено тем, что при условии появления тотального контроля будет необходимо появление национальных интрасетей в целях защиты национальной инфраструктуры от внешнего влияния. Также, тотальный контроль может быть связан с выдачей патентов на ДНК человека, что объясняется необходимостью поощрения государством частных научных разработок в этой области.

На рисунке 22 представлена семантическая карта по совстречаемости джокеров в кластере «политика» с низкой плотностью ребер.

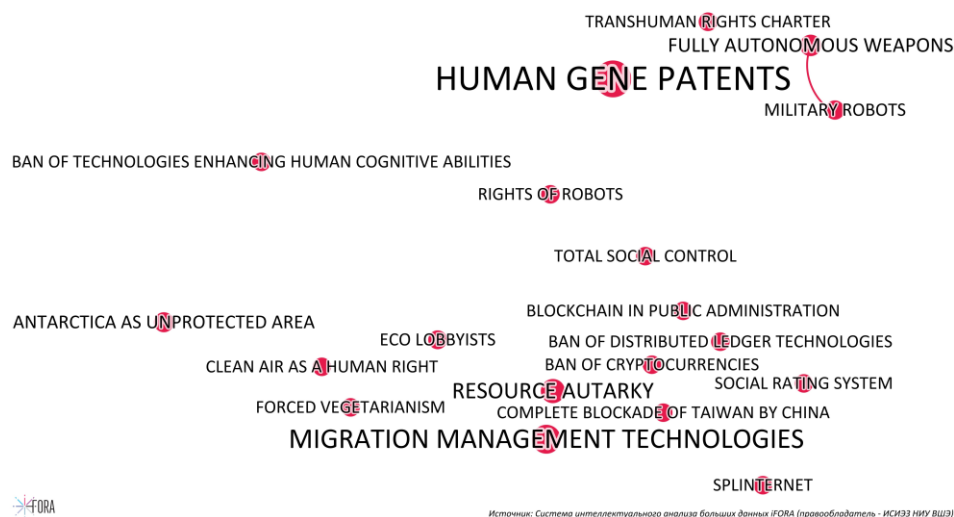


Рисунок 22 — Семантическая карта джокеров кластера «политика» по совстречаемости, низкая плотность ребер

Карта позволяет отметить только одну взаимосвязь — между широким распространением автономных систем вооружения (fully autonomous weapons) и заменой людей роботизированными технологиями в вооруженных конфликтах (military robots). Такой результат указывает на то, что два джокера чаще остальных других джокеров попарно встречаются в научных исследованиях, которые были проанализированы в рамках работы.

На рисунке 23 представлена семантическая карта по совстречаемости джокеров в кластере «социальная сфера» с высокой плотностью ребер.

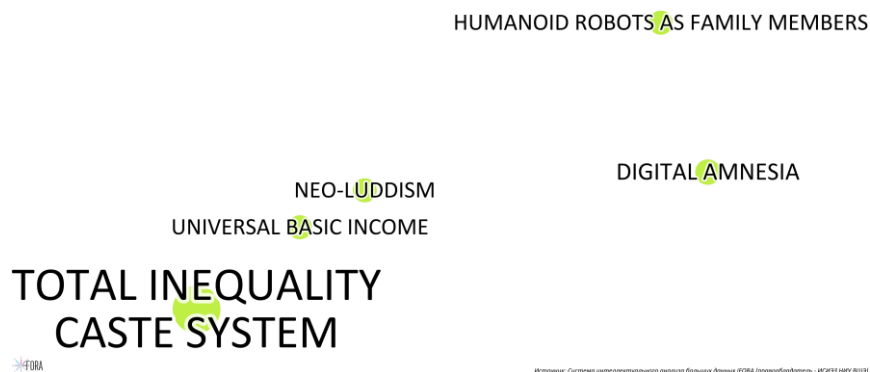


Рисунок 23 — Семантическая карта джокеров кластера «социальная сфера» по совстречаемости, высокая плотность ребер

На представленной карте отсутствуют какие-либо взаимосвязи. Это говорит о том, что ни один джокер, представленный в рамках кластера «социальная сфера», попарно не встречается с каким-либо другим джокером из данного кластера. Таким образом, джокеры в кластере «социальная сфера» не взаимосвязаны между собой в терминах совстречаемости.

На рисунке 24 представлена семантическая карта по совстречаемости джокеров в кластере «социальная сфера» с низкой плотностью ребер.

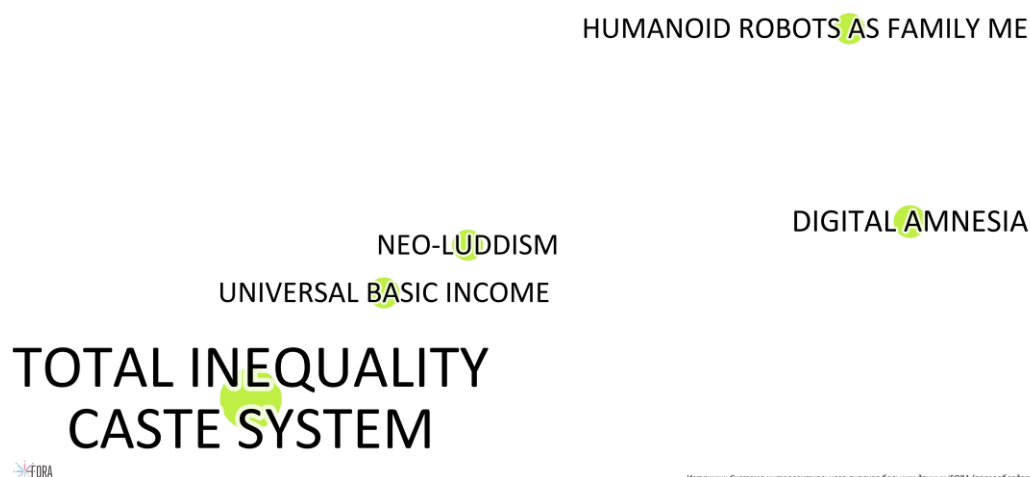


Рисунок 24 — Семантическая карта джокеров кластера «социальная сфера» по совстречаемости, низкая плотность ребер

Представленная карта с низкой плотностью ребер не отличается от карты с высокой плотностью ребер, которая была представлена на рисунке 23. Это также указывает на отсутствие взаимосвязей в терминах совстречаемости между джокерами, принадлежащими к кластеру «социальная сфера».

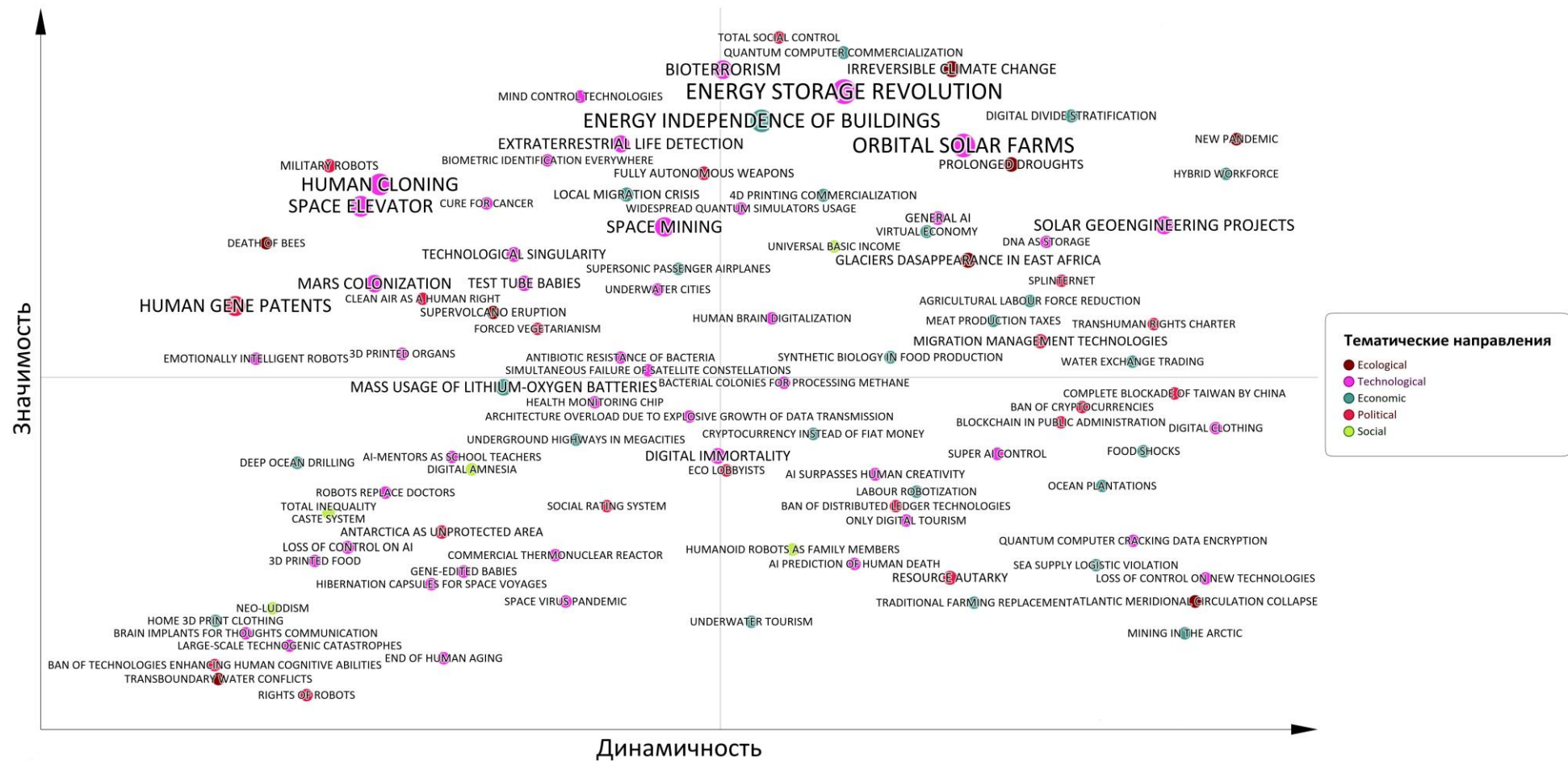
2.3 Семантические тренд-карты, применяемые для анализа событий-джокеров

Тренд-карты — это встроенный инструмент системы анализа больших данных iFORA, который был применен для анализа событий-джокеров. Основная суть тренд-карт заключается в том, что они демонстрируют группировку тематик, показанных на семантических картах, по четырем квадрантам. Данные карты отражают значимость и динамичность развития определенных событий, обозначенных на карте. Тренд-карты расположены в двумерном пространстве в четырех основных квадрантах:

- квадрант «Высокая значимость — низкая динамичность», содержит высоко значимые события, но при этом их значимость практически не увеличивается в динамике;
- квадрант «Высокая значимость — высокая динамичность», содержит наиболее значимые и динамично развивающиеся события, которые часто упоминаются в проанализированных документах;
- квадрант «Низкая значимость — низкая динамичность», содержит события, которые набирают популярность и могут развиваться в будущем;
- квадрант «Низкая значимость — высокая динамичность», содержит динамично развивающиеся события, но с относительно недостаточной значимостью.

По оси ординат расположена значимость, по оси абсцисс — динамичность событий-джокеров. Значимость отражает упоминаемость того или иного события в проанализированных документах, чем она выше, тем чаще джокер упоминается в рассмотренных работах. Динамичность показывает темпы изменения значимости в рамках временного периода, который был использован для анализа. Чем выше значение динамичности, тем быстрее выросла значимость (упоминаемость в исследованных источниках) события к концу анализируемого периода. В отличие от карт, проанализированных выше, тренд-карты не отражают семантическую близость, но позволяют интерпретировать события-джокеры в соответствии с их динамичностью и значимостью.

На рисунке 25 представлена семантическая тренд-карта исследованных событий-джокеров.



Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA (правообладатель - ИСИЭЗ НИУ ВШЭ)

Рисунок 25 — Семантическая тренд-карта событий-джокеров

Термины, обозначающие слабопредсказуемые события, достаточно равномерно распределены на тренд-карте. Джокерами с наиболее высокой значимостью являются события, расположенные во втором квадранте, обозначающем высокую значимость и высокую динамичность событий. К таким относятся, например, орбитальные солнечные фермы (orbital solar farms), революция в накопителях энергии (energy storage revolution), энергетическая независимость зданий (energy independence of buildings), наступление новых пандемий (new pandemic). Чем выше значимость и динамичность событий, тем чаще и больше они упоминаются в проанализированных документах, т.е. сигналов для развития этих джокеров, а также опасений, с ними связанных, довольно много.

В первом квадранте содержатся значимые события, динамичность которых не высока. К таким событиям относятся распространение клонирования людей (human cloning), появление космического лифта (space elevator), выдача патентов на ДНК человека (human gene patents). С точки зрения значимости, упоминание этих событий в исследованном наборе работ достаточно велико, однако этот показатель с течением времени может увеличиваться медленно.

Третий квадрант содержит события, частота упоминания которых в исследованном наборе источников невысока, однако темп роста этих упоминаний достаточно высокий. К таким событиям относятся продовольственные шоки (food shocks), появление ресурсных автаркий (resource autarky), потеря человечеством контроля над новейшими технологиями (loss of control on new technologies).

В четвертом квадранте находятся события, набирающие популярность и имеющие потенциал к развитию в будущем: утрата Антарктидой статуса заповедной территории (Antarctica as unprotected area), массовое использование литий-кислородных аккумуляторов (mass usage of lithium-oxygen batteries), повсеместное внедрение систем социальных рейтингов (social rating system). Данные события сравнительно редко упоминаются в исследованном наборе источников, а также имеют низкий темп роста их упоминаний. Несмотря на это, они имеют потенциал для роста и перехода в какой-либо другой квадрант, в зависимости от расположения. Ниже рассмотрены тренд-карты событий джокеров в рамках имеющихся тематических направлений.

На рисунке 26 представлена семантическая тренд-карта событий-джокеров кластера «Экология».

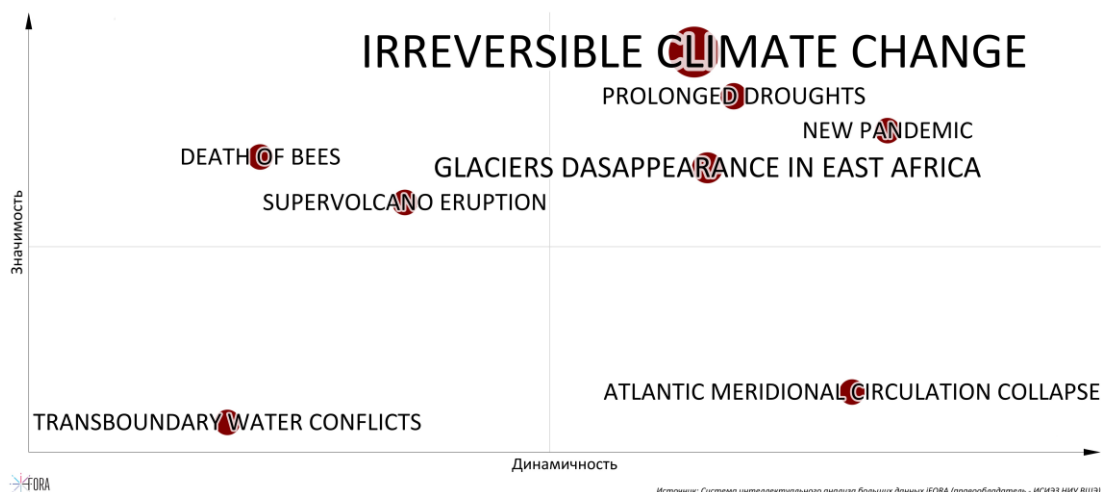


Рисунок 26 — Семантическая тренд-карта джокеров кластера «Экология»

В первом квадранте находятся такие события, как гибель пчел (death of bees) и извержение супервулкана (supervolcano eruption). Согласно значениям первого квадранта, упоминаемость данных событий в исследованном наборе документов достаточно высока, однако с течением времени она практически не растет, что «стабилизирует» события. Это говорит о том, что обсуждение данных событий уже может считаться стабильным, а их наступление, скорее всего, не станет неожиданностью.

Во втором квадранте расположены такие события, как резкое изменение климата (irreversible climate change), продолжительные засухи (prolonged droughts), возникновение новых пандемий (new pandemic) и исчезновение ледников в Восточной Африке (glaciers disappearance in East Africa). Согласно рисунку 26, данные события в проанализированных документах упоминаются достаточно часто, а также их упоминаемость растет с течением времени. Это может быть связано с широким обсуждением общественностью данных событий, а также с более высокой вероятностью их наступления. В третьем квадранте находится коллапс Атлантической меридиональной циркуляции (Atlantic meridional circulation collapse) — данное событие редко упоминается в исследованных документах, однако с течением времени его упоминаемость возрастает. Можно сказать, что коллапс Атлантической меридиональной циркуляции является маловероятным, но его обсуждаемость может значительно возрасти. В четвертом квадранте, к примеру, — трансграничные водные конфликты (transboundary water conflicts). Данное событие достаточно редко упоминается в проанализированных документах, но в будущем внимание к нему со стороны экспертов может значительно возрасти.

На рисунке 27 представлена семантическая тренд-карта событий-джокеров кластера «Технологии».

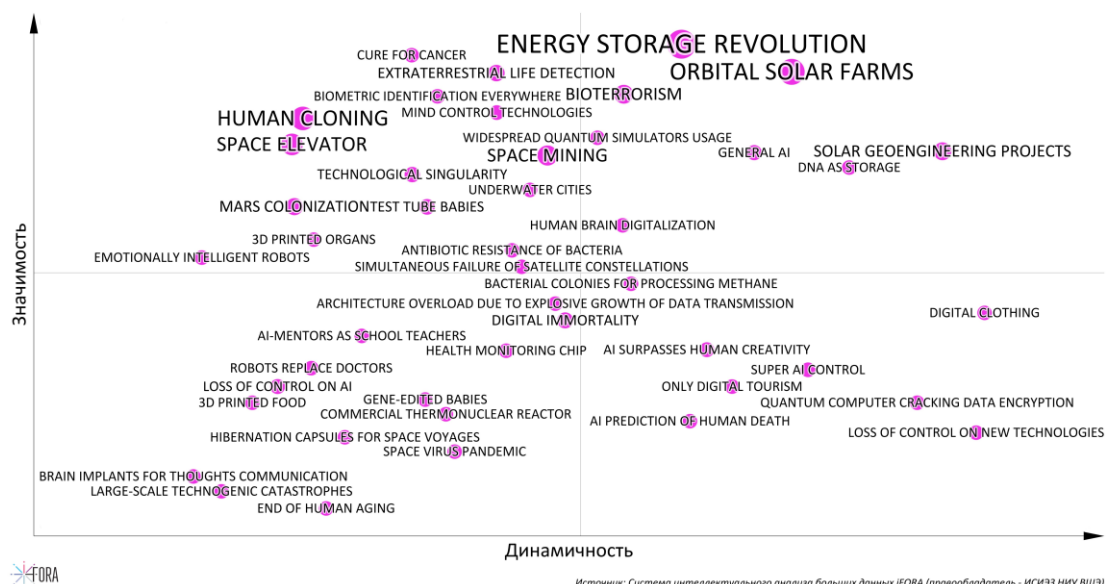


Рисунок 27 — Семантическая тренд-карта джокеров кластера «Технологии»

На представленной карте отражено максимальное количество событий-джокеров, содержащихся среди проанализированных кластеров. В первом квадранте расположены такие события, как распространение клонирования людей (human cloning), появление космического лифта (space elevator), добыча полезных ископаемых на астероидах (space mining). Обсуждение данных событий можно назвать стабильным — с течением времени количество их упоминаний в проанализированных работах растёт достаточно медленно. Это говорит о том, что значимость этих событий все еще является достаточно высокой, однако она уже не растёт.

Во втором квадранте расположены, например, революция в накопителях энергии (energy storage revolution), орбитальные солнечные фермы (orbital solar farms), появление общего ИИ (general AI). Согласно представленной карте (рисунок 27), упоминаемость данных событий в проанализированных документах, а также динамика упоминаемости с течением времени, достаточно высока. Это значит, что события из второго квадранта являются достаточно обсуждаемыми в инфополе, следовательно, являются наиболее значимыми среди остальных джокеров.

В третьем квадранте расположены потеря человечеством контроля над новейшими технологиями (loss of control on new technologies), появление квантового компьютера, способного взламывать шифрование данных (quantum computer cracking data encryption), путешествия только через цифровую среду (only digital tourism). Данные события отличаются растущей динамикой упоминаемости с течением времени, однако их непосредственное упоминание в исследованных источниках происходит не слишком часто.

Это может объясняться тем, что указанные события только начали приобретать свою информационную популярность, и впоследствии могут иметь потенциал к дальнейшему развитию.

В четвертом квадранте находятся такие события, как полное замещение врачей роботами (robots replace doctors), печать продуктов питания на 3D-принтерах (3D printed food), генетический дизайн детей (gene-edited babies). Их упоминаемость в исследованных источниках, как и динамика упоминаемости во временном разрезе, являются достаточно низкими по сравнению с джокерами из других квадрантов. Тем не менее, можно предположить, что данные события могут активно набрать популярность, что приведет к росту их упоминаемости в различных новых исследованиях.

На рисунке 28 представлена семантическая тренд-карта событий-джокеров кластера «Экономика».

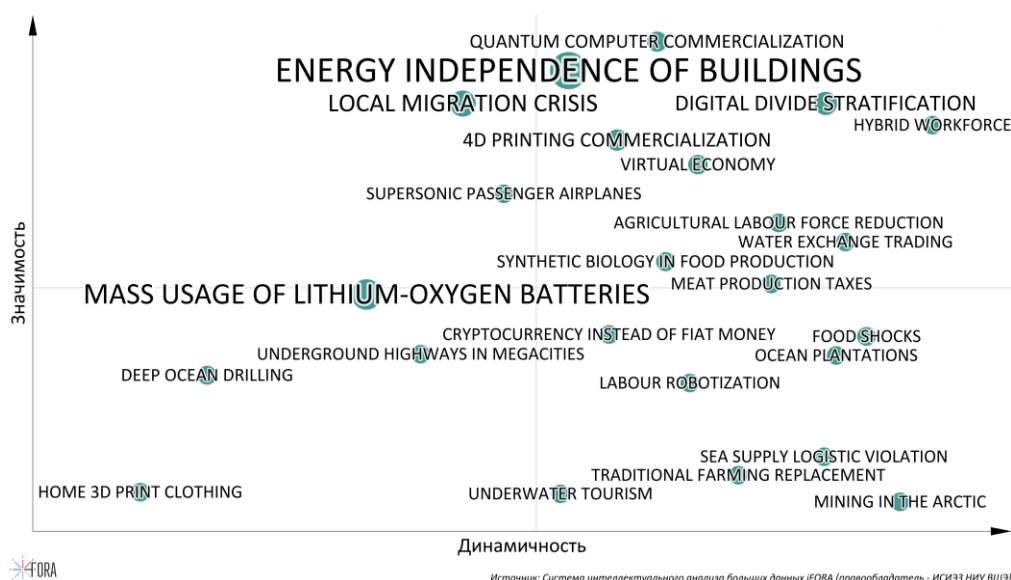


Рисунок 28 — Семантическая тренд-карта джокеров кластера «Экономика»

Согласно представленной карте, в первом, более «стабильном» квадранте, находится наименьшее количество событий по сравнению с другими квадрантами данного кластера — локальные миграционные кризисы (local migration crisis) и повсеместное использование сверхзвуковых самолетов (supersonic passenger airplanes). Согласно интерпретации самого квадранта, обсуждение и упоминание данных терминов в исследованиях являются достаточно частыми, однако с течением времени рост упоминаемости происходит достаточно слабо. Это говорит о том, что рост обсуждений этих событий практически не наблюдается.

Во втором квадранте расположено больше всего событий, принадлежащих к кластеру «экономика». Большая часть кластера является широко обсуждаемой, что может говорить о высокой значимости кластера в целом. Третий квадрант — следующий по «наполненности» после первого. Такие события, как продовольственные шоки (food shocks), океанические плантации (ocean plantations) и полная роботизация труда (labour robotization) имеют тенденцию к росту их упоминаемости в исследованных работах с течением времени. Это говорит о том, что события из данного квадранта все еще недостаточно значимы, но их значимость может возрасти в будущем за счет роста динамичности (упоминаемости в исследованиях во временной динамике).

Джокеры из четвертого квадранта — широкое распространение глубоководного бурения (deep ocean drilling), производство одежды на домашних 3D-принтерах (home 3D print clothing), появление подземных магистралей под мегаполисами (underground highways in megacities) — имеют низкую упоминаемость в исследованных источниках как по отдельности, так и во временной динамике. Например, появление подземных магистралей под мегаполисами развивается быстрее остальных джокеров из этого квадранта: частота его упоминаемости в исследованных источниках возрастает во временной перспективе. Это говорит о том, что указанное событие постепенно набирает популярность в инфополе и способно стать более обсуждаемым и, возможно, более вероятным к наступлению.

На рисунке 29 представлена семантическая тренд-карта событий-джокеров кластера «политика».

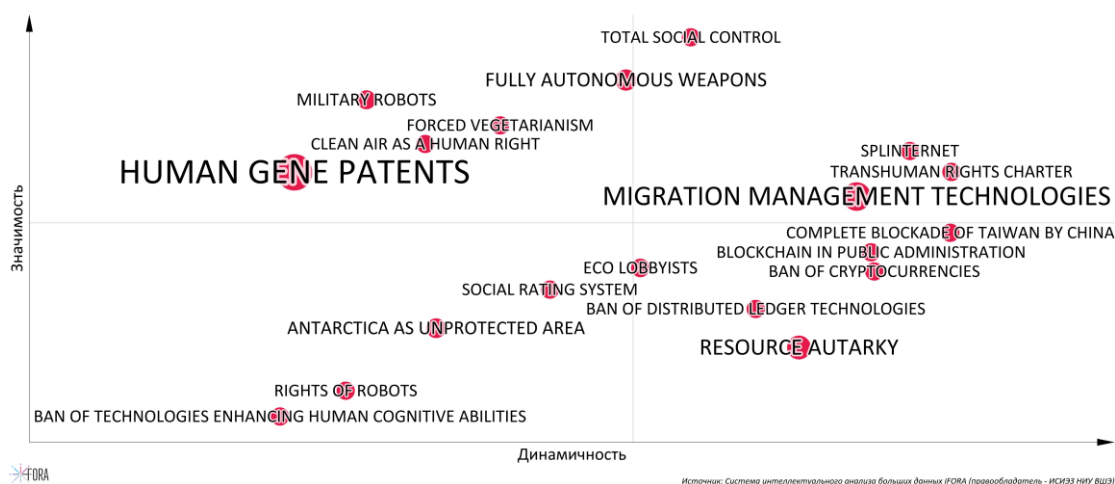


Рисунок 29 — Семантическая тренд-карта джокеров кластера «Политика»

В первом квадранте представлены такие события, как выдача патентов на ДНК человека (human gene patents), право на чистый воздух (clean air as a human right), принудительное вегетарианство (forced vegetarianism). Исходя из интерпретации данного

кластера, можно отметить, что упоминаемость данных событий в исследованных документах достаточно высока, однако во временной динамике она не возрастает и остается стабильной. Значимость данных событий не возрастает, но и не падает — они остаются стабильными в рамках инфополя. Это может привести как к дальнейшей «стагнации» этих событий, так и к их развитию. Второй квадрант является наименее наполненным и содержит всего четыре события, среди которых — использование современных технологий для управления миграционными потоками (migration management technologies) и сплинтернет (splinternet). События, находящиеся во втором квадранте, имеют высокую значимость и высокую динамичность, а значит, являются самыми упоминаемыми среди исследованного набора работ как по отдельности, так и во временной перспективе.

Второй квадрант отражает быстроразвивающиеся события, у которых наибольшая вероятность наступления среди всех остальных. Третий квадрант содержит такие события, как появление ресурсных автаркий (resource autarky), запрет на использование криптовалют (ban of cryptocurrencies) и использование технологии блокчейн в государственном управлении (blockchain in public administration). Согласно интерпретации третьего квадранта, можно отметить, что упоминаемость данных событий увеличивается во временной динамике. Это говорит о том, что они становятся более обсуждаемыми и упоминаемыми в исследованиях, что, в свою очередь, может положительно сказаться на значимости этих событий.

К четвертому квадранту относятся наделение роботов правами (rights of robots), утрата Антарктидой статуса заповедной территории (Antarctica as unprotected area), внедрение системы социальных рейтингов (social rating system). Расположение этих событий в четвертом квадранте говорит о том, что все они достаточно редко упоминаются в исследованных работах как по отдельности, так и во временной динамике. Несмотря на это, внедрение системы социальных рейтингов развивается быстрее всех остальных событий из четвертого квадранта: увеличивается динамика упоминаемости данного события во временной перспективе. Это может быть связано с популяризацией данной темы в инфополе, а также с проявлением интереса ученых к ее исследованию.

На рисунке 30 представлена семантическая тренд-карта событий-джокеров кластера «социальная сфера».

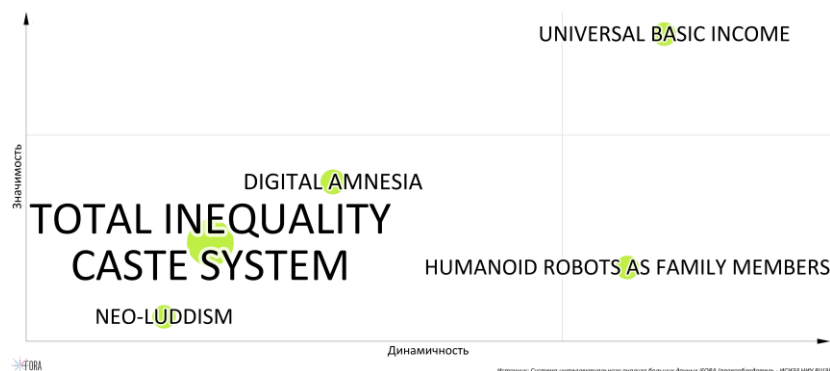


Рисунок 30 — Семантическая тренд-карта джокеров кластера «Социальная сфера»

Согласно представленной карте, первый квадрант является полностью пустым. Это говорит о том, что в рамках кластера «социальная сфера» еще не сформировалось устойчивых и стабильных событий, которые могли бы практически на постоянной основе обсуждаться в инфополе и упоминаться в исследовательских работах. Второй и третий кластеры содержат по одному событию — повсеместное введение универсального базового дохода (universal basic income) и принятие антропоморфных роботов в качестве членов семей (humanoid robots as family members). В случае второго квадранта, введение универсального базового дохода является часто упоминающимся событием, а также растущим в динамике по упоминаниям во временной перспективе. Это говорит о высокой информационной популярности события, что может быть связано с появлением большого количества исследований на эту тему.

В третьем квадранте, принятие антропоморфных роботов в качестве членов семей на текущий момент не является часто упоминающимся событием в рамках исследованного набора данных, однако набирает популярность. В дальнейшем возможен рост упоминаний этого события в новых исследованиях и, как следствие, рост его обсуждаемости в инфополе. Четвертый квадрант, по сравнению со всеми остальными квадрантами кластера «социальная сфера» является самым наполненным и включает в себя три события: эпоху тотального неравенства и разделение людей на касты (total inequality caste system), распространение неолуддизма (neo-luddism) и цифровую амнезию (digital amnesia). Данные события отличаются низкой упоминаемостью в исследованных работах, однако также имеют потенциал к развитию. Например, у цифровой амнезии растет динамичность: это говорит о том, что увеличивается упоминаемость данного события с течением времени.

3 Приоритизация слабопредсказуемых событий с учетом различных типов джокеров и возникающих эффектов в случае их реализации

Для анализа приоритизации слабопредсказуемых событий был проведен внутренний опрос экспертов НИУ ВШЭ, в котором приняли участие 34 человека. Опрос был проведен по 5 тематическим блокам:

- общество;
- наука;
- экономика;
- экология;
- политика.

На рисунке 31 приведена тепловая карта с распределением сотрудников по возрастам и должностям.

	Руководитель, заместитель руководителя организации	Руководитель, заместитель руководителя структурного подразделения	Специалист без руководящих функций	Другое
18-29 лет	0%	3%	18%	3%
30-39 лет	0%	18%	24%	0%
40-49 лет	3%	3%	6%	0%
50-59 лет	0%	0%	6%	0%
60-69 лет	0%	12%	0%	0%
70 лет и старше	0%	6%	0%	0%
Предпочитаю не отвечать	0%	0%	0%	0%

Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.

Рисунок 31 — Распределение респондентов по возрастам и занимаемым должностям

Согласно рисунку 31, больше всего опрошенных занимают должность специалиста без руководящих функций — 24%. Также в этой категории находится наибольшее количество сотрудников, входящих в возрастные группы 18-29, 30-39, 40-49 и 50-59 лет: 18%, 24%, и по 6% соответственно. Среди руководителей и заместителей руководителей структурных подразделений преобладает возрастная группа 30-39 лет, в которую входят 18% опрошенных. Наименее наполненными группами должностей являются «Руководитель, заместитель руководителя организации» и «Другое» — в них входят по 3% опрошенных соответственно. В возрастном разрезе преобладают сотрудники 30-39 лет — 18% из них находятся в должности руководителей и заместителей руководителей структурных подразделений, 24% — в должности специалистов без руководящих функций.

Блок «Общество»

На рисунке 32 представлена тепловая карта, отражающая вероятность наступления, время наступления, а также силу потенциального влияния на социально-экономическое развитие России джокеров, относящихся к блоку «Общество».

	Более чем половине населения Земли имплантированы чипы с целью мониторинга здоровья	Изобретено лекарство и/или вакцина от онкологии	Изобретена вакцина от ВИЧ	Наступление новых пандемий	Большинство бактерий резистентны к антибиотикам	Репродуктивное клонирование людей разрешено хотя бы в одной стране	Теракт с применением биологического оружия (минимум два события в год)	Наступила эпоха тотального технологического неравенства в обществе	Более 200 млн человек по всему миру — медиааскеты
	Вероятность наступления								
Событие не наступит	6%	6%	3%	0%	0%	0%	0%	6%	3%
Очень низкая	32%	3%	0%	6%	0%	24%	6%	9%	12%
Низкая	21%	12%	9%	3%	6%	29%	9%	6%	21%
Средняя	18%	47%	47%	24%	44%	6%	44%	21%	24%
Высокая	18%	18%	26%	62%	26%	32%	38%	50%	32%
Очень высокая	6%	15%	15%	6%	15%	9%	3%	9%	6%
Затрудняюсь ответить	0%	0%	0%	0%	9%	0%	0%	0%	3%
	Время наступления								
2024-2025 гг.	0%	0%	3%	3%	0%	0%	12%	6%	9%
2026-2030 гг.	3%	12%	24%	41%	18%	15%	24%	18%	29%
2031-2035 гг.	18%	32%	26%	32%	26%	12%	29%	18%	21%
2036-2050 гг.	47%	44%	35%	6%	32%	47%	18%	38%	15%
Событие не наступит	18%	9%	3%	0%	0%	15%	0%	15%	6%
Затрудняюсь ответить	15%	3%	9%	18%	24%	12%	18%	6%	21%

	Более чем половине населения Земли имплантированы чипы с целью мониторинга здоровья	Изобретено лекарство и/или вакцина от онкологии	Изобретена вакцина от ВИЧ	Наступление новых пандемий	Большинство бактерий резистентны к антибиотикам	Репродуктивное клонирование людей разрешено хотя бы в одной стране	Теракт с применением биологического оружия (минимум два события в год)	Наступила эпоха тотального технологического неравенства в обществе	Более 200 млн человек по всему миру — медиааскеты
	Сила влияния								
Не влияет	3%	3%	6%	3%	3%	6%	3%	3%	6%
Очень слабое	3%	3%	9%	3%	0%	12%	3%	3%	26%
Слабое	21%	6%	18%	0%	12%	24%	9%	3%	32%
Среднее	26%	24%	26%	18%	24%	6%	12%	18%	18%
Сильное	21%	32%	24%	41%	29%	21%	29%	26%	3%
Очень сильное	12%	21%	12%	32%	24%	6%	29%	32%	0%
Событие не наступит	12%	6%	3%	0%	0%	9%	0%	12%	3%
Затрудняюсь ответить	3%	6%	3%	3%	9%	18%	15%	3%	12%

Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.

Рисунок 32 — Тепловая карта ответов респондентов на вопросы по блоку «Общество»

Согласно тепловой карте, представленной на рисунке 2, можно отметить, что наибольшее количество ответов по очень высокой вероятности наступления пришлось на джокер «Наступление новых пандемий» — 62% респондентов отметили, что вероятность наступления новых пандемий является высокой. Также 50% опрошенных отметили, что одинаково высокой является вероятность наступления события «Эпоха тотального технологического неравенства в обществе». Со средней вероятностью 47% опрошенных оценили наступление события «Изобретено лекарство и/или вакцина от онкологии» и «Изобретена вакцина от ВИЧ». Самым маловероятным событием с очень низкой вероятностью наступления по мнению 32% респондентов является событие «Более чем половине населения Земли имплантированы чипы с целью мониторинга здоровья». Распределение ответов респондентов по вероятности наступления джокеров из блока «Общество» представлено на рисунке 33.



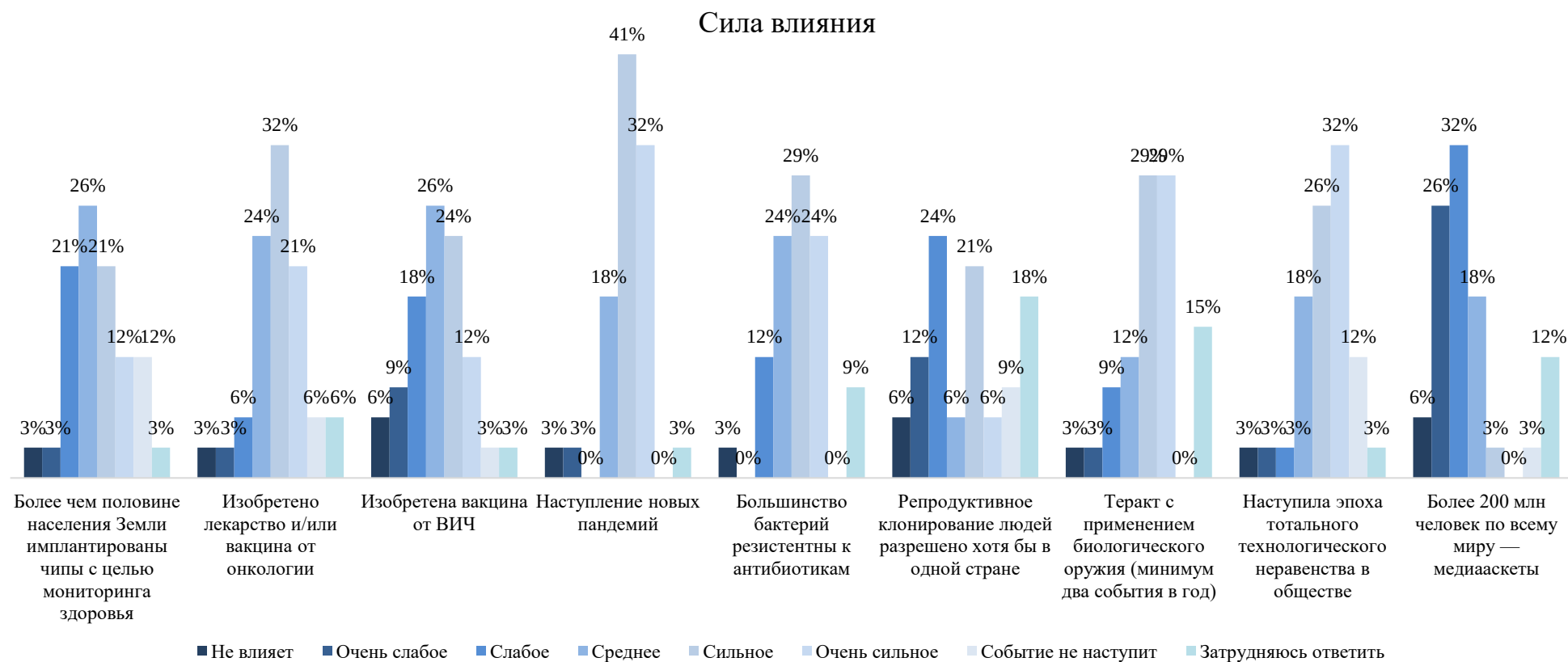
Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.
 Рисунок 33 — Распределение вероятностей наступления джокеров по блоку «Общество»

Согласно тепловой карте, представленной на рисунке 32, можно отметить, что наибольшее количество ответов по времени наступления событий пришлось на промежуток 2036-2050 гг. По мнению 47%, в этот временной промежуток могут наступить события «Более чем половине населения Земли имплантированы чипы с целью мониторинга здоровья» и «Репродуктивное клонирование людей разрешено хотя бы в одной стране». Наиболее вероятным к наступлению в 2026-2030 гг. является событие «Наступление новых пандемий» — так считают 41% опрошенных. Максимальное количество затруднившихся ответить в области времени наступления события пришлось на джокер «Большинство бактерий резистентны к антибиотикам» — прогнозировать время наступления этого события затруднились 24% респондентов. Распределение ответов респондентов по времени наступления джокеров из блока «Общество» представлено на рисунке 34.



Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.
 Рисунок 34 — Распределение времени наступления джокеров по блоку «Общество»

Согласно тепловой карте, представленной на рисунке 32, можно отметить, что наибольшее количество ответов по силе потенциального влияния джокеров на социально-экономическое развитие России пришлось на сильное влияние. 41% опрошенных считают, что сильное влияние окажет событие «Наступление новых пандемий». Также по 32% респондентов соответственно считают, что очень сильно на социально-экономическое развитие России повлияют такие события, как «Наступление новых пандемий» и «Наступила эпоха тотального технологического неравенства в обществе». Также всего по 6% респондентов считают, что события «Изобретена вакцина от ВИЧ», «Репродуктивное клонирование людей разрешено хотя бы в одной стране» и «Более 200 млн человек по всему миру — медиааскетки» не окажут никакого влияния на социально-экономическое развитие России. Распределение ответов респондентов по силе потенциального влияния на социально-экономическое развитие России джокеров из блока «Общество» представлено на рисунке 35.



Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.

Рисунок 35 — Распределение силы потенциального влияния на социально-экономическое развитие России джокеров по блоку «Общество»

Блок «Наука»

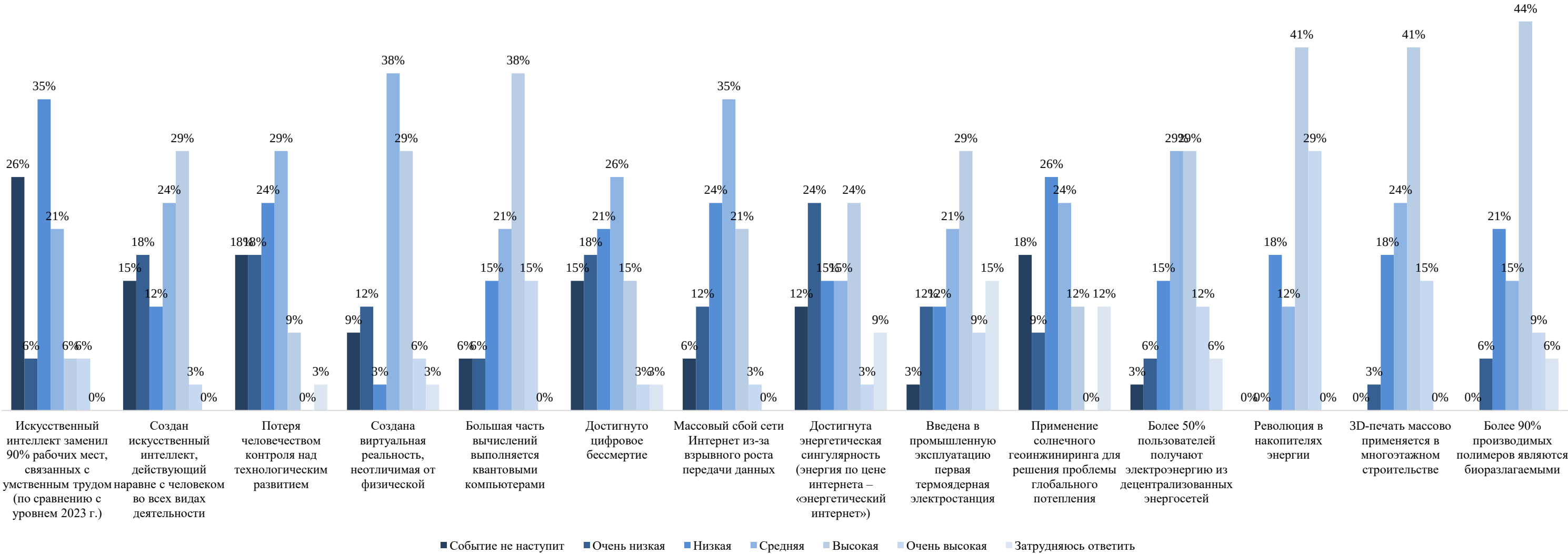
На рисунке 36 представлена тепловая карта, отражающая вероятность наступления, время наступления, а также силу потенциального влияния на социально-экономическое развитие России джокеров, относящихся к блоку «Наука».

	Искусственный интеллект заменил 90% рабочих мест, связанных с умственным трудом (по сравнению с уровнем 2023 г.)	Создан искусственный интеллект, действующий наравне с человеком во всех видах деятельности	Потеря человечеством контроля над технологическим развитием	Создана виртуальная реальность, неотличимая от физической	Большая часть вычислений выполняется квантовыми компьютерами	Достигнуто цифровое бессмертие	Массовый сбой сети Интернет из-за взрывного роста передачи данных	Достигнута энергетическая сингулярность (энергия по цене интернета – «энергетический интернет»)	Введена в промышленную эксплуатацию первая термоядерная электростанция	Применение солнечного геоинжиниринга для решения проблемы глобального потепления	Более 50% пользователей получают электроэнергию из децентрализованных энергосетей	Революция в накопителях энергии	3D-печать массово применяется в многоэтажном строительстве	Более 90% производимых полимеров являются биоразлагаемыми
Вероятность наступления														
Событие не наступит	26%	15%	18%	9%	6%	15%	6%	12%	3%	18%	3%	0%	0%	0%
Очень низкая	6%	18%	18%	12%	6%	18%	12%	24%	12%	9%	6%	0%	3%	6%
Низкая	35%	12%	24%	3%	15%	21%	24%	15%	12%	26%	15%	18%	18%	21%
Средняя	21%	24%	29%	38%	21%	26%	35%	15%	21%	24%	29%	12%	24%	15%
Высокая	6%	29%	9%	29%	38%	15%	21%	24%	29%	12%	29%	41%	41%	44%
Очень высокая	6%	3%	0%	6%	15%	3%	3%	3%	9%	0%	12%	29%	15%	9%
Затрудняюсь ответить	0%	0%	3%	3%	0%	3%	0%	9%	15%	12%	6%	0%	0%	6%
Время наступления														
2024-2025 гг.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	0%	0%	0%	0%	6%	0%	0%
2026-2030 гг.	6%	12%	0%	3%	9%	0%	21%	3%	0%	0%	9%	9%	12%	9%
2031-2035 гг.	12%	18%	15%	32%	24%	9%	41%	6%	21%	9%	32%	47%	41%	29%
2036-2050 гг.	41%	47%	47%	41%	50%	59%	24%	47%	56%	59%	44%	32%	38%	44%
Событие не наступит	32%	15%	24%	12%	6%	21%	6%	24%	3%	18%	6%	0%	0%	6%
Затрудняюсь ответить	9%	9%	15%	12%	12%	12%	6%	21%	21%	15%	9%	6%	9%	12%
Сила влияния														
Не влияет	3%	3%	3%	3%	3%	3%	0%	6%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
Очень слабое	0%	3%	3%	3%	6%	12%	3%	3%	3%	6%	3%	0%	3%	9%
Слабое	6%	9%	3%	15%	3%	12%	15%	3%	3%	6%	3%	6%	15%	18%
Среднее	24%	0%	3%	18%	21%	26%	12%	3%	12%	15%	26%	29%	35%	24%
Сильное	15%	24%	21%	29%	32%	12%	35%	24%	29%	15%	35%	44%	35%	24%
Очень сильное	21%	44%	35%	12%	21%	9%	26%	29%	24%	18%	12%	15%	3%	6%
Событие не наступит	29%	15%	21%	12%	6%	21%	6%	18%	3%	18%	6%	0%	0%	3%
Затрудняюсь ответить	3%	3%	12%	9%	9%	6%	3%	15%	24%	21%	12%	3%	6%	15%

Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.
 Рисунок 36 — Тепловая карта ответов респондентов на вопросы по блоку «Наука»

Согласно тепловой карте, представленной на рисунке 36, можно отметить, что наибольшее количество ответов по вероятности наступления событий пришлось на высокую вероятность. 44% опрошенных считают, что наиболее вероятно наступление события «Более 90% производимых полимеров являются биоразлагаемыми». Также высокой вероятностью наступления, по мнению 41% респондентов соответственно, обладают события «3D-печать массово применяется в многоэтажном строительстве» и «Революция в накопителях энергии». Среди событий, которые могут не наступить в целом, лидирует джокер «Искусственный интеллект заменил 90% рабочих мест, связанных с умственным трудом (по сравнению с уровнем 2023 г.)» — 26% респондентов ответили, что данное событие вовсе не наступит. Распределение ответов респондентов по вероятности наступления джокеров из блока «Наука» представлено на рисунке 37.

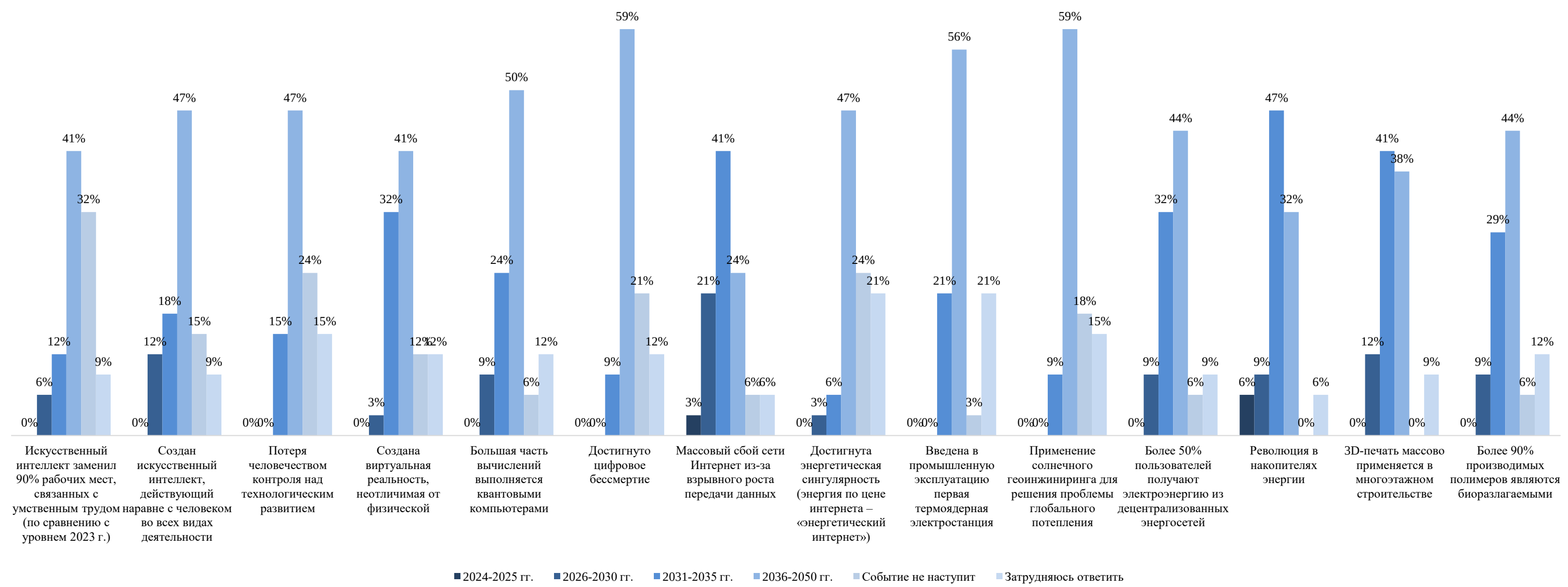
Вероятность наступления



Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.
Рисунок 37 — Распределение вероятностей наступления джокеров по блоку «Наука»

Согласно тепловой карте, представленной на рисунке 36, можно отметить, что больше всего голосов респондентов пришлось на то, что события, вероятнее всего, наступят в промежуток 2036-2050 гг. 59% опрошенных соответственно считают, что в этот промежуток наступят такие события, как «Достигнуто цифровое бессмертие» и «Применение солнечного геоинжиниринга для решения проблемы глобального потепления». 56% опрошенных считают, что в этот же временной промежуток наступит событие «Введена в промышленную эксплуатацию первая термоядерная электростанция». Также 32% респондентов считают, что совсем не наступит событие «Искусственный интеллект заменил 90% рабочих мест, связанных с умственным трудом (по сравнению с уровнем 2023 г.)». Распределение ответов респондентов по времени наступления джокеров из блока «Наука» представлено на рисунке 38.

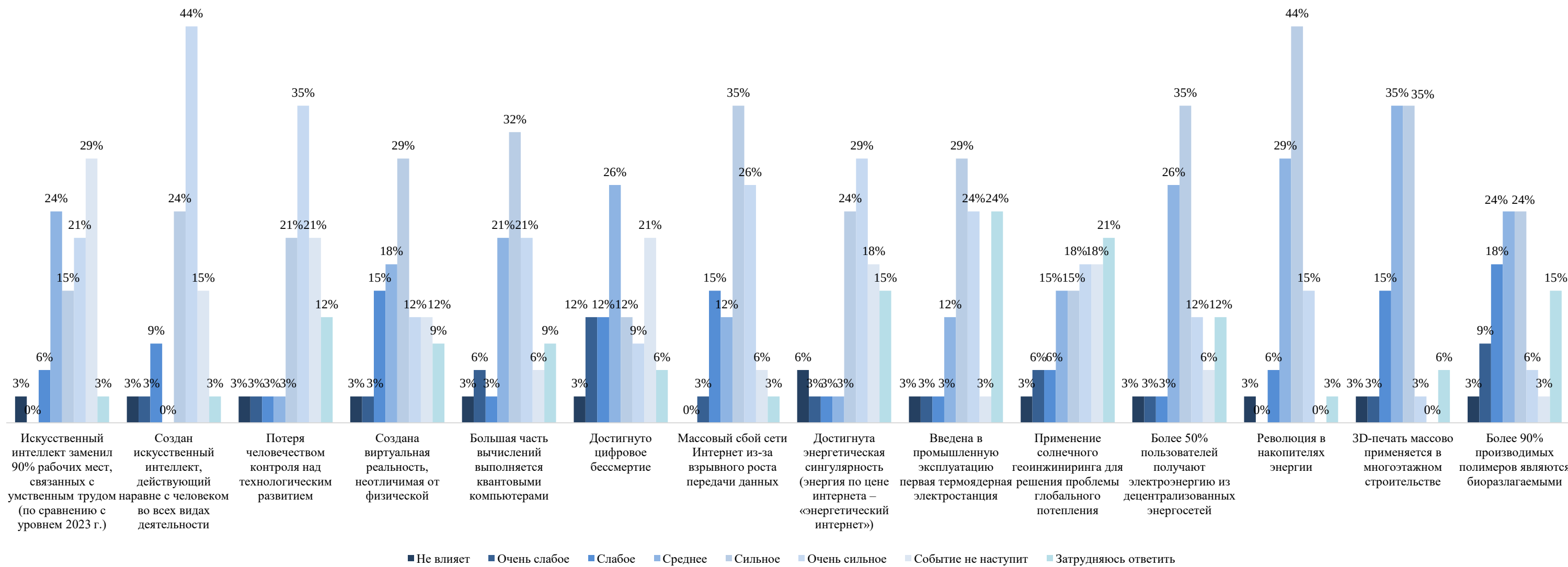
Время наступления



Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.
Рисунок 38 — Распределение времени наступления джокеров по блоку «Наука»

Согласно тепловой карте, представленной на рисунке 36, можно отметить, что больше всего голосов респондентов по силе потенциального влияния событий на социально-экономическое развитие России пришлось на сильное и очень сильное влияние. 44% респондентов из 34 считают, что сильное влияние на социально-экономическое развитие России может иметь джокер «Революция в накопителях энергии». Такой же процент опрошенных считает, что очень сильное влияние будет иметь джокер «Создан искусственный интеллект, действующий наравне с человеком во всех видах деятельности». Также по мнению 35% респондентов среднее влияние на социально-экономическое развитие России может иметь событие «3D-печать массово применяется в многоэтажном строительстве». Распределение ответов респондентов по силе потенциального влияния на социально-экономическое развитие России джокеров из блока «Наука» представлено на рисунке 39.

Сила влияния



Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.
Рисунок 39 — Распределение силы потенциального влияния на социально-экономическое развитие России джокеров по блоку «Наука»

Блок «Экономика»

На рисунке 40 представлена тепловая карта, отражающая вероятность наступления, время наступления, а также силу потенциального влияния на социально-экономическое развитие России джокеров, относящихся к блоку «Экономика».

Из-за нарушений логистики морских поставок происходит не менее двух событий в год с катастрофическими последствиями для глобальной продовольственной, экологической, энергетической безопасности	Внезапные сбои в цепочке поставок продовольствия, ведущие к масштабным последствиям	Миграционные кризисы (вынужденное переселение не менее 1 млн человек в течение одного года)	Более 95% задач в промышленном производстве выполняют роботы	Более половины сельскохозяйственной продукции, потребляемой в городах, производится в самих городах	Начало промышленной добычи и доставки на Землю полезных ископаемых с космических объектов по отдельным видам ресурсов ввиду их истощения на Земле или экономической выгоды	Более 50% потребляемых в мире мясных продуктов производятся искусственным путем
--	---	---	--	---	--	---

Вероятность наступления

Событие не наступит	3%	3%	0%	0%	6%	9%	3%
Очень низкая	15%	6%	0%	6%	18%	18%	12%
Низкая	21%	15%	6%	12%	35%	21%	18%
Средняя	32%	41%	15%	26%	32%	32%	29%
Высокая	15%	21%	53%	41%	6%	15%	32%
Очень высокая	12%	15%	26%	15%	0%	3%	6%
Затрудняюсь ответить	3%	0%	0%	0%	3%	3%	0%

Время наступления

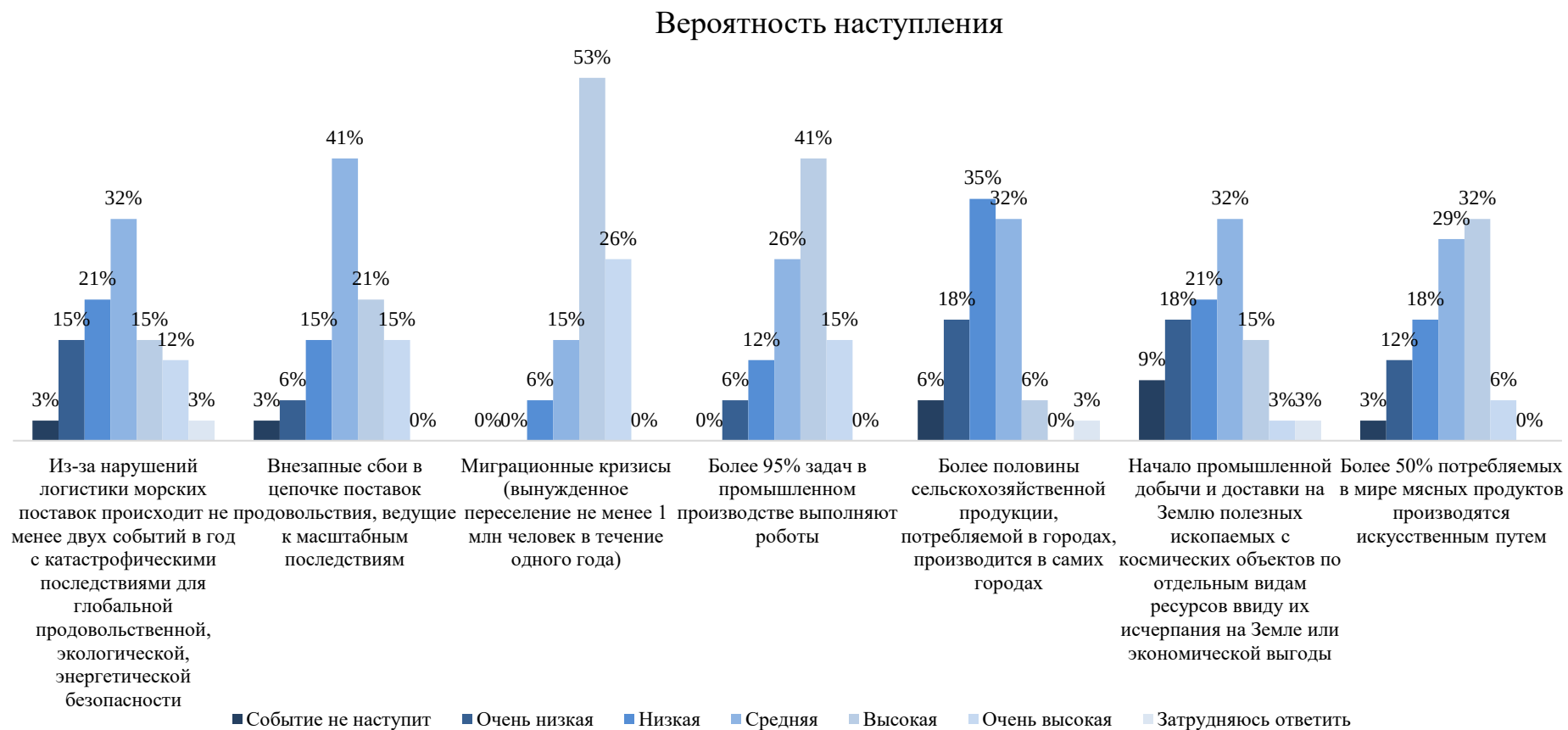
2024-2025 гг.	9%	18%	15%	0%	0%	0%	3%
2026-2030 гг.	47%	38%	41%	12%	6%	0%	3%
2031-2035 гг.	21%	24%	26%	21%	21%	6%	24%
2036-2050 гг.	6%	9%	12%	65%	41%	68%	50%
Событие не наступит	9%	6%	0%	3%	18%	12%	12%

	Из-за нарушений логистики морских поставок происходит не менее двух событий в год с катастрофическими последствиями для глобальной продовольственной, экологической, энергетической безопасности	Внезапные сбои в цепочке поставок продовольствия, ведущие к масштабным последствиям	Миграционные кризисы (вынужденное переселение не менее 1 млн человек в течение одного года)	Более 95% задач в промышленном производстве выполняют роботы	Более половины сельскохозяйственной продукции, потребляемой в городах, производится в самих городах	Начало промышленной добычи и доставки на Землю полезных ископаемых с космических объектов по отдельным видам ресурсов ввиду их истощения на Земле или экономической выгоды	Более 50% потребляемых в мире мясных продуктов производятся искусственным путем
Затрудняюсь ответить	9%	6%	6%	0%	15%	15%	9%
Сила влияния							
Не влияет	3%	3%	3%	3%	6%	6%	3%
Очень слабое	3%	3%	0%	0%	6%	3%	12%
Слабое	15%	9%	6%	6%	21%	9%	12%
Среднее	21%	21%	32%	18%	24%	26%	26%
Сильное	32%	44%	47%	41%	26%	18%	29%
Очень сильное	9%	9%	9%	24%	0%	21%	3%
Событие не наступит	9%	6%	0%	3%	9%	9%	9%
Затрудняюсь ответить	9%	6%	3%	6%	9%	9%	6%

Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.

Рисунок 40 — Тепловая карта ответов респондентов на вопросы по блоку «Экономика»

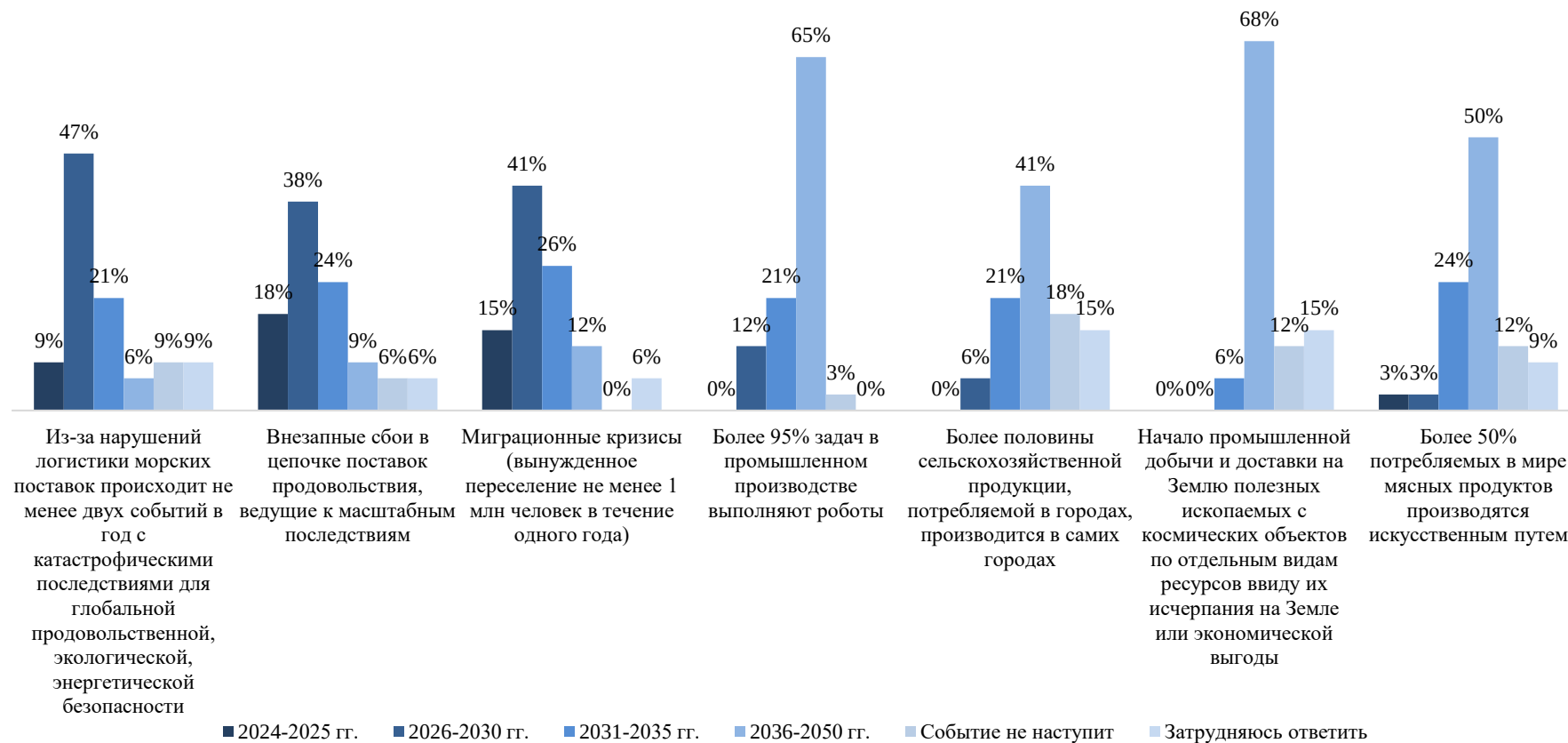
Согласно тепловой карте, представленной на рисунке 40, можно отметить, что наибольшее количество ответов респондентов пришлось на высокую вероятность наступления события «Миграционные кризисы (вынужденное переселение не менее 1 млн человек в течение одного года)» — событие как высоко вероятное отметили 53% опрошенных. Также 41% опрошенных отметил, что высокой вероятностью к наступлению обладает событие «Более 95% задач в промышленном производстве выполняют роботы». Большая концентрация ответов респондентов также была отмечена в категориях средней и низкой вероятностей. 41% опрошенных считают, что средней вероятностью наступления обладает событие «Внезапные сбои в цепочке поставок продовольствия, ведущие к масштабным последствиям», в то время как 35% респондентов также считают, что событие «Более половины сельскохозяйственной продукции, потребляемой в городах, производится в самих городах» имеет низкую вероятность наступления. Распределение ответов респондентов по вероятности наступления джокеров из блока «Экономика» представлено на рисунке 41.



Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.
 Рисунок 41 — Распределение вероятностей наступления джокеров по блоку «Экономика»

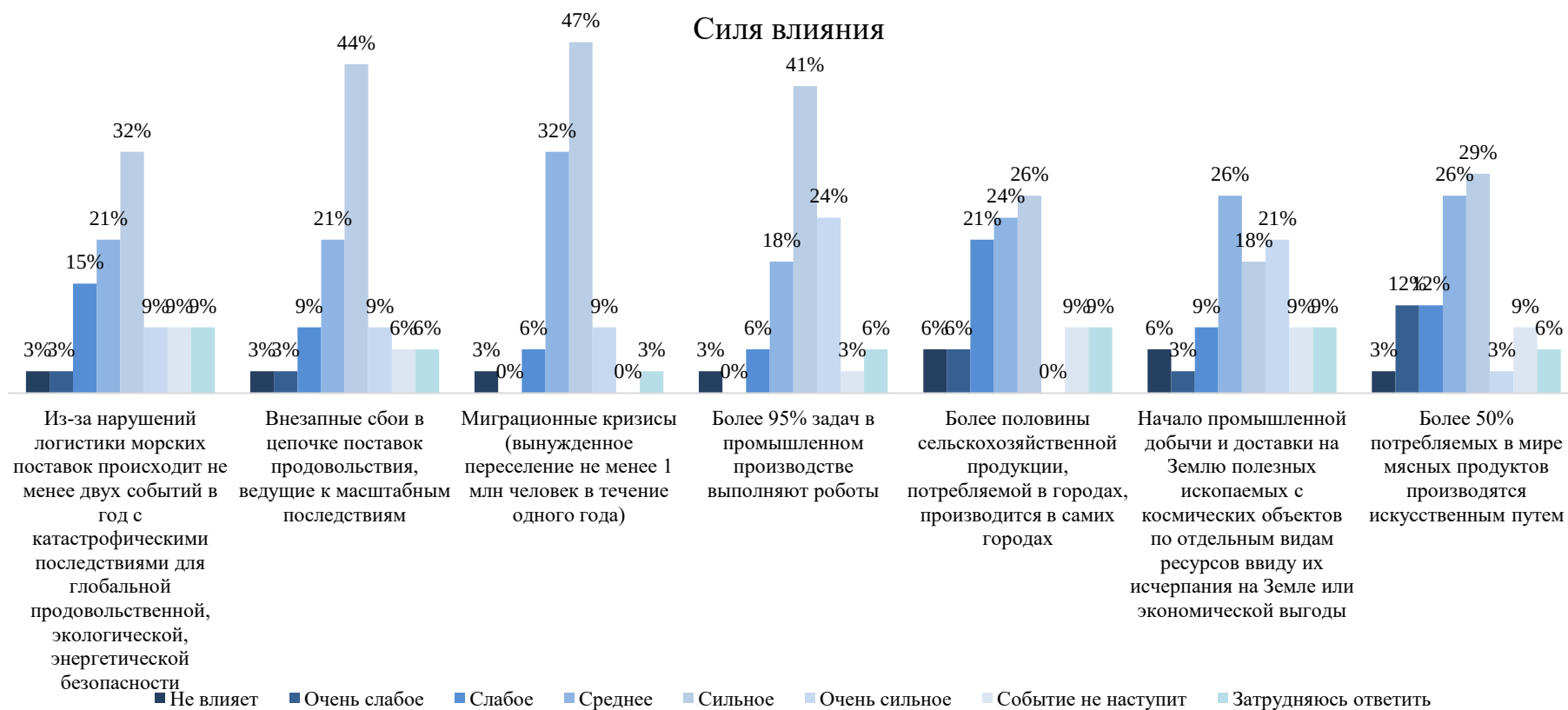
Согласно тепловой карте, представленной на рисунке 40, можно отметить, что наибольшее количество ответов респондентов по времени наступления событий пришлось на временной промежуток 2036-2050 гг. 68% респондентов считают, что в этот временной промежуток наступит событие «Начало промышленной добычи и доставки на Землю полезных ископаемых с космических объектов по отдельным видам ресурсов ввиду их истощения на Земле или экономической выгоды», а 65% респондентов — что в этот же временной промежуток наступит событие «Более 95% задач в промышленном производстве выполняют роботы». Среди наиболее ближайших временных промежутков с высокой концентрацией ответов респондентов по поводу наступления события является временной промежуток 2026-2030 гг. 47% опрошенных считают, что в этот временной промежуток наступит событие «Из-за нарушений логистики морских поставок происходит не менее двух событий в год с катастрофическими последствиями для глобальной продовольственной, экологической, энергетической безопасности». Также 41% и 38% респондентов соответственно считают, что между 2026 и 2030 гг. наступят такие события, как «Миграционные кризисы (вынужденное переселение не менее 1 млн человек в течение одного года)» и «Внезапные сбои в цепочке поставок продовольствия, ведущие к масштабным последствиям». Распределение ответов респондентов по времени наступления джokers из блока «Экономика» представлено на рисунке 42.

Время наступления



Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.
 Рисунок 42 — Распределение времени наступления джокеров по блоку «Экономика»

Согласно тепловой карте, представленной на рисунке 40, можно отметить, что больше всего голосов респондентов пришлось на сильное потенциальное влияние событий на социально-экономическое развитие России. 47% опрошенных считают, что сильное влияние окажет событие «Миграционные кризисы (вынужденное переселение не менее 1 млн человек в течение одного года)». Также 44% и 41% опрошенных соответственно считают, что сильное влияние на социально-экономическое развитие России окажут джокеры «Внезапные сбои в цепочке поставок продовольствия, ведущие к масштабным последствиям» и «Более 95% задач в промышленном производстве выполняют роботы». Также данные события были отмечены как высоко вероятные к наступлению. Распределение ответов респондентов по силе потенциального влияния на социально-экономическое развитие России джокеров из блока «Экономика» представлено на рисунке 43.



Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.

Рисунок 43 — Распределение силы потенциального влияния на социально-экономическое развитие России джокеров по блоку «Экономика»

Блок «Экология»

На рисунке 44 представлена тепловая карта, отражающая вероятность наступления, время наступления, а также силу потенциального влияния на социально-экономическое развитие России джокеров, относящихся к блоку «Экология».

	Длительные засухи в крупнейших странах – производителях сельскохозяйственной продукции (Бразилии, Индии, Китае и др.), приводящие к потере 20-30% урожая	Резкое изменение климата из-за коллапса Атлантической меридиональной циркуляции	Полное таяние ледников на вершинах гор Восточной Африки	Извержение супервулкана	Вымирание более 90% пчел на планете (по сравнению с сегодняшним днем)	Супермасштабные техногенные аварии на особо опасных объектах (атомные электростанции и др.)	70% автомобилей на дорогах – с альтернативным двигателем
	Вероятность наступления						
Событие не наступит	0%	0%	0%	9%	6%	0%	3%
Очень низкая	3%	12%	12%	12%	12%	6%	3%
Низкая	3%	29%	18%	32%	35%	18%	6%
Средняя	24%	29%	29%	12%	21%	29%	21%
Высокая	50%	18%	29%	18%	15%	41%	44%
Очень высокая	12%	0%	3%	0%	0%	6%	24%
Затрудняюсь ответить	9%	12%	9%	18%	12%	0%	0%
	Время наступления						
2024-2025 гг.	6%	0%	0%	0%	0%	3%	3%
2026-2030 гг.	26%	3%	0%	0%	0%	21%	6%
2031-2035 гг.	35%	18%	29%	18%	24%	47%	38%
2036-2050 гг.	15%	50%	44%	35%	38%	6%	44%
Событие не наступит	3%	0%	0%	12%	9%	0%	6%
Затрудняюсь ответить	15%	29%	26%	35%	29%	24%	3%
	Сила влияния						

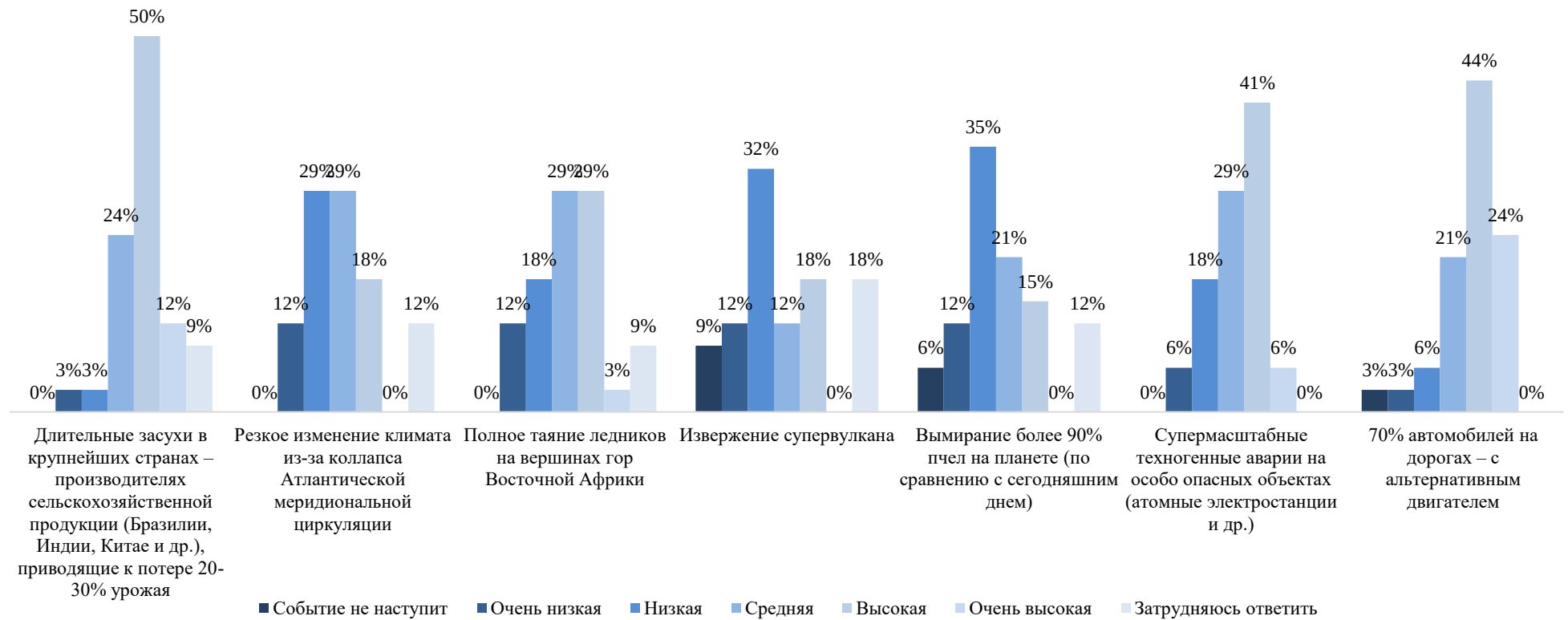
	Длительные засухи в крупнейших странах – производителях сельскохозяйственной продукции (Бразилии, Индии, Китае и др.), приводящие к потере 20-30% урожая	Резкое изменение климата из-за коллапса Атлантической меридиональной циркуляции	Полное таяние ледников на вершинах гор Восточной Африки	Извержение супервулкана	Вымирание более 90% пчел на планете (по сравнению с сегодняшним днем)	Супермасштабные техногенные аварии на особо опасных объектах (атомные электростанции и др.)	70% автомобилей на дорогах – с альтернативным двигателем
Не влияет	3%	3%	3%	3%	3%	3%	6%
Очень слабое	0%	3%	9%	3%	0%	3%	0%
Слабое	12%	3%	15%	9%	6%	12%	9%
Среднее	18%	9%	18%	15%	3%	24%	26%
Сильное	35%	35%	35%	15%	29%	32%	41%
Очень сильное	21%	29%	6%	24%	38%	18%	9%
Событие не наступит	0%	0%	0%	12%	6%	0%	6%
Затрудняюсь ответить	12%	18%	15%	21%	15%	9%	3%

Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.

Рисунок 44 — Тепловая карта ответов респондентов на вопросы по блоку «Экология»

Согласно тепловой карте, представленной на рисунке 44, можно отметить, что наибольшее количество ответов респондентов пришлось на высокую вероятность наступления события. 50% опрошенных считают, что наиболее высока вероятность наступления события «Длительные засухи в крупнейших странах — производителях сельскохозяйственной продукции (Бразилии, Индии, Китае и др.), приводящие к потере 20-30% урожая». 44% и 41% респондентов соответственно также считают, что с высокой вероятностью наступят события «70% автомобилей на дорогах — с альтернативным двигателем» и «Супермасштабные техногенные аварии на особо опасных объектах (атомные электростанции и др.)». К событиям с низкой вероятностью чаще всего относят «Вымирание более 90% пчел на планете (по сравнению с сегодняшним днем)» и «Извержение супервулкана» — такие оценки дали 35% и 32% респондентов соответственно. Распределение ответов респондентов по вероятности наступления джокеров из блока «Экология» представлено на рисунке 45.

Вероятность наступления

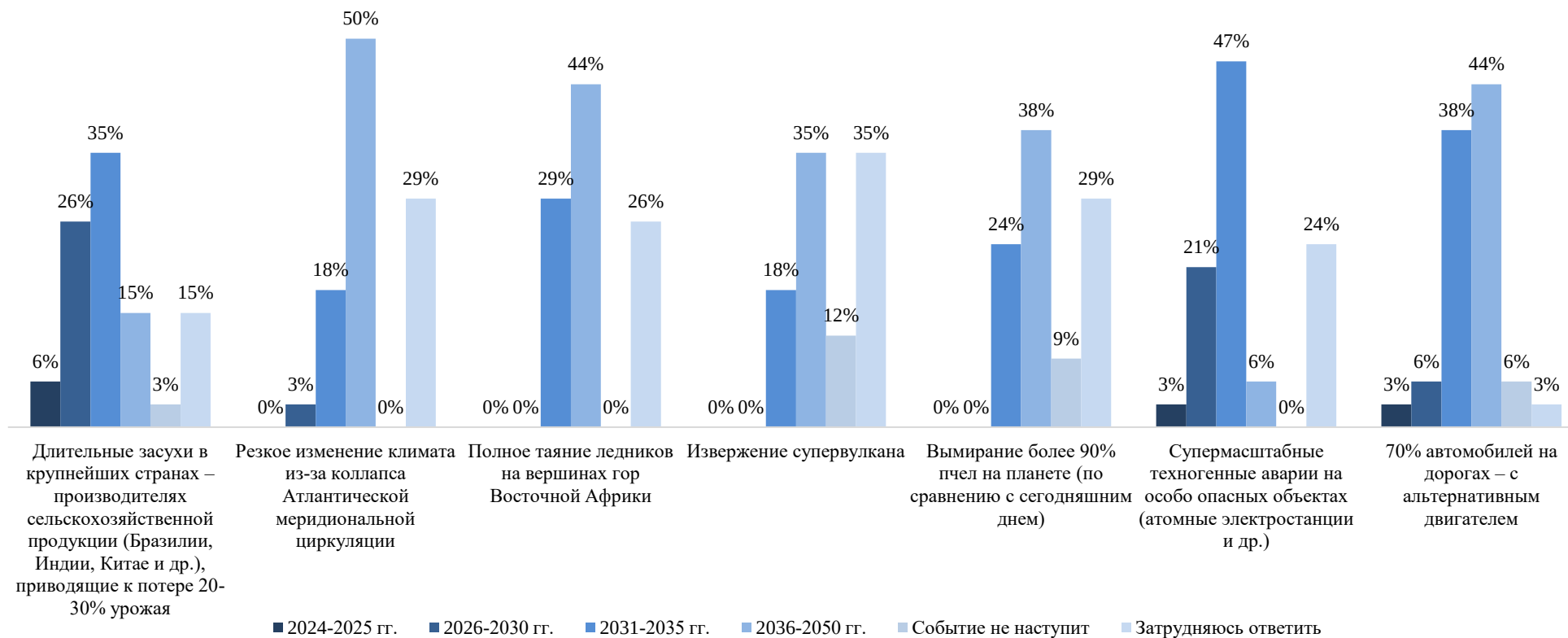


Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.

Рисунок 45 — Распределение вероятностей наступления джокеров по блоку «Экология»

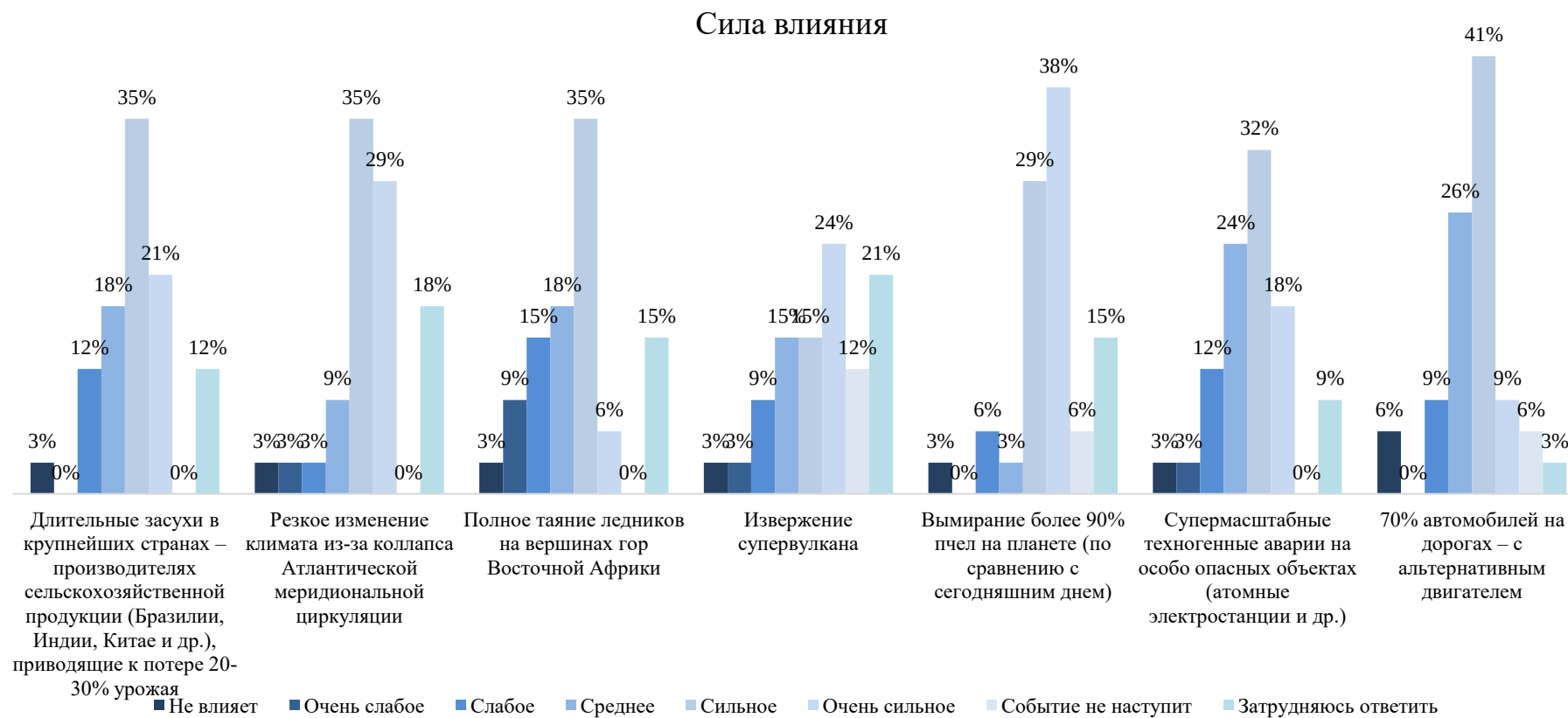
Согласно тепловой карте, представленной на рисунке 44, можно отметить, что наибольшее количество ответов респондентов пришлось на временной промежуток 2036-2050 гг. 50% опрошенных считают, что событие «Резкое изменение климата из-за коллапса Атлантической меридиональной циркуляции» наступит в указанный период. Также 44% опрошенных отмечают, что в указанный период наступит событие «Полное таяние ледников на вершинах гор Восточной Африки», а 28% опрошенных — что наступит событие «Вымирание более 90% пчел на планете (по сравнению с сегодняшним днем)». Также 47% опрошенных считают, что в промежуток 2026-2030 гг. наступит событие «Супермасштабные техногенные аварии на особо опасных объектах (атомные электростанции и др.)», а 38% опрошенных — что в указанный промежуток произойдет событие «70% автомобилей на дорогах — с альтернативным двигателем». Распределение ответов респондентов по времени наступления джокеров из блока «Экология» представлено на рисунке 46.

Время наступления



Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.
 Рисунок 46 — Распределение времени наступления джокеров по блоку «Экология»

Согласно тепловой карте, представленной на рисунке 44, можно отметить, что больше всего голосов респондентов пришлось на сильное и очень сильное потенциальное влияние событий на социально-экономическое развитие России. Среди событий с сильным влиянием — «70% автомобилей на дорогах — с альтернативным двигателем» (41% опрошенных), «Полное таяние ледников на вершинах гор Восточной Африки» (35% опрошенных), «Резкое изменение климата из-за коллапса Атлантической меридиональной циркуляции» (35% опрошенных) и «Длительные засухи в крупнейших странах — производителях сельскохозяйственной продукции (Бразилии, Индии, Китае и др.), приводящие к потере 20-30% урожая» (35% опрошенных). 38% опрошенных отметили, что событие «Вымирание более 90% пчел на планете (по сравнению с сегодняшним днем)» будет иметь очень сильное влияние на социально-экономическое развитие России, а 29% опрошенных также отметили в этой категории событие «Резкое изменение климата из-за коллапса Атлантической меридиональной циркуляции». Распределение ответов респондентов по силе потенциального влияния на социально-экономическое развитие России джокеров из блока «Экология» представлено на рисунке 47.



Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.

Рисунок 47 — Распределение силы потенциального влияния на социально-экономическое развитие России джокеров по блоку «Экология»

Блок «Политика»

На рисунке 48 представлена тепловая карта, отражающая вероятность наступления, время наступления, а также силу потенциального влияния на социально-экономическое развитие России джокеров, относящихся к блоку «Политика».

	Утрата Антарктидой статуса заповедной территории	Колонизация Антарктиды / Создание автономных городов в Антарктиде (город с населением не менее 10 тыс. человек)	Закрытие отдельным странам доступа к некоторым видам своих ресурсов для других государств	Полная блокада Тайваня Китаем	Не менее трех крупных трансграничных конфликтов в год, связанных с доступом к водным ресурсам	Запрет на международном уровне коммерческого распространения био-, нано- и нейротехнологий, усиливающих когнитивные способности человека	Выдача патентов на ДНК человека	Генетический дизайн детей разрешен в одной или более странах
Вероятность наступления								
Событие не наступит	3%	9%	0%	6%	3%	15%	12%	3%
Очень низкая	6%	12%	0%	6%	0%	9%	18%	18%
Низкая	24%	26%	6%	6%	21%	26%	12%	15%
Средняя	26%	24%	29%	35%	35%	35%	26%	24%
Высокая	32%	24%	47%	32%	35%	6%	18%	35%
Очень высокая	6%	3%	18%	6%	3%	0%	0%	3%
Затрудняюсь ответить	3%	3%	0%	9%	3%	9%	15%	3%
Время наступления								
2024-2025 гг.	3%	18%	3%	0%	0%	0%	0%	0%
2026-2030 гг.	12%	9%	6%	0%	3%	6%	6%	12%
2031-2035 гг.	12%	26%	15%	18%	18%	21%	12%	18%
2036-2050 гг.	21%	24%	29%	12%	24%	15%	41%	47%
Событие не наступит	29%	12%	29%	41%	41%	44%	32%	15%
Затрудняюсь ответить	9%	0%	12%	29%	15%	9%	9%	9%
Сила влияния								

	Утрата Антарктидой статуса заповедной территории	Колонизация Антарктиды / Создание автономных городов в Антарктиде (город с населением не менее 10 тыс. человек)	Закрытие отдельным странам доступа к некоторым видам своих ресурсов для других государств	Полная блокада Тайваня Китаем	Не менее трех крупных трансграничных конфликтов в год, связанных с доступом к водным ресурсам	Запрет на международном уровне коммерческого распространения био-, нано- и нейротехнологий, усиливающих когнитивные способности человека	Выдача патентов на ДНК человека	Генетический дизайн детей разрешен в одной или более странах
Не влияет	0%	0%	0%	0%	3%	0%	0%	0%
Очень слабое	0%	3%	9%	0%	21%	3%	0%	0%
Слабое	15%	32%	24%	9%	41%	6%	21%	9%
Среднее	47%	41%	50%	59%	24%	47%	56%	59%
Сильное	24%	12%	6%	21%	6%	24%	3%	18%
Очень сильное	15%	12%	12%	12%	6%	21%	21%	15%
Событие не наступит	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Затрудняюсь ответить	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.

Рисунок 48 — Тепловая карта ответов респондентов на вопросы по блоку «Политика»

Согласно тепловой карте, представленной на рисунке 48, наибольшее количество ответов респондентов пришлось на высокую вероятность наступления события. 47% опрошенных считают, что высокой вероятностью наступления обладает событие «Закрытие отдельным странам доступа к некоторым видам своих ресурсов для других государств». Также 35% опрошенных отметили, что высокой вероятностью к наступлению будут обладать события «Не менее трех крупных трансграничных конфликтов в год, связанных с доступом к водным ресурсам» и «Генетический дизайн детей разрешен в одной или более странах». Средней вероятностью наступления (также 35% респондентами соответственно) были отмечены события «Полная блокада Тайваня Китаем», «Не менее трех крупных трансграничных конфликтов в год, связанных с доступом к водным ресурсам» и «Запрет на международном уровне коммерческого распространения био-, нано- и нейротехнологий, усиливающих когнитивные способности человека». Распределение ответов респондентов по вероятности наступления джокеров из блока «Политика» представлено на рисунке 49.



Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.
 Рисунок 49 — Распределение вероятностей наступления джокеров по блоку «Политика»

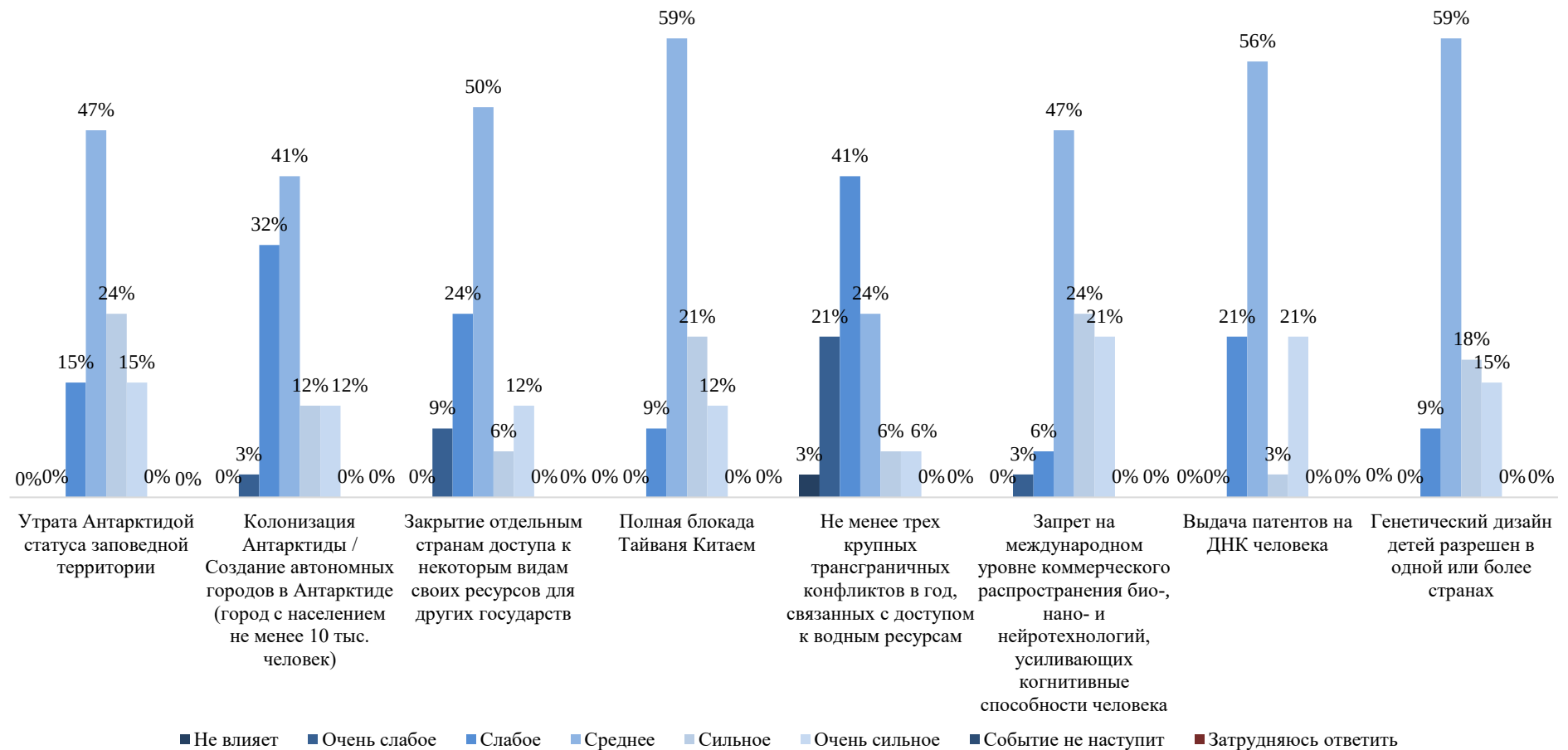
Согласно тепловой карте, представленной на рисунке 48, можно отметить, что наибольшее количество ответов респондентов пришлось на временной промежуток 2036-2050 гг. 47% и 41% опрошенных соответственно отметили, что в указанный временной промежуток наступят события «Генетический дизайн детей разрешен в одной или более странах» и «Выдача патентов на ДНК человека». Следующей по количеству ответов респондентов является категория «Событие не наступит». 44% опрошенных отметили, что событие «Запрет на международном уровне коммерческого распространения био-, нано- и нейротехнологий, усиливающих когнитивные способности человека» может не наступить вовсе. Также по 41% респондентов соответственно отметили, что не наступить могут и такие события, как «Полная блокада Тайваня Китаем» и «Не менее трех крупных трансграничных конфликтов в год, связанных с доступом к водным ресурсам» (при условии того, что ранее вероятность наступления этих событий была отмечена как высокая 32% и 35% респондентами соответственно. Распределение ответов респондентов по времени наступления джокеров из блока «Политика» представлено на рисунке 50.



Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.
 Рисунок 50 — Распределение времени наступления джокеров по блоку «Политика»

Согласно тепловой карте, представленной на рисунке 48, можно отметить, что больше всего голосов респондентов пришлось на среднее влияние событий-джокеров на социально-экономическое развитие России. По 59% респондентов соответственно проголосовали за то, что среднее влияние на социально-экономическое развитие России будут иметь такие события, как «Полная блокада Тайваня Китаем» и «Генетический дизайн детей разрешен в одной или более странах». Также 56% и 50% опрошенных соответственно отметили, что среднее влияние будут иметь джокеры «Выдача патентов на ДНК человека» и «Закрытие отдельным странам доступа к некоторым видам своих ресурсов для других государств». Распределение ответов респондентов по силе потенциального влияния на социально-экономическое развитие России джокеров из блока «Политика» представлено на рисунке 51.

Сила влияния



Примечание — Источник: опрос ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.

Рисунок 51 — Распределение силы потенциального влияния на социально-экономическое развитие России джокеров по блоку «Политика»

4 Формирование базы данных джокеров

Подготовленный в прошлом году прототип базы слабопредсказуемых событий был значительно расширен и доработан до полноценной базы событий-джокеров. Для них были подготовлены короткие описания, включающие предпосылки, барьеры, потенциальные эффекты и другие характеристики. Далее представлены материалы, использовавшиеся для выполнения следующих задач: системного анализа причин возникновения слабопредсказуемых событий различных типов, исследования взаимосвязей между джокерами и комбинациями джокеров, приоритизации джокеров с учетом вероятных эффектов при их реализации, пилотирования платформенных моделей и методов принятия решений для оценки и прогнозирования джокеров различных типов.

4.1 Социальные события-джокеры

Закрепление четких границ между социальными группами, поддерживаемое цифровым неравенством

Неравенство по-прежнему является одним из главных глобальных вызовов; пандемия COVID-19 свела на нет достигнутый в предыдущие годы прогресс в борьбе с ним. Повсеместное распространение технологий добавило еще одно измерение неравенства — неравенство доступа к технологиям и интернету [25], и в то же время способствовало усугублению уже существовавших форм, связанных с неравенством возможностей, доходов, доступа к товарам и услугам, др. [26]. Повседневная жизнь людей, работа, образование, возможность воспользоваться разного рода услугами сегодня во многом зависят от технологий.

Эксперты отмечают, что даже несмотря на то, что большая часть населения включена в цифровые системы и коммуникации и что в странах глобального Юга растет число тех, кто имеет доступ к сети Интернет и пользуется персональными устройствами, неравенство не только не сокращается, но закрепляется. Это обозначается термином «неблагоприятная цифровая интеграция» (“adverse digital incorporation”), при которой более обеспеченная и в технологическом плане продвинутая группа извлекает несоразмерную ценность из ресурсов или труда другой [27]. Такие процессы прослеживаются как внутри стран, так и между ними.

Ограниченный доступ к финансовому, информационному, социальному, физическому капиталу определяет степень вовлеченности в цифровые системы и коммуникации и возможность извлекать из них пользу. Без активных действий по сокращению не только цифрового, но и других форм неравенства, между социальными

группами будут закреплены четкие границы, сложно преодолимые в силу неравенства возможностей.

Замена школьных учителей ИИ-наставниками

По данным ООН, искусственный интеллект потенциально может помочь решить проблемы современного образования и достичь четвертой цели устойчивого развития — обеспечить инклюзивное и справедливое качественное образование, возможность обучения на протяжении всей жизни [28]. С помощью ИИ можно проводить анализ успеваемости каждого учащегося и на основе полученных данных персонализировать траекторию обучения (определять пробелы в знаниях и подстраиваться под комфортный темп обучения), автоматизировать монотонную работу (проверка тестов, ответы на типовые вопросы учеников), для того чтобы у учителей появилось больше времени на взаимодействие с классом.

Одним из драйверов распространения виртуальных наставников может стать кадровый кризис. Для достижения глобальных целей в области образования, к 2030 г. потребуется 69 млн новых учителей [29], в то время, как их число сокращается, а продолжительность периода работы сокращается. Например, в Великобритании каждый шестой учитель увольняется после года работы [30]. Причинами нехватки учителей являются отсутствие финансовых стимулов и достойных условий труда, слабая административная поддержка, нехватка учебных ресурсов и высокая нагрузка [31]. ИИ может потенциально решить эту проблему через автоматизацию рутинных процессов (выставление оценок, предоставление обратной связи и ответы на вопросы учеников), освобождая время для взаимодействия учителей с учениками [32].

Технологическое развитие открывает новые возможности для применения искусственного интеллекта. К примеру, генеративный ИИ может составлять расписание, учебные планы или даже оценивать работы учеников. Вместе с тем, распространение ИИ в образовании создает новые уязвимости в системах безопасности, актуализирует вопрос о защищенности данных. Европейская комиссия разрабатывает законодательство, которое благоприятствовало бы развитию ИИ в образовательной экосистеме [33].

Несмотря на позитивные аспекты использования ИИ в обучении, есть существенные недостатки. Так, искусственный интеллект не обеспечивает процесс социализации — учителя способны увидеть талант и помочь раскрыться ему, поддерживают учеников в преодолении трудностей в обучении, зачастую оказывают эмоциональную поддержку и

вдохновляют. Не обладающий эмпатией искусственный интеллект не сможет заменить учителя в этом [34].

Цифровая амнезия

Частое использование цифровых устройств, по мнению некоторых экспертов, ведет к снижению способности запоминать и помнить. Чем больше человек полагается на технологии для хранения данных в пресыщенной информацией среде, тем меньше он нагружает память, которая начинает слабеть [35, 36]. Придерживающиеся этой точки зрения полагают, что то время, которое высвобождается благодаря девайсам, не используется человеком для тренировки собственной памяти и выполнения задач, развивающих когнитивные возможности. Смартфоны отвлекают внимание, необходимое для формирования долгосрочной памяти. Постоянные отвлечения на персональные устройства затрудняют кодирование информации в памяти [37]. В среднем человеку требуется около 23 минут, чтобы вернуться к выполнению задачи и сосредоточиться на ней, после того, как его отвлекли посторонние факторы [38].

Ухудшение памяти и когнитивных способностей из-за активного использования гаджетов получило название «цифровой амнезии» [39]. Такое явление также называется «гугл эффектом», это своего рода адаптационный механизм, позволяющий мозгу «не нагромождать» ненужную информацию. При этом пользователи поисковых систем часто не склонны изучать и критически анализировать полученную через «поисковики» (легкодоступную) информацию [40], которая быстро забывается. Происходит «цифровизация памяти» (digitalisation of memory), — процесс, при котором совершенствуются навыки «навигации» в информационной среде [41]. Человек запоминает меньше информации, но помнит больше о том, как ее найти и о каналах доступа к ней.

В случае усиления тенденции, при которой технологии будут массово использоваться не как вспомогательные инструменты, освобождающие время человека для решения более сложных и творческих задач, а как средства, на которые пользователи перекладывают когнитивные функции, последствия будут значимы для образовательной, трудовой, научной сфер, сферы управления. Например, в образовании это, вероятно, сформирует потребность в изменении как подходов к обучению, так и содержания программ. В управленческой среде это может привести к переоценке ответственными лицами своей способности понимать информацию и реагировать на нее, к формированию привычки чрезмерно полагаться на технологии.

Важным для развития тенденции фактором является усиление зависимости новых поколений от технологий. В то же время барьером может стать рост популярности осознанного потребления информации, ограничения проводимого с девайсами времени.

Широкое распространение медиааскетизма

В современном мире усиливается социальный запрос на ограничение от постоянно растущего потока информации, ведущего к распространению тревожных настроений, усталости, рассеянности внимания, понижению способности к саморегуляции, что проявляется в разных практиках по сокращению или отказу от использования цифровых устройств. Одной из них является медиааскетизм — ограниченное, выборочное и осмысленное использование цифровых технологий, устройств и информации, основанное на понимании роли технологии и их влиянии на жизнь человека. В отличие от цифрового детокса, который подразумевает кратковременный и полный отказ от гаджетов, медиааскетизм призывает к образу жизни, при котором электронные устройства используются только в по-настоящему важных делах.

Медиааскезой называются практики контроля потока информации, получателем которой является современный человек. Медиааскетизм неравномерно представлен в мировом масштабе и в социальном пространстве. Популярность медиааскетизма, как реакции на тренд гиперподключения, напрямую зависит от степени проникновения интернета, того, насколько плотно цифровые технологии интегрированы в жизнь человека. Эта практика более актуальна для жителей развитых стран, а также представителей среднего и высшего класса.

Цифровой детокс и медиааскетизм создают новые возможности для туристического бизнеса, для развития направлений, где отсутствует доступ в сеть и мобильной связи. Однако широкое распространение медиааскетизма в высокотехнологичной экономике, в которой продукты и услуги создаются на основе данных и информации, скажется на всех секторах. Вероятно, что радикальное сокращение проводимого с цифровыми устройствами времени сможет себе позволить ограниченное число людей, преимущественно занятых высокоинтеллектуальным, творческим трудом, либо вовсе исключившие себя из современной системы экономических взаимоотношений.

«Локальные» миграционные кризисы

Обострение проблем миграции, особенно вынужденной, является одним из основных глобальных рисков [42]. Сложность прогнозирования и невозможность количественного измерения большинства факторов, определяющих миграционные потоки,

осложняют заблаговременное выявление кризисных явлений. Причинами или катализаторами миграционных процессов становятся проблемы в экономике, обострение внутривнутриполитических, социальных, межконфессиональных и межэтнических конфликтов, войны, политическая нестабильность, внешнее вмешательство, чрезвычайные климатические ситуации, др. Эти факторы позволяют определить джокер как «регулярный», что, однако, не предопределяет возможность точного прогнозирования очередного места и времени его возникновения.

281 млн человек, или 3,6% от численности населения мира, достигло количество международных мигрантов в конце 2021 г. [43]. Одной из причин значительного увеличения их числа будут неблагоприятные последствия климатических изменений — невозможность ведения привычного образа жизни, сельскохозяйственных работ, суровые погодные условия. Прогнозы по численности климатических мигрантов к 2050 г. варьируются от 200 млн до 1,2 млрд человек [44, 45].

Наиболее уязвимыми к климатическим изменениям чаще всего оказываются страны, переживающие конфликты. Даже в том случае, если число региональных и локальных конфликтов, включая военные, в мире сокращается или остается на прежнем уровне, то их интенсивность растет. Дефицит ресурсов сам по себе является причиной, по которой люди покидают дома. Возникающие или обостряющиеся из-за ресурсов конфликты способствуют увеличению числа перемещенных лиц. Вероятность повторного обострения конфликтов, связанных с ресурсами в два раза выше, чем в других случаях [46].

Неконтролируемая миграция создает ряд социальных, экономических, политических вызовов — распространение антимигрантских настроений среди местного населения, усиление нагрузки на социальные системы и бюджет, ухудшение криминогенной ситуации и др. Масштабы и география вынужденной миграции расширяются, что обуславливает высокую вероятность того, что «локальных» миграционных кризисов, возникающих в пределах одной страны или границах стран, будет становиться больше.

Широкое использование ИИ в системе здравоохранения для предсказания точной даты и причины смерти

Развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения позволит через анализ условий, образа жизни и особенностей здоровья человека прогнозировать конец его жизни. В настоящее время ИИ уже может с большой точностью прогнозировать смерть человека по данным кардиограммы, даже если врачи не видят в

результатах исследования нарушений. Однако механизм того, как именно ИИ определяет это, не до конца понятен ученым [47].

В Google Health была разработана программа, способная предсказать развитие острого повреждения почек за два дня до начала болезни, в то время как в современной медицинской практике её обычно выявляют после возникновения [48]. Также описана модель ИИ, которая может быть использована для прогнозирования преждевременной смерти на основе анализа данных электронных медицинских карт [49].

Широкое использование развитых возможностей ИИ по предсказанию смерти в различных сферах медицины приведёт к демократизации медицинского знания для ряда сотрудников, что частично заполнит недостаток высококвалифицированных специалистов. Способность ИИ определять дату смерти человека также будет способствовать более рациональному распределению ресурсов; поможет определять пациентов, для которых те или иные методы лечения будут наиболее полезны; определит наилучшие способы максимизации доходов при предоставлении платных медицинских услуг. Прогнозы показывают, что объём мирового рынка систем для медицинской диагностики на базе ИИ к 2027 г. может увеличиться в три раза (до 3,60 млрд долл.) [50].

В то же время ошибка ИИ в прогнозе может привести к выбору неверного курса лечения или прекращению лечения вообще. Усовершенствование ИИ в вопросе определения даты смерти требует использования больших объёмов информации, что ставит под вопрос конфиденциальность данных пациентов [51]. Кроме того, уже существующая предвзятость в лечении тех или иных пациентов может быть перенята ИИ и использована им в будущем [52].

Распространение нового этико-философского учения, основанного на поклонении ИИ

Пример первой в истории церкви искусственного интеллекта (ИИ) — «Путь будущего» (Way of The Future), которая была создана бывшим инженером Google Энтони Левандовски и просуществовала на протяжении 5 лет (в 2015-2020 гг.) [53], показал, что боготворение ИИ может приобрести официальный статус и даже защиту от государственного контроля и налогов в рамках религиозной организации. Доктрина церкви заключалась в поклонении ИИ, который неизбежно станет умнее человека и фактически займёт место бога в человеческом обществе. Деятельность организации включала в себя финансирование исследований для создания «божественного» ИИ, проведение семинаров и образовательных программ [54].

По мнению основателя церкви, поскольку создание сильного ИИ неизбежно, человечеству необходимо обеспечить этическое развитие данной технологии и благотворное внедрение её в общество [55]. Так как ИИ будет в разы умнее человека, он займёт роль управленца, поэтому в интересах человека должно быть развитие у машины гуманного отношения к людям.

Уже сейчас можно наблюдать внедрение технологий ИИ в практику традиционных религий, как например, японский робот-священник, созданный для проведения буддистских ритуалов [56]. Развитие возможностей ИИ делает более вероятной его сакрализацию и широкое поклонение, что представляет угрозу для традиционных религий. Структура, взаимосвязи, этические нормы и ценностей, устоявшиеся модели поведения общества, во главе которого окажется самостоятельный и неподконтрольный человеку ИИ, изменится [57, 58].

Распространение неолуддизма

Четвёртая промышленная революция (Индустрия 4.0) подразумевает наиболее масштабную механизацию и роботизацию производственных процессов за всю историю и провоцирует яркую реакцию её оппонентов [59]. Одним из её проявлений становится неолуддизм — укрепление в общественном сознании негативного отношения к современным технологиям и представление их как враждебной человеку силы (технофобия) [60]. Неолуддизм является современным течением луддизма — движения машиноборцев, возникшего в начале XIX в. как реакция на промышленный переворот.

Страхи, связанные с технологиями, были второй по распространённости категорией для 1,5 тыс. респондентов в результатах опроса Чэпменского университета (Chapman University) в 2015 г. [61]. Результаты опроса, проведённого Национальным агентством финансовых исследований в 2019 г., показали, что столкновение с новыми технологиями вызывает тревогу и беспокойство в 37,5 % россиян [62].

Неолуддиты подчёркивают необходимость строгого контроля над быстроразвивающимися технологиями как политическим и экономическим явлением, создание нового формата взаимодействия общества и достижений прогресса, при котором над новыми технологиями установлен демократический контроль и способы их применения подвергаются критическому анализу [63]. Некоторые видят в стремительно развивающихся технологиях угрозу для человеческой идентичности, например, из-за возможного обретения машинным интеллектом сознания и правосубъектности в будущем [64].

Широкое распространение данные идеи могут получить из-за влияния негативных последствий Индустрии 4.0. на общество: роста безработицы, усиления неравенства и, как следствие, протестных настроений в обществе; отмирания целых экономических отраслей; развития технотерроризма [65, 66].

Установление личности исключительно через биометрию

Биометрические данные — это уникальные физические характеристики человека, которые используются для установления (идентификации) или проверки (аутентификации) личности. Существуют два типа биометрии: физиологическая биометрия — для распознавания используются физические характеристики человека, такие как сканирование лица, голоса, рисунка вен ладоней, отпечатка пальца, или сетчатки, или радужной оболочки глаза, поведенческая биометрия — для анализа поведенческих характеристик человека, таких как походка, динамика нажатий клавиш, ритм набора текста и др. [67]. Поведенческие модели биометрии сегодня используются в основном для подбора релевантной рекламы и персонализированных рекомендаций клиенту, но в дальнейшем планируется их применение для поддержания непрерывной аутентификации пользователя и повышения уровня безопасности как в государственных, так и в коммерческих организациях. В дополнение к существующим технологиям появятся и новые идентификационные маркеры, такие как распознавание запаха, распознавание особенностей сердцебиения, компонента кода ДНК и геометрия рук [68].

Прогнозирует, что к 2031 г. мировой рынок биометрических систем вырастет с 42,9 млрд долл. в 2022 г. до 82,9 млрд долл. к 2027 г. при среднегодовом темпе роста 14,1%. Основным драйвером, стимулирующим активный рост рынка биометрических технологий, служит высокий спрос на приложения идентификации и аутентификации пользователей со стороны банков, финансовых и страховых компаний, авиа-, телекоммуникационных, медицинских и оборонных организаций, сферы электронной коммерции, а также использование биометрии в государственном секторе — в правоохранительных органах (для выявления преступников или поиска пропавших без вести детей или пожилых людей), в системах эпиднадзора, аэропортах и др. [69].

Основными сложностями, препятствующими повсеместному распространению биометрии в качестве основного средства идентификации и аутентификации личности клиента, являются угрозы безопасности. Во-первых, это способы обхода систем биометрии, такие, как:

– физический спуфинг (physical spoofing) — использование искусственных методов для взлома системы биометрии на основе изображений, например, использование хакером фотографии пользователя вместо сканирования лица;

– дипфейк (deepfakes) — фальшивое реалистичное видео человека, которое создано с использованием методов глубокого редактирования видео и спуфинга голоса.

Во-вторых, возникает необходимость усовершенствования законодательных и этических норм, регулирующих сбор, применение и хранение биометрических данных, защищающих права человека, его конфиденциальность [70]. Например, повсеместное наличие камер распознавания лиц в Китае и неограниченное использование полученных изображений государством применяется в целях управления поведением людей — поведенческой инженерии — при помощи методов давления и запугивания людей [71].

Другой проблемой является возможное недоверие пользователя к системе, которая постоянно отслеживает его действия в процессе непрерывной аутентификации, или опасения злоупотребления собранной информацией со стороны государственных структур [72]. Коммерческим организациям также необходимо будет прикладывать значительные усилия для того, чтобы заработать «цифровое доверие» клиентов, сотрудников, партнеров, то есть гарантировать надежную защиту их данных и информации от взлома и кражи. Даже единичная ошибка может повлиять на лояльность клиентов, финансовые показатели компании. Опросы показывают, что 81% потребителей теряют доверие к бренду после взлома, а 25% клиентов полностью прекращают взаимодействовать с ним. С целью обеспечения «цифрового доверия» организации могут привлекать специализированные компании по управлению, контролю и защите информации [73]. Также для более широкого распространения биометрии при помощи системы распознавания лиц необходимо ее совершенствование, так как сейчас многие такие системы вносят дискриминацию по расовой принадлежности и полу — алгоритмы лучше обучены распознавать белокожих мужчин и чаще выдают ложноположительные результаты в других случаях, например, идентифицируя темнокожих мужчин как потенциальных преступников [74].

Мониторинг здоровья с помощью чипирования

Микрочип представляет собой устройство радиочастотной идентификации, передающий уникальный сигнал через кожу при сканировании [75]. Имплантированный чип можно использовать для быстрого доступа к истории болезни человека, а также жизненно важной информации в чрезвычайных ситуациях, особенно когда человек находится без сознания. Технология может быть очень полезна для людей, страдающих

диабетом, сердечно-сосудистыми заболеваниями или болезнью Альцгеймера. Сам чип содержит не историю болезни, а уникальный код, который можно использовать для доступа к информации из базы данных [76].

Для того чтобы собирать показатели здоровья человека в реальном времени, необходим чип в виде имплантированной электроники. Для таких систем необходимо наличие нескольких микросхем, корпусов, проводов и внешних преобразователей, а для хранения энергии — батарея, что не функционально для постоянного наблюдения за здоровьем [77].

Технология чипирования потенциально может изменить систему здравоохранения, так как позволит проводить постоянный мониторинг биологических сигналов человека и отслеживать такие факторы, как продолжительность сна, артериальное давление и уровень активности. Микрочипы также могут снизить расходы на здравоохранение для работодателей, предоставляя своевременные рекомендации по улучшению здоровья сотрудников, основанные на собранных данных.

Идея тотального мониторинга здоровья с помощью чипирования поднимает вопрос о безопасности данных. Даже несмотря на строгую политику конфиденциальности, угроза «взлома» остается реальной. Чип может быть отсканирован, если человек пройдет через сканер, сам того не подозревая [78]. Кроме того, чип может быть использован не только в медицинских целях, но также и для идентификации человека и определения его местонахождения, что также создает угрозу нарушения безопасности конфиденциальной информации.

Применение технологий контроля над сознанием и эмоциями людей

По мере развития цифровых технологий, их активного распространения и вовлечения в их использование все большего числа пользователей, растут и возможности их воздействия на восприятие человеком информации, его сознание, мышление и эмоции. Технологические достижения облегчают жизнь людей, высвобождая их время и энергию для других задач, однако, они способны оказать негативное влияние на когнитивные функции, такие как критическое мышление, способность принимать решения и др., которые зависят от памяти и обучения. Активное использование технологий будет приводить к росту зависимости от них. Эксперты выделяют два основных направления воздействия технологий на людей. Первое связано с тем, что люди имеют возможность переложить часть своих рутинных когнитивных задач на технологии (когнитивный аутсорсинг). Например, возможность нахождения любой информации в Интернет приводит к тому, что

люди запоминают меньше, алгоритмы выдачи тематического контента позволяют избегать сознательных решений о выборе, наличие «банка знаний» в сети снижает необходимость изучения и запоминания процессов и процедур, стирается адекватное самовосприятие человека о том, что он действительно знает или думает, что знает.

Второе направление связано с целенаправленным использованием технологий для поведенческой манипуляции или информационной пропаганды. Цифровые технологии позволяют манипулировать восприятием и усиливать укоренившиеся предубеждения людей при помощи использования алгоритмов, которые на основе изучения предыдущих поисковых запросов пользователя или просмотров контента предлагают информацию, отражающую его убеждения, что приводит к формированию информационного пузыря. Другим способом манипулятивного воздействия является стимулирование чувств возмущения, гнева, агрессии или других эмоций для повышения вовлеченности на цифровых платформах, а также поощрение многозадачности на одном или нескольких сайтах, что приводит к снижению концентрации, внимательности, глубокой фокусировки и критического мышления у пользователя и делает его более управляемым. При этом, сочетание когнитивного аутсорсинга, алгоритмов ИИ, позволяющих собирать значительные объемы данных о пользователе, и поведенческой манипуляции усиливает и ускоряет воздействие на людей, что предоставляет компаниям, политикам или другим заинтересованным лицам возможность управлять людьми, регулировать и направлять их поведение для извлечения выгоды [79].

Значимую угрозу представляет собой активно распространяющееся манипулирование общественным мнением с помощью социальных сетей, привлечения наноинфлюэнсеров (аккаунты с 1-10 тыс. подписчиков, располагающие большим влиянием на ограниченную аудиторию), приложений для обмена сообщениями, синтетических медиа (средства массовой информации полностью или частично созданные при помощи ИИ и использующие нейросети для генерирования фейковой информации и изображений) [80] и новых информационно-коммуникационных технологий с целью дезинформации, аффективной поляризации населения во время выборов, кризисов безопасности и других ключевых событий. Технологии манипулирования информацией трансформируются из относительно несложных «неорганических» кампаний, продвигаемых ботами социальных сетей, к более сложным «полуорганическим», сочетающим в себе как скоординированные действия анонимных пользователей, так и программное обеспечение ИИ [81]. Использование этих инструментов влияет на восприятие информации, в том числе, служит

способом оказывать воздействие на эмоциональную реакцию человека, снижая чувствительность к травмам и ущербу при просмотре изображений насильственных смертей, бедствий и/или зверств, что может быть использовано для снижения морального сопротивления населения бесчеловечным актам путем дегуманизации врага в международных конфликтах [82].

Надлежащая нормативно-правовая база, защищающая людей не только от манипуляций с риском физического или психологического вреда, но и от риска экономического ущерба, могла бы стать барьером для распространения практик манипулирования с помощью современных технологий [83].

Принудительное вегетарианство

Вегетарианство — это система питания, представляющая собой потребление преимущественно/исключительно растительной пищи [84]. Сегодня существуют различные типы и категории вегетарианства, проявляющиеся в двух основных направлениях [84]: употребление исключительно растительной пищи, или употребление яиц, или молока помимо нее. Начиная с 2010-х гг., в общественном дискурсе и медиапространстве набирает популярность тема принудительного вегетарианства: в интервью, личных блогах и на страницах в социальных сетях люди делятся опытом «перевода» на вегетарианское питание своих детей и животных из-за собственной приверженности вегетарианству [84, 85].

Распространению принудительного вегетарианства могут способствовать традиции или соображения регуляторного характера. Например, в 2021 г. администрация индийского города Гургаон приостановила работу мясных магазинов по вторникам, что было воспринято жителями города как принуждение к вегетарианству [86]. Учитывая появляющиеся в европейских странах призывы к сокращению производства продуктов животноводства, как не этичного и не экологичного, можно предположить, что идеи предотвращения эксплуатации животных и негативного влияния фермерства на атмосферу, продвижения привычек осознанного питания [87] будут использоваться для распространения практик вегетарианства.

Несмотря на явные противоречия концепции принудительного вегетарианства с точки зрения этики и пользы для здоровья человека, ученые не дают точных прогнозов на будущее [88]. Большинство научных изданий рассматривают принудительное вегетарианство скорее как гипотетически возможное и «вынужденное» такими причинами, как перенаселение планеты и нехватка продуктов животного происхождения [89].

4.2 Технологические события-джокеры

Серийное производство на орбите Земли

Технологическое развитие и заинтересованность государственных и частных акторов в космических программах создают условия для появления спутников-фабрик, а затем — полноценного производства на орбите Земли. Орбитальные условия позволяют реализовывать проекты, которые на Земле оказываются невозможными. Так, в 2018 г. на борту МКС на принтере компании 3D Bioprinting Solutions были напечатаны хрящевая ткань человека и щитовидная железа грызуна. Для этого было создано магнитное поле заданной формы, при котором клетки соприкасались только друг с другом, а не со стенками лабораторной посуды, что не удалось бы сделать на Земле [90].

В июне 2023 г. компания Varda Space Industries [91] вывела на орбиту спутник — первую частную космическую лабораторию для экспериментов с лекарственными препаратами. Американская компания Nanoracks [92] разрабатывает технологии, которые позволили бы построить орбитальную станцию из космического мусора, например, из верхних ступеней и разгонных блоков ракет-носителей. Над роботизированными системами печати в космосе работает Orbital Composite, стартап ставит целью создание космической лаборатории по производству, обслуживанию и сборке массивных антенн за пределами будущей орбитальной станции Axiom [93].

Среди наиболее перспективных направлений — создание в условиях микро- или нулевой гравитации человеческих органов, высокочистых кристаллов и лекарственных средств; 4D-биопечать тканеинженерных конструкций из синтетических материалов для регенеративной медицины, ортопедии, костной пластики; печать необходимых для космических станций, спутников и проведения исследований инструментов и деталей; переработка и использование космического мусора; производство комплектующих солнечных электростанций [94]. Если одни эксперты полагают, что в отдаленном будущем на орбиту могут быть выведены тяжелая и загрязняющая промышленность [95], то другие отмечают экономическую целесообразность производства только того, что будет использоваться в космосе [96].

Современные технологические возможности не позволяют справиться с барьерами для выстраивания серийного производства на орбите — с высокой амплитудой температур, космической радиацией, нерентабельностью доставки грузов на орбиту и возвращения на Землю, отсутствием многоразовых средств выведения и доставки с орбиты. Однако в случае решения этих вопросов развитие производства окажет значительное влияние как

экономику Земли, так и на направления космических исследований и реализацию миссий в дальнем космосе.

Создание искусственных мозговых синапсов из углеродных нанотрубок

Углеродные нанотрубки являются новым прогрессивным материалом, который потенциально может способствовать развитию синтетической биологии. Исследователи Университета Южной Калифорнии использовали углеродные нанотрубки для создания схемы синапса. Им удалось искусственно воссоздать передачу импульсов между нейронами, которые представляют собой строительные блоки мозга. Следующим шагом в этом направлении станет построение структуры из синапсов, которые будут имитировать работу мозга [97]. Дублирование возбуждения синапсов в цепи из нанотрубок недостаточно для воссоздания функции мозга. Сложный и не статичный, со временем он устанавливает новые связи, адаптируется к изменениям и производит новые нейроны [98].

Исследования с целью создания этого процесса с помощью аналоговых цепей могут иметь долгосрочные последствия в сфере биотехнологий [99]. Углеродные нанотрубки, молекулярные углеродные структуры чрезвычайно малого диаметра [99], потенциально могут использоваться в создании искусственных имплантатов. Одно из главных требований — биосовместимость с человеческими тканями [100]. Таким образом, технология может быть использована в сердечно-сосудистой хирургии, для лечения черепно-мозговых травм или для разработки интеллектуальных систем, которые могут быть использованы для повышения безопасности автомобилей [101].

Создание искусственных мозговых синапсов из углеродных нанотрубок потенциально может продвинуть исследования по созданию синтетического мозга, что поспособствует созданию антропоморфных автономных роботов. В настоящее время возможности роботов ограничены возможностями их программ, что не позволяет им адаптироваться к постоянно меняющемуся миру. Поэтому появление искусственного мозга может воплотить способность роботов взаимодействовать в меняющейся среде так же, учась на собственном опыте и опыте окружающих [102].

Технологии извлечения металлических элементов из вод Океана

В морской воде содержится множество металлов во взвешенном состоянии — магний, литий, калий, золото, уран, медь, молибден, скандий, рубидий и др. [103], критически важных для химической и атомной промышленности, производства сложной электроники, приборостроения, технологий «зеленой» энергетики и др. Концентрация элементов в воде невелика, однако показатели объема Мирового океана ($\approx 1,3 \times 10^9 \text{ км}^3$) [104]

дают основания полагать, что запасы химических элементов в нем огромны. Например, урана в морской воде содержится в 1 тыс. раз больше, чем в наземных источниках [105].

Океан является возобновляемым источником металлов, в отличие от наземных рудных месторождений [106]. Кроме находящихся в воде в взвешенном состоянии, металлы накапливаются в организмах морских обитателей — в бентосе, планктоне, рыбе; так, асцидии накапливают ванадий в концентрации, в миллион раз выше, чем в морской воде, а черви из семейства амфаретид накапливают в жабрах медь [106].

В 2020 г. в ЕС был запущен проект Sea4Value по разработке технологий и процессов извлечения металлов (скандий, бор, магний, индий, галлий, др.) из раствора, который остается в установках, используемых для опреснения морской воды [107]. В Окриджской национальной лаборатории (США) разрабатывают технологии добычи металлов из воды, которые бы позволили снизить энергоемкость процесса [108]. Так, созданные в лаборатории адсорбционные и ионообменные материалы будут использоваться для 3D-печати элементов с оптимальной пористостью для высокотехнологичных фильтров, каждый из которых будет настроен для фильтрации определенного металла.

Современные методы не позволяют наладить рентабельную промышленную добычу металлов, чья концентрация в воде очень мала. Кроме того, откачка, перемещение и обработка больших объемов воды требуют много энергии. Появление и коммерциализация таких технологий изменят горнодобывающую промышленность, глобальные экспортно-импортные потоки.

Создание генетически модифицированных водорослей, накапливающих в тканях полезные элементы

Использование растительного сырья в виде водорослей со специфическими изменёнными характеристиками возможно для превращения биомассы растений в экологические виды топлива [109] или для разработки новых продуктов на рынке фармакологии [110]. Учёные успешно редактируют гены для создания штаммов водорослей, которые способны обеспечить коммерческий спрос на устойчивое биотопливо [111]. Ожидается, что к 2030 г. мировой рынок биотоплива из водорослей достигнет оценки в 15,39 млрд долл. (с 7,23 млрд долл. в 2021 г.) с темпом роста около 9% в год в 2022-2030 гг. [112]. Культивирование генно-модифицированных водорослей в больших объёмах также может быть полезно в сфере медицины, поскольку позволит снизить стоимость получения рекомбинантных фармацевтических белков [113].

Активное выращивание модифицированных водорослей может иметь положительный эффект для экологии планеты, поскольку в процессе их роста поглощается в три раза больше углерода на гектар, чем тропическим лесом, и около 50% фотосинтеза на Земле происходит в морских и микроводорослях [114]. Так, нефтяная компания ExxonMobil уже более десяти лет работает над технологией производства топлива из водорослей с высоким содержанием масла, к 2025 г. планируется добиться мощности, позволяющей вырабатывать 10 тыс. баррелей такого топлива в день.

Согласно проведённым исследованиям, создание таких водорослей может привести к обеднению биоразнообразия и вспышкам инфекций у культурных растений [115]. Необходимо создание долгосрочных программ генетического улучшения морских водорослей для сохранения биологического разнообразия и экологической устойчивости [116]. При некачественной утилизации отходов производства биотоплива из генетически модифицированных водорослей повышается вероятность серьёзных последствий для окружающей среды и здоровья населения. Необходимая обработка побочных продуктов и использованной воды приведёт к дополнительным затратам на производственный процесс [117].

Технологическая сингулярность

Гипотетический момент в будущем, когда технологическое развитие станет неуправляемым и необратимым, радикально изменив человеческую цивилизацию, получил название технологической сингулярности [118]. Единого понимания того, что такое техносингулярность, не сложилось, под ней понимают как ускорение технологического развития, так и потерю человеком контроля над технологиями (искусственным интеллектом) [119].

Футурологи отмечают, что технологическая сингулярность будет характеризоваться превосходством искусственного интеллекта над интеллектом человека — роботы и ИИ смогут действовать самостоятельно, осуществлять сложные расчеты и совершать научные открытия. Достижение техносингулярности связано с прорывами в робототехнике, генетике, нанотехнологиях [120]. Некоторые футурологи (Р. Курцвейл, М. Сон) относят наступление момента технологической сингулярности к 2045-2047 гг. [121, 122].

Согласно исследованиям ученых НИУ ВШЭ, технологическая сингулярность — это повторяющееся явление, своего рода точка, отмечающая смену типа развития — от ускорения к замедлению. По их расчетам, сингулярность была пройдена в 2018 г., после чего мир вступил в период технологического замедления, новая волна ускорения возможна

в 2030-х гг., с учетом чего следующая сингулярность наступит в 2106 г. В 2030-х гг. может наступить эпоха «умных» саморегулирующихся систем, движущей силой которой станет конвергенция медицины, аддитивных и когнитивных технологий, нанотехнологий, биотехнологий, робототехники, ИТ-сектора [123].

Также существует мнение, что технологическая сингулярность непредсказуема, и в выделяемые некоторыми исследователями вехи, включая 2018 г., не было совершено открытий, сопоставимых по значимости с атомной энергетикой, электроэнергетикой, интернетом, структурой ДНК и др. [124]. Выбор вех, знаменующих переход к ускоренному технологическому развитию, субъективен, зависит от того, что с точки зрения исследователя является важным для эволюции человека. Кроме того, некоторые эксперты отмечают спекулятивность идеи возникновения превосходящего человека ИИ, непрямого условия наступления техносингулярности, и поверхностность аргументов ее сторонников [125].

Отсутствие единого понимания сингулярности и времени ее наступления определяет неоднозначность (противоречивость) и множественность оценок ее последствий для экономики, общества и отношений между людьми. Тем не менее, эксперты сходятся в том, что ее последствия будут масштабными, изменят все сферы жизни человека. Так, согласно одному из предположений произойдет синтез человека и машины. Согласно другим точкам зрения, превосходящий способности человеческого мозга ИИ будет контролировать все сферы деятельности человека; даже если людям будут доступны технологические «усовершенствования» их физических и когнитивных способностей, то воспользоваться ими могут не все, что усилит социальное неравенство, сформирует предпосылки для новых конфликтов [126].

Энергетическая сингулярность

Уровень энергопотребления растет экспоненциально, и избежать глобального энергетического кризиса можно за счет освоения возобновляемых, обильных источников энергии — солнца, воды, ветра, ядерного синтеза [127]. Характерная черта переходов к новым источникам энергии — энергетических циклов — декарбонизация, то есть переход от топлива с высоким содержанием углерода к ресурсам с высокой долей водорода: древесина, уголь, нефть, газ, водородная и солнечная энергия [127].

Драйвер перехода к энергетической сингулярности (полного контроля над всеми доступными энергоресурсами) — распространение передовых технологий накопления и распределения энергии в мировых масштабах. К 2028 г. мировой рынок систем хранения

энергии достигнет 355,4 млрд долл. (219 млрд долл. — в 2022 г.) [128]. Такие источники энергии, как солнце, ветер и вода позволяют создать более децентрализованные системы, где основным активом являются местные накопители, так будет обеспечен сетевой эффект.

По некоторым оценкам, энергетическая сингулярность может быть достигнута к 2045 г. [129]. Энергулярность позволит повысить качество жизни людей, обеспечить энергобаланс регионов в зависимости от их потребностей, преобразовать производство, потребление и хранение энергии. Станет возможным существенный прогресс в освоении отдаленных космических пространств.

«Батареи» из водорослей

Постоянно растущий спрос на энергоносители, обуславливаемый в частности увеличением числа подключенных устройств, требует новых энергетических решений. Для выработки электроэнергии, питающей электронные устройства, могут использоваться водоросли. Они способны преобразовывать солнечный свет в химическую энергию, а воду и углекислый газ — в органические молекулы и кислород. В процессе образуются электроны, которые можно собирать и использовать для питания электронных устройств [130].

Ученые из Кембриджа создали систему для сбора энергии из одноклеточных водорослей *Synechocystis*, которая питала микропроцессор с низким энергопотреблением в течение года. В ходе фотосинтеза генерировался слабый электрический ток, который взаимодействовал с алюминиевым электродом. Водоросли не нуждаются в дополнительном питании, потому работа системы не требовала вмешательства. Некоторое время устройство продолжало производить электричество даже в темноте за счет способности водорослей делать запас питательных веществ [131]. Мексиканский стартап Greenfluidics разработал размещающиеся в зданиях биопанели, которые поглощают углекислый газ, выделяют кислород и вырабатывают энергию. Каждая из панелей может генерировать 328 кВтч/м² энергии в год, а также сэкономить до 90 кВтч/м² энергии, сохраняя тепло внутри здания в холодную погоду [132]. В Дрезденском техническом университете из одноклеточных водорослей были созданы функциональные перовскиты. Благодаря электрическим, оптическим и фотонным свойствам спрос на них растет в производстве фотопреобразователей [133].

Технологии, генерирующие энергию из водорослей, находятся на этапах проектов и далеки от коммерциализации. Однако внимание бизнеса [134] и государственных организаций [135] к водорослям для использования в качестве источника водорода, очистки

сточных вод, разработки «зеленых» технологий и производства биотоплива растет. Получение энергии из водорослей будет соответствовать принципам экологичности и устойчивости, внесет вклад в обеспечение энергетической безопасности стран.

Большое «стирание / сброс» (The Big Wipe)

Полное стирание информации, хранящейся в цифровом виде, будет означать потерю цифровой идентификации, аутентификации, доступа к цифровым активам, отсутствие связи даже при технической исправности мобильной связи и Интернета, недоступность банковских балансов, записей, счетов, выписок, государственных пособий, заработной платы, остановку функционирования имплантируемых в тело человека устройств, др. The Big Wipe может стать концом цифрового мира [136]. Учитывая уровень цифровизации экономики, можно предположить, что независимо от продолжительности, «стирание» будет иметь колоссальные последствия для социальной, экономической, политической и экологической систем.

Накопители информации, использовавшиеся на заре эры Интернета или даже в начале XXI в., «не читаются» современными устройствами, соответственно даже использование данных с таких носителей, возврат к старым средствам и способам передачи информации оказывается затруднительным. Если данные были записаны и хранились с использованием ПО, выпуск или обновление которого были прекращены, то современные информационные системы могут оказаться неспособны «читать» или интерпретировать такие данные.

Событие вроде этого легко игнорировать в силу наличия резервных копий, процедур восстановления и наличия планов обеспечения устойчивости бизнеса. Однако они зависят от возможности восстановления контроля, функций, данных или релокации рабочих ресурсов. Возможности и того, и другого исключаются «стиранием». Если природа причины этого джокера будет технологической, то характер драйвера — поведение людей — социальный. Поскольку масштаб последствий события кажется колоссальным, оно рассматривается как крайне маловероятное, люди надеются, что оно никогда не произойдет и стараются о нем не думать (Behaviors that exacerbate the impact of a black swan).

Купола с настраиваемыми климатическими условиями внутри (для выращивания растений, проживания людей и т.п.)

Влияние быстрой урбанизации, экономических, экологических, социальных и демографических факторов стимулирует ученых искать новые подходы к архитектуре жилищ и городов, которые будут отвечать принципам устойчивости. Перспективным

решением такой задачи может стать строительство геодезических куполов, которое включает в себя возведение зданий, конструкций для выращивания растений, строительства жилых сооружений, кварталов или целых районов, находящихся под куполом. Геодезический купол — легкая прозрачная конструкция способная защитить от ветра, дождя и других неблагоприятных погодных условий, он позволяет создать среду обитания с собственным микроклиматом, с возможностью контролировать температуру, состав и качество воздуха внутри.

Купольные системы, благодаря своей конструкции, позволят значительно повысить уровень энергосбережения, создать комфортные условия для жизни в сложных климатических условиях. Также, биодомные проекты (замкнутые куполоподобные экосистемы) могут быть использованы для выращивания продуктов питания способами вертикальных башен, аэропоники, гидропоники и др. [137].

Одним из направлений использования куполов является создание купольных городов или кварталов, регулирующих экосистемы города, что поможет снизить негативное воздействие атмосферных осадков, загрязненности, высокого уровня шума городов на жителей, способствовать энергосбережению, сокращению потребления и защите окружающей среды. Создание буферной зоны внутри купола, поможет избежать потерь тепла зимой и чрезмерного нагрева летом и значительно снизить расходы на отопление и охлаждение [138].

Кроме того, постоянный благоприятный микроклимат под куполами потенциально может повлиять на отказ от типового капитального жилья в пользу быстровозводимых зданий облегченного типа из несущих каркасов и легких панелей, чья стоимость гораздо доступней по сравнению с капитальным строительством. Концепция купольной системы климатической защиты доступна для практической реализации и способна привлечь значительное количество инвестиций.

Замедление / остановка процесса старения человека

На протяжении всей истории человечество занимала идея поиска средства, способного приблизить людей к бессмертию. Сегодня актуальность исследований старения организма человека связана с социальными и экономическими аспектами этого вопроса, развитием человеческого капитала. Увеличение доли пожилого населения усиливает давление на экономику и социальные системы. С возрастом увеличивается подверженность серьезным заболеваниям, которые снижают качество жизни и требуют дорогостоящего лечения. Необходимость увеличения продолжительности здоровой жизни и поддержания

вовлеченности людей старшего возраста в экономические и трудовые процессы, также как и сокращение численности населения на фоне снижения рождаемости, в настоящее время особенно актуальное для развитых стран, формируют запрос на сохранение и усиление физического и когнитивного потенциала человека в течение как можно большего периода времени.

Современный уровень научно-технологического развития позволяет продвинуться в соответствующих исследованиях. Среди активно развивающихся направлений — биохакинг, геномика, редактирование генов, протезирование, 3D-биопечать [139]. Например, компания LyGenesis работает над выращиванием тканей пациентов в их собственных лимфатических узлах, в то время как компания Celularity производит аллогенные клетки и ткани, полученные из послеродовой плаценты [140]. Редактирование генов может быть использовано для быстрой и точной диагностики и коррекции мутаций ДНК, которые могут привести к серьезным заболеваниям (например, мышечная дистрофия Дюшенна), профилактики генетических расстройств, а также решить проблемы пищевой аллергии [141].

Одно из направлений исследований связано с удалением из тканей старых клеток, — стареющие клетки могут выделять соединения, формирующие воспаленную среду, тем самым вызывая хронические заболевания. Национальные институты здравоохранения США инвестируют в программу Common Fund Cellular Senescence Network (SenNet), которая занимается выявлением и описанием различий в стареющих клетках [142]. Однако эти исследования находятся на этапе лабораторных экспериментов и все еще далеки от использования в медицинской практике [143].

Современные медицинские исследования в основном направлены на сокращение разрыва между общей продолжительностью жизни и продолжительностью здоровой жизни. Сейчас этот разрыв составляет в среднем около десяти лет [144]. Если остановка процесса старения когда-нибудь станет доступной, то мир столкнется с последствиями роста пожилого населения: с последствиями смены динамики численности населения, с изменениями в экономическом развитии (снижение производительности труда, повышение уровня цен), в трудовых отношениях (изменение пенсионного возраста), в работе сферы здравоохранения, в том, как функционируют семьи [145]. Если замедление старения или его полная остановка станет доступна только привилегированному слою общества, то это усугубит существующее социальное неравенство, обострит этические вопросы.

Использование ДНК как накопителя цифровой информации

В 2020 г. объем сгенерированных данных в мире оценивался в 64,2 зеттабайта, в 2025 г. он может вырасти до 181 зеттабайта [146]. Разного рода события могут повлиять на то, что реальные показатели окажутся больше прогнозируемых. Так, в 2020 г. рост объема данных оказался выше прогнозируемого уровня из-за пандемии COVID-19. Это формирует спрос на надежные и более вместительные накопители информации; современные магнитные носители имеют ограниченный предел плотности записи.

Максимально плотным, надежным и энергоэффективным носителем информации является молекула ДНК [147], которая может существовать в течение миллионов лет в виде копий самой себя [148]. В 2012 г. ученые Гарварда использовали молекулы ДНК для записи книги «Регенезис: как синтетическая биология заново изобретет природу и самих себя» [149]. В 2017 г. GIF-изображение было записано в ДНК бактерии при помощи технологии редактирования генов CRISP [150]; в 2020 г. на такой носитель был записан уже целый эпизод сериала [151]. В 2019 г. Microsoft представила первую систему хранения данных в искусственно созданной ДНК с возможностью считывания [152]. Разработкой технологий хранения информации на синтетической ДНК занимаются компании Seagate и Catalog Technologies. Как отмечают в Catalog Technologies, информационная плотность ДНК в миллион раз больше, чем у твердотельных накопителей, а «срок годности» такого носителя — тысячи лет [153].

Сложности использования «биологических» накопителей вместо SSD и жестких дисков связаны с необходимостью их защиты от воздействия окружающей среды — окисления, гидролиза, воздействия ультрафиолета, механических воздействий. Кроме того, их распространение потребует смены используемых сегодня цифровых устройств. Долговременность хранения, как правило, достигается за счет уменьшения плотности хранения [154]. Архивное хранение может стать одним из наиболее распространенных способов применения ДНК-накопителей. Природа таких накопителей и потенциальные способы использования определяют необходимость междисциплинарных исследований для разработки всех процессов от кодирования до декодирования данных.

Появление фемтоматериалов

Фемтоматериалы разрабатываются на основе структурирования вещества на уровне элементарных частиц (кварков, лептонов, адронов). Потенциально фемтоматериалы обладают абсолютной химической стабильностью, имеют неограниченный срок эксплуатации, способны выдерживать экстремальные температуры без изменения свойств,

невидимы для человеческого глаза и технических устройств и непроницаемы для веществ любого агрегатного состояния.

Использование фемтоматериалов решит проблемы контактного взаимодействия твердых деформируемых тел, приводящие к износу и разрушению механизмов и транспортных систем, поэтому фемтоматериалы могут применяться в машиностроении, авиации, энергетике, космической отрасли, микроэлектронике. Они сделают возможным развитие новых типов транспортных систем и гиперзвуковой авиации, придадут стимул развитию оптики, фотоники и лазерной обработки и т.д. [155].

Фемтотехнологии позволяют манипулировать материей на уровне, определяемом в фемтометрах, единица которого равна 10^{-15} м. При таком масштабе существует вероятность проникновения фемточастиц в биологические мембраны и их циркуляции по организму. Сочетание повышенной реактивности и биодоступности фемточастиц, особенно тех, которые могут использоваться в производстве продовольственной продукции, может создать риски для здоровья человека и окружающей среды [156].

Распространение технологий микропроизводства бионефти и биогаза

Биоэнергетика рассматривается в качестве одного из способов сокращения вредных выбросов в атмосферу, биомасса — альтернативный неисчерпаемый источник для производства топлива. По некоторым оценкам, мировой рынок биогаза вырастет с 75 млрд долл. в 2023 г. до 138 млрд долл. в 2033 г. [157], а темпы роста рынка бионефти, в 2018 г. оценивавшегося в 1,5 млрд долл., составят 10,4% до 2028 г. [158]. Рост рынка биотоплива обеспечат потребность в энергетической безопасности, спрос на бионефть и биогаз на мировом рынке, распространение транспорта на альтернативном топливе, сокращение добычи, истощение месторождений нефти и газа и нерентабельность разработки новых.

Сравнительно недорогое и энергоемкое топливо может производиться из специально выращенных культур (сахарный тростник, кукуруза), органосодержащих отходов, микроводорослей [159]. Так, производящая продукты питания австрийская компания 11ег использует на предприятии установку для выработки биогаза из картофельной кожуры [160]. Для бионефти, например, не требуется специальных производств и инфраструктуры, поскольку подходит та, что создавалась для обработки традиционной.

Энергоэффективные технологии производства биотоплива могут стать шагом к технологиям микропроизводства. Кроме позитивного влияния на экологию, распространение технологий микропроизводства бионефти и биогаза среди предприятий и

домохозяйств, особенно сельскохозяйственных, значительно скажется на глобальном и национальных топливно-энергетических балансах, отопительной и заправочной инфраструктуре. Микропроизводство бионефти и биогаза положительно отразится на решении проблем утилизации отходов и обеспечения топливом отдаленных поселений.

Использование капсул гибернации при длительных космических перелетах

Гибернация — это искусственное погружение человека в сон путем замедления или полной остановки физиологических процессов с помощью криосна, анабиоза или гипобиоза [161]. При гибернации человек помещается в пространство, ограниченное капсулой — таким образом, происходит экономия пространства, а также сокращение массы необходимых при длительных полетах снаряжения и продуктов [162].

В 2019 г. американские врачи в ходе проведения операции впервые ввели человека в состояние искусственной гибернации (гипобиоза), заменив его кровь на физраствор температурой около 10-15°C, приостановив физиологические процессы [163]. В настоящее время не существует единого установленного прототипа капсул гибернации, однако присутствуют исследования, как продвигающие данную идею, так и ставящие ее под сомнение. Например, ученые Европейского космического агентства считают человеческую гибернацию технологией, которая практически невозможна к воплощению в реальную жизнь [164]. С другой стороны, они не исключают возможности появления капсул гибернации, трактуя возможные преимущества и недостатки использования подобных технологий [165].

Основными преимуществами использования капсул гибернации при космических перелетах являются экономия места на космическом корабле, а также снижение массы требуемых продуктов и вещей, что в долгосрочной перспективе может привести к сокращению расходов на подготовку космических миссий, а также к строительству более компактных космических кораблей [165]. К недостаткам, в свою очередь, можно отнести продолжительное отсутствие физической нагрузки организма, а также возникающий в результате этого стресс [165]. В настоящее время ученые пытаются определить механизм гибернации, однако точных прогнозов и сроков появления капсул не обозначается [166].

Использование сильного ИИ для автономного управления городами и всеми процессами в них

Развитие искусственного интеллекта (ИИ) создает новые возможности его применения, в частности, для подробного анализа факторов жизни в конкретном городе, а

также привычек и предпочтений его жителей для создания наиболее благоприятных условий жизни. В настоящее время технологии ИИ и блокчейн активно внедряются в управление городом для создания «умных» городов [167] — сложных взаимосвязанных систем, основанных на информационных технологиях [168].

«Умные» технологии позволяют повысить уровень жизни горожан, сделать ее более безопасной: например, в среднем в «умных» городах преступность снижена на 30-40%, а службы спасения реагируют на 20-35% быстрее. Также при использовании «умных» решений снижается нагрузка на экологию: в городе с 5 млн жителей удаётся тратить на 125 — 400 млн литров воды в день меньше [169]. Сильный ИИ позволяет увеличить возможности социального управления посредством мониторинга перемещения населения и мессенджеров, массовой установки систем распознавания лиц [170]. Введение подобных систем наблюдения и управления требует увеличения расходов на энергию и мощности, необходимые для обработки данных [170].

Свободный доступ ИИ в «умном» городе к смартфону каждого человека и его местоположению сделает несостоятельной саму концепцию конфиденциальности и тайны личной жизни, результатом чего станет несоблюдение прав человека компаниями и правительствами [171]. Кроме того, алгоритмы могут оказаться невосприимчивыми к пересмотру устоявшихся в обществе представлений и взглядов [172].

Использование энергии морских приливов

Приливная энергия — энергия, вырабатываемая движением океанических вод во время приливов и отливов. Для ее получения используются приливные электростанции, при помощи которых энергия от естественного движения быстрых ($> 1,8$ м/с) водных потоков преобразуется в чистую электроэнергию. В мире используются три различных способа получения приливной энергии: приливное течение, дамбы и приливные лагуны [173]. Наибольший потенциал распространения технология имеет в островных странах.

Согласно оценкам, чтобы достичь чистого нуля к 2050 г., производство электроэнергии в океане должно расти на 33% в год [174]. Хотя приливная энергия является одним из самых мощных и надежных источников энергии на планете, и ее генерация обладает большим потенциалом для решения энергетического кризиса, скорость распространения таких технологий невысока. Основным фактором, замедляющим развитие в этой сфере, является высокий уровень затрат на строительство и эксплуатацию таких комплексов и, как следствие, высокая стоимость получаемой электроэнергии по сравнению с другими возобновляемыми источниками энергии, такими, например, как ветер и солнечная

энергия. По оценкам, приливная энергия стоит 130-280 долл. за мегаватт-час (МВтч), в то время как энергия ветра может стоить всего 20 долл. за МВтч [175]. Хотя строительство крупномасштабных возобновляемых приливных электростанций стоит дорого, небольшие электростанции смогут обеспечить «зеленой» энергией прибрежные районы [176].

Также сдерживающим фактором является потенциальное негативное воздействие на окружающую среду, если не будут приняты меры по защите морской флоры и хрупких экосистем. Хотя приливные электростанции не имеют выбросов парниковых газов, возможны другие экологические последствия, такие как изменения уровня моря или качества воды. Крупномасштабные проекты дамб могут быть особенно разрушительными для экосистем, так как могут повлиять на уровень соли воды в лагунах, привести к заиливанию территорий, негативно сказаться на морской флоре и фауне [177].

Использование колоний бактерий для переработки метана в верхних слоях атмосферы

Увеличение концентрации метана в атмосфере усугубляет проблему глобального потепления [178], поскольку его парниковая активность в 25-30 раз больше и темпы роста концентрации в 3-4 раза выше, чем у углекислого газа. Но из-за короткого жизненного цикла в атмосфере (10-12 лет) сокращение выбросов метана может дать более быстрые результаты замедления темпов потепления; в случае с углекислым газом на это потребуется сотни лет [179].

На примере арктического озера в Сибири ученые доказали, что часть метана, производимого вследствие таяния вечной мерзлоты, поглощают обитающие в водоеме бактерии. В атмосферу попадает только тот метан, который образуется в приповерхностном слое воды [180]. Однако пока не установлено, с чем связаны особенности цикла метана в этом конкретном озере. Так, одним из способов борьбы с метаном может стать использование колоний метанотрофных бактерий для его переработки [181]. Это микроорганизмы, которые используют метан для поддержания своей жизнедеятельности [182]. Было обнаружено, что внутри потребляющей метан бактерии *Methanoperedens* существуют структуры ДНК (борги), которые содержат гены, ассимилированные от других организмов и увеличивают скорость метаболизма парникового газа [183]. В свою очередь, увеличение количества этих структур в клетке усиливает интенсивность поглощения метана. Кроме того, не исключено создание новой технологии генной инженерии, если получится осуществить перенос ДНК с помощью боргов [184].

Одновременный выход из строя большого количества спутников (из-за столкновения с космическим мусором или техногенных причин)

С каждым годом растет число стран, разрабатывающих спутники, сфера применения которых постоянно расширяется. В настоящее время на орбите Земли находится более 5 тыс. спутников, к 2025 г. это число может, как минимум, удвоиться [185]. При этом технологическому и нормативно-правовому аспектам утилизации спутников уделяется недостаточное внимание. Обостряется проблема космического мусора [186], растёт риск эффекта Кesslera — поражения огромного количества спутников в результате столкновения двух других [187]. Массовый выход спутников из строя также может произойти из-за технических неисправностей, диверсий, под воздействием условий космической погоды (космических бурь [188], вспышек на Солнце [189]).

При одновременном выходе из строя большинства спутников средства коммуникации мгновенно станут недоступны: будут потеряны сотни миллионов Интернет-соединений, перестанут работать телефонные линии, телевидение и система GPS. Последствия этого будут включать неразбериху и обвалы на мировых рынках и, как следствие, — кризисы. В случае, если работа спутников не будет восстановлена быстро и ликвидация последствий аварии затянется, невозможность использовать космические системы наблюдения усилит подозрительность в отношениях между государствами, сделает менее прозрачной их активность в сфере обороны и бесполезными механизмы обмена данными и взаимного контроля. Станут невозможны прогнозирование погоды и наблюдение за изменением климата. В случае падения спутников на Землю будут разрушены целые города [190, 191].

Несмотря на существование экстренных планов по восстановлению связи на Земле (например, с использованием недорогих миниатюрных наноспутников), возможности человека будут существенно ограничены на многие годы вперёд [192]. Ближний космос может стать непригодным для использования на десятки лет [193]. Эксперты обращают внимание на необходимость сокращения объёмов космического мусора, а также развития методов его удаления (Active Debris Removal, ADR — активное удаление мусора) [194].

Орбитальные солнечные фермы

Важную роль в энергетическом переходе играет солнечная энергетика. Современный уровень научно-технологического развития позволяет разрабатывать технологии для размещения солнечных батарей на запускаемых в космос спутниках и передачи энергии на Землю в виде микроволнового или лазерного излучения.

Соответствующими исследованиями занимаются Европейское космическое агентство (European Space Agency, ESA) [195], Калифорнийский технологический институт [196], имеющие космические программы страны, в частности, Великобритания [197], США [198], Китай [199], Япония [200].

В 2023 г. ученые Калифорнийского технологического института запустили прототип спутника (Space Solar Power Demonstrator), с помощью которого будет проверена возможность сбора солнечной энергии и ее передачи на Землю [201]. К 2030 г. британской организацией, объединяющей сферы бизнеса и науки, Space Energy Initiative должна быть создана демонстрационная орбитальная система, а к 2040 г. — действующая система, обеспечивающая подачу энергии в сеть [202].

Космос может обеспечить больше энергии, чем потребит земная экономика, — на геостационарной орбите может быть получено в 100 раз больше энергии, чем будет использовать человечество в 2050 г. [203]. Одним из главных аргументов в поддержку развития технологии является то обстоятельство, что космические солнечные электростанции (фермы) будут освещаться Солнцем круглосуточно, а значит, смогут вырабатывать энергию непрерывно, независимо от времени суток и погоды. Также такой способ получения энергии считается экологически чистым.

К негативным факторам использования спутников, оснащенных солнечными батареями, относят возможные проблемы безопасности из-за лазерных лучей, сравнительно малую мощность каждого отдельного спутника, сложности с передачей энергии на Землю из-за облачности и ее рассеивание, высокий риск столкновения таких группировок спутников с космическим мусором и отсутствие возможности ремонта, кроме того, диаметр наземного приемника будет равняться нескольким километрам [204, 205]. К барьерам также относятся высокие затраты на исследования.

Занятие космической солнечной генерацией даже относительно небольшой доли энергетического рынка значительно скажется на нем и мировой экономике в целом, изменит экспортно-импортные связи между странами поставщиками и покупателями энергетических ресурсов, повлияет на цены энергоносителей. По мере снижения стоимости космической энергии, ее востребованность будет расти.

Оцифровка мозга человека

Концепция оцифровки сознания подразумевает моделирование активности человеческого мозга в программном обеспечении. Целью является создание цифровой

копии уникального разума человека в компьютерной симуляции, т.е. модели более 85 млрд нейронов с более чем 100 трлн связей между ними [206].

По предположениям футурологов, для копии и симуляции всех нейронов и связей между ними будет использован сверхмощный аппарат МРТ и возможности искусственного интеллекта. На данный момент существует много сложностей в оцифровке сознания человека: невозможность создать полноценную 3D-карту мозга перед сканированием, отсутствие достаточного объёма компьютерной памяти, недостаточная скорость копирования и др. [207]. Законы физики, противоречащие этой концепции, отсутствуют — проблема заключается лишь в невозможности технологического обеспечения данного процесса [208].

Результатом оцифровки сознания станет создание бессмертного цифрового двойника, способного получать собственный жизненный опыт в той среде, в которую будет помещён. Из-за одинаковости характера и воспоминаний «оригинала» и цифрового двойника может возникнуть проблема конкуренции за идентичность. С точки зрения морально-этических норм, оцифровка мозга является спорной концепцией [209].

Если оцифровка сознания станет повсеместной, общество столкнётся с существованием параллельного виртуального мира, наполненного двойниками живущих и когда-то живших людей. Следствиями этого может стать прекращение развития культуры; кризис на рынке труда, вызванный дополнительной конкуренцией со стороны цифровых двойников; приобретение виртуальным миром главенствующей роли в связи с накопленными в нём информацией и опытом [210]. Вместе с тем, развитие технологии позволит преодолевать физические ограничения и болезни, сохранять копии сознания выдающихся деятелей и др. [211].

Пандемия вируса, занесенного из космоса

По мере активизации космических исследований и планирования более амбициозных миссий, в том числе частных, увеличивается риск распространения на Земле занесенного из космоса вируса [212]. Так, NASA планирует миссии, в ходе которых в начале 2030-х гг. на Землю будут доставлены образцы грунта с Марса [213]. В текущем десятилетии будут реализованы миссии на Титан [214] и Европу [215] — спутники Сатурна и Юпитера для поиска потенциальных биосигнатур.

Образцы с космических тел уже доставлялись на Землю. Например, в 2010 г. космический зонд «Хаябуса» привез на Землю частицы с астероида Итокава; в 2020 г. зонд OSIRIS-REx доставил образцы грунта с астероида Бенну. Согласно установленным

правилам, миссии могли вернуться только при условии малой вероятности нанесения вреда здоровью населения. С изменением характера миссий (участие в них человека) возникает необходимость в обновлении разработанных в 1960-х гг. протоколов защиты планеты от биологического заражения. Так, в 2020 г. в рамках подготовки к полетам на Марс и Луну NASA обновило политику планетарной защиты [216]. Тем не менее, сохраняется риск того, что попадание на Землю нового биологического вида может спровоцировать пандемию. Так, в 2013 г. ученые описали новую бактерию, названную *terricoccus phoenicis*, которая была найдена в стерильных космических помещениях NASA и Европейского космического агентства (European Space Agency) и оказалась там, несмотря на соблюдение строгих протоколов безопасности [217].

О последствиях занесения инвазий из космоса можно судить по распространению инвазивных видов на Земле. В 1960-2017 гг. на меры по управлению распространением инвазий в мире было потрачено свыше 95 млрд долл. (в ценах 2017 г.), а на устранение последствий их проникновения в новые ареалы обитания — в 12 раз больше [218]. Инвазивные виды становятся угрозой для стабильности экосистем, могут стать причиной обеднения биологического разнообразия. Это «накладывается» на снижение устойчивости окружающей среды из-за антропогенной деятельности, результатом чего становится рост частоты передачи патогенных микроорганизмов от животных к людям и вспышки болезней.

Перегрузка архитектуры сети из-за взрывного роста передачи данных

Состояние сети, при котором значительно ухудшаются показатели качества обслуживания из-за высоко сетевого трафика, может привести к потере доступа пользователей к ресурсам отдельных участков или всей сети в целом [219]. За последние десятилетия было разработано несколько алгоритмов управления перегрузкой сети, которые позволяют достигнуть высокой скорости передачи данных при минимизации возникающих задержек. Например, алгоритм Google BBR на данный момент используется более чем 500 тыс. вебсайтами [220]. Однако, сильная запутанность реальных сетевых путей выявляет неэффективность данных алгоритмов и делает перегрузку сети неизбежной [221].

На пике карантинных ограничений в феврале-апреле 2021 г. глобальный интернет-трафик вырос почти на 40% [222], в 2022 г. — рост снизился до 28% [223]. Ожидается, что к 2025 г. количество пользователей интернета достигнет 5 млрд человек (3,8 млрд в 2020 г.) [224]. Большинство интернет-сервисов справляются с вечерним пиком активности

пользователей и не предназначены для круглосуточного использования с высокой скоростью [225]. Большая нагрузка на сеть может привести к крушению сети (Internet meltdown), среди последствий этого окажутся невозможность использовать электронные платёжные системы, утрата средств связи для государственных и частных лиц, затруднения в работе правоохранительных органов и систем здравоохранения, трудности в работе транспорта и т.д. [226]. Зависимость от интернета делает критическую инфраструктуру более хрупкой, а последствия даже недлительных неполадок в работе сети катастрофическими [227].

Печать органов на 3D-принтере

В трансплантологии нехватка органов является серьезным вызовом, так, согласно статистике, в Китае в листе ожидания находятся 1,5 млн человек [228], в США — более 100 тыс., из которых 17 человек умирают каждый день, не дождавшись донора [229]. Печать органов на 3D-принтере может потенциально решить эту проблему.

По принципу работы биопринтеры схожи 3D-принтерами. На этапе препринтинга готовят цифровую модель с помощью снимков МРТ или КТ [230]. Клетки пациента и культивируются в биореакторе, пока не образуется достаточное количество. Зачастую берутся стволовые клетки, так как они могут выполнять роль любой другой клетки в организме [231]. Полученный биоматериал загружают в принтер и печатают трехмерный объект. После изготовления структуру предполагается поместить в биосреду, где она «дозревает» перед пересадкой. Существуют также другие технологии биопринтеров: одни могут печатать коллагеном сразу на открытую рану, другие способны печатать в открытом космосе [232, 233]. С помощью биопринтинга можно произвести живые ткани, кости, кровеносные сосуды и в перспективе целые органы [234].

Несмотря на то, что основой целью биопринтинга является трансплантация, для ее клинической реализации в отношении сложных органов требуются дальнейшие исследования и доработки технологии [235]. К основным ограничениям относится недостаток биоматериала для печати органов — у клеток есть предел деления, поэтому пока нет возможности печати органов в натуральную величину для трансплантации [236]. Кроме того, орган должен функционировать в связке с остальным организмом посредством сложной системы клеток, тканей, нервов и сосудов, что еще не удалось воспроизвести [236].

В настоящее время врачи используют модели, созданные с помощью 3D-печати для проведения медицинских испытаний и тестирования лекарственных препаратов в естественной микросреде [236]. С помощью печатной модели врачи также могут отработать

хирургическое вмешательство до начала фактического лечения [237]. 3D-печатные инструменты используются для более точного размещения реставрационных материалов (винтов, пластин и имплантатов), позволяя улучшить послеоперационные результаты [237]. По некоторым прогнозам, живые клетки, ткани и органы человека будут синтезироваться уже в текущем столетии [238].

Печать продуктов питания на 3D-принтерах

Распространение технологий 3D-печати пищевых продуктов обладает большим числом потенциальных преимуществ. Для такой печати используются сублимированные ингредиенты [239]. Их использование дает возможность выверить состав конечного продукта с высокой точностью и создать учитывающие индивидуальные предпочтения и особенности питания, например, такие, как наличие пищевой аллергии, необходимость придерживаться определенной диеты (спортивной, по медицинским показаниям и т.д.). Технологии 3D-печати продуктов могут быть применены для производства продуктов питания космонавтов и военных. Также технология позволяет создавать еду с полезными свойствами для детей и людей старшего возраста [240].

Такой подход к сбалансированному питанию поддерживает тренд на здоровый образ жизни. К другим преимуществам 3D-печати продуктов можно отнести сокращение пищевых отходов, снижение энергетических и транспортных затрат, неограниченную свободу дизайна, возможность создать альтернативу традиционным мясным продуктам, используя белки, полученные из водорослей, свеклы или насекомых [241].

Внедрение аддитивных технологий в пищевую промышленность потребует решения вопросов с санитарной безопасностью ингредиентов и принтеров, а также разработку законодательства об интеллектуальной собственности и патентной защиты рецептур и технологий в данной сфере. Распространение технологии скажется на рынке труда — востребованной будет профессия инженера по 3D-печати продуктов питания, который будет разрабатывать механизмы и процессы по выпуску печатных продуктов.

Использование 3D-принтеров уже сейчас позволяют создавать необычные десерты, которые привлекают внимание клиентов к ресторанам, где применяются такие технологии, например, ресторан FoodInk позиционирует себя как первый в мире ресторан 3D-кухни, где посуда и продукты напечатаны на 3D-принтере. Аддитивные технологии в обозримом будущем не вытеснят традиционные способы приготовления пищи, но станут дополнением к ним [242].

Появление квантового компьютера, способного взламывать шифрование данных

Используя кубиты как базовую единицу информации, квантовый компьютер обладает увеличенной вычислительной мощностью и может взломать большинство современных криптографических систем [243]. Системы защиты современных интернет-коммуникаций и электронной коммерции уязвимы для атак квантовых компьютеров будущего. Первые подобные атаки могут произойти до 2030 г. [244], а финансовый и государственный секторы, а также страховая индустрия, возможно, столкнутся с ними до 2025 г. [245].

Возможность использования квантового компьютера для расшифровки данных приведет к снижению уверенности в цифровых инфраструктурах [246], даст киберпреступникам доступ к конфиденциальной информации, позволит быстро взломать почти все архитектуры шифрования с открытым ключом — те, которые используются во всех сферах от банковских операций до электросетей [247]. В 2022 г. китайские ученые описали алгоритм взлома наиболее распространённой формы онлайн-шифрования с использованием квантового компьютера [248]. Несмотря на отсутствие точных данных относительно скорости работы алгоритма, это событие может ознаменовать начало нового этапа в истории компьютерной безопасности [249]. По мнению экспертов, к 2030 г. могут начаться «квантовые войны», в которых данная технология будет использоваться в межгосударственных конфликтах [250].

Со стремительным развитием индустрии квантовых вычислений развивается и постквантовая криптография, которая позволит защитить данные от расшифровки [251]. Такие разработки ведут компании Microsoft, Google, Amazon, Газпромбанк и др. [252].

Появление космического лифта

Космический лифт — это сооружение для безракетной транспортировки космических грузов. Впервые идея подобной доставки грузов была предложена К. Циолковским в 1895 г. и подразумевала постройку башенной конструкции, вершина которой находилась бы на геоцентрической орбите [253]. Для постройки космического лифта нужен материал, способный выдержать воздействие атмосферного давления — например, нанотрубки, однако сегодня они не обладают достаточной прочностью [254].

NASA поддерживала проекты создания космических лифтов — с 2006 г. организация проводила конкурсы на лучшую модель космического лифта. Последний конкурс был проведен NASA в 2009 г., поскольку исследователи не смогли продвинуться

дальше этапа разработки прототипа [255]. Сегодня существуют несколько проектов по разработке космических лифтов. Например, японская компания Obayashi Corporation активно тестирует углеродные нанотрубки, в ее планах — постройка лифта к 2050 г. [256, 257]. Предполагается, что кабель, соединяющий Землю и космическое пространство, будет состоять из цепи нанотрубок общей длиной около 96 тыс. км [256, 257]. В 2015 г. канадская компания Thoth Technology запатентовала постройку высотой 19,5 км для использования в качестве пусковой площадки для космических кораблей [258].

Появление такого лифта изменит космическую отрасль и экономику в целом: вероятно, появятся новые специализации и соответствующие рабочие места, вырастет спрос на новые конструкционные, аэрокосмические материалы и технологии, что станет драйвером развития смежных областей (химической, коммуникационной, конструкторской, др.). Последствия окажутся значительными и для других сфер, например, сократятся выбросы в атмосферу от запуска ракет [259]. Космический лифт сделает возможным скоростные перемещения на другие планеты, так по некоторым оценкам, путь до Марса может занять 61 день вместо 270 [259].

Появление первого в мире общего (сильного) искусственного интеллекта

Сильный искусственный интеллект, который также называют общим ИИ (General AI — AGI), представляет собой следующий уровень развития искусственного интеллекта — это форма машинного интеллекта, обладающая теми же возможностями, что и человеческий разум. Ключевые характеристики сильного ИИ заключаются в способности иметь сознание и самосознание, способность рассуждать, решать проблемы, выносить суждения, планировать, учиться, развиваться и общаться. При достижении такого уровня развития ИИ будет способен понимать мир наравне с человеком и действовать, исходя из этой способности.

Ученые и исследователи расходятся в оценках того, когда появится общий ИИ. Некоторые эксперты называют сроки до 2061 г., часть ученых прогнозирует срок около 100 лет [260], другие предполагают, что появление сильного ИИ невозможно [261]. Наибольшие опасения связаны с тем, что при появлении сверхразумных машин — роботов и алгоритмов на базе ИИ, люди утратят возможность контролировать технологию и это может стать угрозой для человечества [262].

Ученые предлагают два подхода к тому, как можно контролировать AGI. Первый вариант — сдерживание сверхсильного ИИ путем ограничения его доступа к интернету для

свободного обмена данными, что позволит препятствовать достижению AGI критической мощности и направить его, прежде всего, на решение гуманитарных и этически оправданных задач. Но и возможности такой технологии тоже будут существенно ограничены. Другой подход — использование специальных алгоритмов, которые бы удерживали ИИ от причинения вреда человеку. Но данный вариант не позволяет обеспечить абсолютный контроль, так как высока вероятность ошибок и непредвиденных препятствий при их использовании [263]. Идеальным вариантом реализации AGI могло бы быть достижение взаимодействия между человеком и ИИ, направленное на сотрудничество, увеличивающее возможности человека, при котором ИИ реализует задачи, поставленные человеком с учетом ограничений [264]. Таким образом, важной задачей является разработка принципов этического ИИ, а также, контроль за применением этических норм и рекомендаций разработчиками ИИ и компаниями, занимающимися внедрением новых технологий ИИ [265].

Преимуществом создания сильного искусственного интеллекта является значительное положительное влияние на общество за счет повышения производительности и благосостояния. В то же время, серьезная проблема заключается в том, что замещение на рабочих местах людей технологиями ИИ способно привести к высокому уровню безработицы — в том числе в наукоемких областях. Это потребует мер по регулированию уровня безработицы, обеспечению возможности переподготовки людям, чьи позиции могут быть замещены ИИ [266].

ИИ является основным драйвером развития новых технологий, таких как большие данные, робототехника и IoT. По прогнозам, ИИ окажет долгосрочное влияние практически на все существующие отрасли [267]. В первую очередь, стремление к достижению AGI повлияет на рост объема инвестиций в таких технологических областях, как программное обеспечение и полупроводники [268]. На данный момент одним из факторов, замедляющих развитие AGI является низкая осведомленность руководителей компаний о том, как интегрировать ИИ в бизнес-процессы для достижения конкретных результатов [269].

Промышленное выращивание органов

Дисфункция органов, несмотря на достижения современной медицины, является главной причиной смертности во всем мире, что создает огромный спрос на донорскую пересадку [270]. Так, по данным Американского фонда трансплантации, в списке ожидания на трансплантацию органов находится около 114 000 чел., из которых около 20 ежедневно умирают из-за нехватки органов [271]. Существующий спрос может быть удовлетворен за

счет производства искусственных органов. К 2030 г. рынок производства биоискусственных органов может достичь 42 млрд долл. (в 2022 г. — 23,13 млрд долл.) [271]. Налаживание производства искусственных органов позволит сократить затраты на лечение пациента до замены органа [272, 273], например, в США при внедрении в клиническую практику регенеративная терапия может сэкономить 250 млрд долл. в год [274].

Технологии производства органов можно разделить на три основные группы: полностью автоматизированные, полуавтоматические и ручные [275]. Наиболее перспективной из них является использование комбинированных методов 3-D печати для автоматического создания индивидуальных органов человека на основе его биоматериалов [275]. Из трех групп искусственно создаваемых органов — механических, биомеханических и биологических, только последние предназначены для полной и окончательной замены органов [275]. Одна из сложностей заключается в обеспечении физиологической функции органа для того, чтобы он «встроился» в работу всего организма. Для этого необходимо воспроизвести в биореакторе всю его сложную внутриклеточную структуру [276].

Достижения в области 3D-биопечати, снижающей риск отторжения органа, и использование искусственного интеллекта, позволяющего делать индивидуальные оценки совместимости органа с организмом пациента, способствуют развитию технологий выращивания органов [277]. К факторам, препятствующим росту рынка биоискусственных органов относятся нехватка квалифицированных специалистов, побочные эффекты трансплантации, высокая стоимость, низкий уровень проникновения технологий в развивающихся странах [277].

В исследовательском институте университета Нью-Хэмпшир в Манчестере планируют выращивать органы для трансплантации на основе клеток реципиента, используя 3-D принтеры и биореакторы [278]. Космический центр Цюрихского университета проводит испытания по выращиванию органоидов, стволовых клеток, созданных в суспензии, которые формируют организованные кластеры [279]. Помимо проведения фармакологических испытаний на органоидах, этот проект также потенциально может быть актуален в трансплантологии [280]. Будущие исследования будут направлены на увеличение размеров органоидов, повышение функциональности и придание большего сходства с настоящими органами [281]. Исследовательская группа МФТИ и Гарварда ускорила процесс производства клеток почти в четыре раза без потери качества при помощи

полуавтоматической обработки тканей [282]. Консорциум ARMI создает прототип платформы по типу сборочного конвейера для производства клеток, тканей и органов [283].

Путешествия только через цифровую среду

Современный уровень технологического развития делает возможным виртуальный туризм. В период действия ограничений на передвижения из-за пандемии COVID-19 спрос на онлайн-экскурсии во всем мире вырос на 54% — люди искали альтернативы путешествиям [284]. Технологии метавселенной могут значительно расширить функционал таких путешествий, обеспечить эффект «полного погружения» в среду и опыт, не уступающий получаемому от путешествий в реальной среде [285].

Метавселенная дает возможность для виртуальных путешествий без необходимости покидать дом: экскурсии в музеях, выставки в галереях, концерты [285]. Виртуальные путешествия также могут позволить посетить места, недоступные из-за террористической угрозы или военных действий, заповедные или труднодоступные регионы, и даже космос. В перспективе возможны также исторические путешествия. Например, компания Thomas Cook Airlines, которая занимается вертолетными экскурсиями над Манхэттенем, создала виртуальный тур, используя 360-градусные записи полета, а японская компания First Airlines запустила виртуальные полеты на самолете [286]. Отсутствие необходимости перемещения значительно сократит выбросы углерода в атмосферу [287].

Метавселенная также потенциально может укрепить рынок туризма. Использование дополненной реальности позволит клиентам предварительно просмотреть пункт назначения, прежде чем отправиться туда [288]. Эту технологию можно также использовать при выборе места проживания или транспорта, проводя виртуальный тур на этапе бронирования путешествия. Британская компания Visit Wales использовала виртуальную реальность, чтобы показать потенциальным посетителям достопримечательности дикой природы, что позволило увеличить количество бронирований на 60% [289].

Потребуется время, прежде чем полноценные путешествия станут доступными в метавселенной, прежде всего это связано с совершенствованием технологий (так, современные гаджеты не удобны для долгого ношения) и их удешевлением. Однако уже сейчас можно отметить, технология способна коренным образом изменить сферу туризма и сама по себе стать востребованным опытом [290].

4.3 Экономические события-джокеры

Замещение традиционного фермерства городским

В 2022 г. мировой рынок городского фермерства оценивался в 19,3 млрд долл., в 2028 г. он может вырасти до 21,7 млрд долл. [291]. Городское сельское хозяйство обеспечивает только 15-20% мировых запасов продовольствия [292]; однако, согласно некоторым исследованиям, этот показатель касается в основном приусадебных участков, которые в полной мере не могут быть отнесены к городскому фермерству с использованием современных технологических достижений («умный» климат контроль, вертикальная гидропоника, светодиодное освещение, др.). [293]. Рост численности населения, урбанизация, технологическое развитие являются факторами роста рынка. Так, достижение населением численности в 9-10 млрд к 2050 г. потребует увеличения производства продуктов питания примерно на 50% от уровня 2018 г. [294].

Распространение городского фермерства будет способствовать возникновению новых форм организации городов (localized communities, urban hubs) [295]. Так, «самодостаточный» город Сюньань [296] в Китае спроектирован таким образом, чтобы в случае возникновения кризисной ситуации в будущем, подобной пандемии COVID-19, жители в условиях изоляции оказались обеспечены всем необходимым. Например, предполагается, что крыши зданий будут оснащены солнечными панелями, а продукты питания будут выращиваться в общих теплицах.

Самообеспечение городов продуктами питания скажется на экономике в целом, в частности на сельскохозяйственном и логистическом секторах, сфере занятости. Сократится время доставки от производства до конечного потребителя, уменьшение длины цепей поставок повысит их безопасность, снизит подверженность влиянию негативных, зачастую непредвиденных событий, таких как, например, карантинные ограничения, что в целом будет способствовать снижению логистических затрат. Для занятых в традиционном сельском хозяйстве распространение городского фермерства будет означать рост конкуренции и издержек, необходимость осваивать новые методы и технологии, способные сделать их продукцию более конкурентоспособной. В то же время, развитие городского фермерства может стать драйвером распространения новых технологий, способствовать созданию новых рабочих мест.

Добыча и доставка на Землю полезных ископаемых с космических объектов

Ряд факторов определяет усиление внимания государственных и частных организаций к добыче ресурсов в космосе: переход к устойчивой экономике, ограничение доступа к рынкам стратегически важных и редких ресурсов и материалов на фоне усиления

конкуренции за неэнергетические ресурсы, технологическое развитие, позволяющее снижать стоимость запусков. Сегодня в космической отрасли задействовано свыше 10 тыс. организаций и 5 тыс. инвесторов [297]. Ресурсы космоса рассматриваются как способные изменить экономику, необходимые для обеспечения национальной и энергетической безопасности, создания новых научных и производственных мощностей [298]. В 2021 г. космическая экономика достигла 469 млрд долл. (на 9% больше, чем годом ранее) [299]; прогнозы ее роста варьируются от 1 трлн долл. к 2040 г. [300] до 10 трлн долл. к 2030 г. [301].

Астероиды и Луна — основные потенциальные объекты для разработки ископаемых. Подготовительная деятельность ведется в законодательной, технологической, образовательной и других сферах. Так, благоприятная для бизнеса нормативно-правовая база создана в США [302], Японии [303], ОАЭ [304] и Люксембурге [305]; в стратегических документах Китая подчеркивается, что освоение космических ресурсов должно обеспечить будущее развитие страны [306]. Такие компании, как OffWorld [307], Moon Express [308], Ispace [309], AstroForge [310], TransAstra [311] работают над технологиями для промышленной добычи ресурсов в космосе. Колорадская горная школа (Colorado School of Mines) предлагает студентам программу обучения добыче полезных ископаемых в космосе (asteroid-mining degree program) [312].

Согласно мнениям некоторых экспертов, как и сегодня, в экономике ближайшего будущего разработка ресурсов в космосе не будет рентабельной, — стоимость полета туда и доставки обратно на Землю значительно выше ценности ресурсов, которые могут быть добыты [313]. Одним из сдерживающих факторов является сложность привлечения инвестиций в высокорисковые проекты. Технологическая и операционная стороны таких предприятий контролируемы, в отличие от разведки ресурсов — без непосредственного доступа к астероиду не может быть установлено, содержит ли он какие-либо полезные ископаемые [313].

Успешная реализация проектов по добыче и доставке на Землю полезных ископаемых из космоса кардинально изменит мировую экономику. Наибольшие выгоды получают государства и частные компании, имеющие возможности для осуществления таких миссий. Это придаст новый импульс развития научно-технологической сфере за счет спроса на соответствующие средства разведки, разработки и доставки, обеспечения деятельности в открытом космосе. Отсутствие признаваемой на международном уровне, законодательной базы по добыче космических ресурсов затруднит урегулирование споров;

обострится конкуренция за установление технологических стандартов и правил поведения в сфере освоения космоса, что усилит конфликтный потенциал международных отношений [314].

Массовое использование литий-кислородных аккумуляторов в электрических автомобилях

Замена существующего транспорта на электрические автомобили может значительно сократить объемы выброса углерода в атмосферу. Однако эта технология не сможет достичь широкого распространения до тех пор, пока не будет создан подходящий аккумулятор. В настоящее время в электрических автомобилях используются литий-ионные аккумуляторы, которые обладают низкой энергоемкостью, большим весом и высокой ценой [315]. Решение этой проблемы может кардинально изменить рынок автомобилестроения и ускорить его полный переход на зеленые технологии.

Литий-кислородные аккумуляторы потенциально могут стать таким решением. Они запасают в 10 раз больше энергии, чем литий-ионные аналоги и имеют меньший вес [316]. Однако такие батареи также недолговечны, способны выдержать только несколько циклов подзарядки и требуют гораздо больше энергии, чем сами могут произвести [317, 318]. Поэтому технология пока не имеет широкого распространения на рынке [317, 318].

Преимущество литий-кислородных аккумуляторов перед аналогами в том, что они позволяют рациональнее использовать ограниченные запасы лития. Однако разведанные запасы лития недостаточны для изготовления полностью электрифицированного транспорта [319]. В ближайшие 5-10 лет рынок может столкнуться с высоким спросом, на который не сможет ответить. Цена на литиевые батареи впервые выросла в 2022 г., поскольку спрос превысил предложение [320].

Прогнозируется, что к 2040 г. мировой спрос на литий вырастет более чем в 40 раз, что повлечет за собой усугубление глобального экологического и социального неравенства, связанного добычей полезных ископаемых [320]. Добыча лития сопровождается загрязнениями земли и воды, разрушением экосистем, что, в первую очередь, негативно сказывается на местных общинах. Помимо экологических последствий, широкое распространение электромобилей повлечет за собой децентрализацию производства и потребления электроэнергии, снижение зависимости от нефтедобывающих стран и повышение стабильности цен на энергоносители [321].

Широкое распространение гибридной рабочей силы

Научно-технологический прогресс позволяет расширять границы возможностей человека через дополнение его когнитивных и физических способностей с помощью нейроинтерфейсов, искусственных органов, имплантов, бионических протезов, экзоскелетов. Если сегодня эти технологии используются преимущественно в медицине при восстановлении утраченных функций организма, в протезировании и реабилитации, то в будущем «усовершенствованные», эффективнее выполняющие задачи с их помощью люди могут занять большую долю рабочей силы.

По некоторым прогнозам, в 2030-х гг. начнется использование сложных технологий, способных улучшить человеческие возможности. Например, аудио-импланты помогут улучшить слух и смогут переводить речь на различные языки, обонятельные импланты будут направлены на стимулирование более точного восприятия запахов, а неинвазивные устройства будут получать сигналы напрямую от мозга [322].

Массовое распространение соответствующих технологий сдерживается как общественным восприятием, так и уровнем научно-технологического развития. Так, разработки технологии интерфейсов «мозг — компьютер» только ведутся, без нее киберпротезы и экзоскелеты не могут получать информацию от мозга, а потому их функционал ограничен заложенной в них программой [323]. Прогресс в развитии таких технологий, их коммерциализация, вероятно, способствуют тому, что воспользоваться ими будут стремиться не только люди, испытывающие проблемы со здоровьем. «Улучшенные» с помощью технологических разработок люди-киборги могут значительно повлиять на рынок труда.

Производство пищевых продуктов с использованием микробиологического синтеза белка из нефтепродуктов

Нефть итак используется при производстве пищевых добавок, усилителей вкуса, консервантов и пр. Однако в условиях истощения почв и водных ресурсов, роста цен на продовольственные товары, продовольственных шоков и сбоев в цепочках поставок все более актуальным становится поиск новых способов производства пищевых продуктов и кормовых белков. Переработка 2% от объема ежегодно добываемой нефти позволяет произвести до 25 млн т белка, которых достаточно для питания 2 млрд человек в течение года [324].

Дефицит белково-витаминного концентрата (важного для кормовой и продовольственной безопасности страны), например, в России превышает 2 млн т в год. Его

производство возможно из природного газа, из сжигаемого на нефтяных месторождениях попутного нефтяного газа [325].

Технологии синтеза пищевой продукции из нефтепродуктов позволят решить связанные с экологией проблемы, обеспечить надежность независимого от погодных условий сельскохозяйственного производства, снизить цены продуктов питания. Будут созданы новые рабочие места, появятся новые специальности, изменятся глобальные цепочки поставок. При этом негативными будут последствия для традиционного сельского хозяйства, в частности занятых в нем. Неясны последствия постоянного употребления таких продуктов для здоровья человека.

Широкое распространение глубоководного бурения в океане

В океане на глубине 4 тыс. м обнаружены триллионы конкреций редкоземельных элементов [326]. Достижения в сфере робототехники, технологий телеприсутствия и обработки больших данных могут стать драйверами развития глубоководного бурения. Благодаря новым методам извлечения разработка даже небольших месторождений может стать экономически выгодной. Разведка и подводные работы могут осуществляться автоматизированными и дистанционно управляемыми роботами [327].

Высокий спрос на редкоземельные металлы и ужесточение контроля над их экспортом в условиях глобальной технологической конкуренции также могут способствовать распространению глубоководного бурения. Так, правительство Японии, которая полностью зависит от импорта, 60% которого приходится на Китай, рассматривает возможность провести разведку на глубине 6 тыс. м вокруг группы о-в Огасавара и наладить добычу редкоземельных металлов в 2023-2028 гг. [328]. Применение в высокотехнологичных производствах, при изготовлении электроники, в оборонных системах и технологиях «зеленой» энергетики делает редкоземельные металлы ресурсами стратегического значения. Оцененный в 7 млрд долл. в 2021 г. мировой рынок редкоземельных металлов в 2030 г. может достичь 15,5 млрд долл. [329].

Потенциально еще одним ресурсом, добыча которого может подтолкнуть к развитию глубоководного бурения, является гидрат метана. В 2017 г. Геологическая служба Китая провела тестовые испытания добычи метана из скопления гидратов в Южно-Китайском море. В мире запасы гидратного метана в придонных скоплениях (на дне и в первых метрах под дном) оцениваются в 3,5 на 10^{13} м³ [330].

Исследование глубоководной зоны Кларитон-Клиппертон в Тихом океане показало, что 90% сформировавшихся там минералов и других элементов неизвестны науке [331].

Ученые указывают на то, что разработка месторождений в океане может нанести непоправимый вред малоизвестным экосистемам [332]. Неравенство технологических возможностей ограничит число участников глубоководной добычи полезных ископаемых. Но несмотря на это, добыча даже ограниченным количеством заинтересованных сторон скажется на мировых рынках критически важных материалов и конфигурациях поставок.

Океанические плантации

Океанические плантации представляют собой фермы, расположенные в открытом океане или вблизи побережья, предназначенные для выращивания различных типов водорослей. Согласно исследованиям ученых, выращивание водорослей может закрыть прогнозируемый разрыв в будущих потребностях человечества в пище: по оценкам, глобальный спрос на белок к 2050 г. составит от 263,8 до 286,5 млн тонн в год и этот объем может быть полностью обеспечен за счет производства продуктов питания на основе морских водорослей [333]. Наряду с высоким содержанием белка, водоросли обеспечивают питательные вещества, которых не хватает в вегетарианских диетах — аминокислоты и минералы, содержащиеся в мясе, и омега-3 жирные кислоты, содержащиеся в рыбе и морепродуктах. Кроме того, культивируемые морские водоросли могут быть использованы как корм для крупного рогатого скота, а также применяться в производстве нутрицевтических, косметических продуктов [334].

Выращивание водорослей позволит повысить экологическую устойчивость по сравнению с традиционным сельским хозяйством, уменьшая негативное воздействие сельского хозяйства на климат, землепользование, пресноводные ресурсы и биоразнообразие [335]. Кроме того, водоросли поглощают значительное количество углекислого газа из атмосферы, что уменьшает закисление океана, смягчает последствия изменения климата за счет поглощения углерода и обеспечивает другие экосистемные услуги.

Водоросли могут быть использованы для производства биотоплива, при помощи химических процессов они могут быть преобразованы в биогаз и этанол, что поспособствует снижению потребления нефти. Риском выращивания водорослей в целях производства биотоплива может оказаться негативное влияние таких плантаций на морские экосистемы, нарушение природных пищевых цепочек на суше или на море [336].

Выращивание водорослей создаст новые экономические возможности и возможности трудоустройства в прибрежных регионах [337]. По данным Всемирного банка, выращивание морских водорослей всего в 0,1% Мирового океана может создать 50

млн прямых рабочих мест и еще 100 млн связанных с ними [338]. Для активного развития сферы океанических плантаций будут необходимы совместные усилия правительств, промышленности, научного сообщества, международных организаций, гражданского общества и других заинтересованных сторон [338].

Распространение доставки дронами и роботами

Рост численности населения, в частности городского, и электронной торговли, стремление бизнеса к сокращению издержек и повышению качества обслуживания клиентов, ограничивающие мобильность чрезвычайные ситуации, технологическое развитие создают предпосылки для широкого распространения доставки дронами и роботами. Так, доставка дронами оказывается более рентабельной, чем традиционная, особенно на заключительном этапе (последняя миля), на который приходится до 50% затрат [339]. Современные картографические навигационно-информационные системы позволят сократить количество ошибок при доставке, расширить охват за счет сельских и отдаленных территорий. Мировой рынок автономной доставки «последней мили» в 2028 г. может достичь 47,8 млрд долл. (15,2 млрд долл. — в 2022 г.) [340].

Сохраняется ряд технических, регуляторных и экономических факторов, сдерживающих распространение доставки дронами и роботами. Так, необходима тщательная разработка правил движения в воздушном пространстве. Дроны перемещаются в очень низком воздушном пространстве (VLL — Very Low-Level Airspace), и в городских районах оно перегружено постоянными и непостоянными искусственными и естественными препятствиями [341]. Экстремальные погодные условия, воздействие тумана, радиации, пыли, мусора, насекомых, животных также влияют на корректность передвижения беспилотников и роботов при доставке. Источниками технических сбоев могут стать ошибки операторов в оценках эксплуатационной нагрузки в наземном и воздушном пространстве [342]. Стоимость внедрения и нехватка специалистов в сфере робототехники и беспилотных летательных аппаратов могут замедлить распространение автономной доставки [343].

Одним из наиболее вероятных последствий возрастающего спроса на автономную доставку является нарушение конфиденциальности: дроны и роботы, занимающиеся доставкой товаров и грузов, используют камеры, сканеры и датчики, которые фиксируют фактическое местонахождение человека и его имущества без его согласия. Существует угроза крупных информационных утечек с последующим несанкционированным использованием персональных данных клиентов (в частности, адресов проживания).

Широкое распространение доставки дронами и роботами изменит логистику в населенных пунктах, сформирует потребность в новой инфраструктуре и хабах, в новых подходах к проектированию зданий. Последуют изменения на рынке труда, связанные с не востребоваанностью работников, осуществляющих доставку.

Полное замещение фиатных денег криптовалютой

По мнению 54% экспертов по криптовалюте, опрошенных в 2021 г., замена монет и банкнот как доминирующей в мире формы обмена криптовалютой (т.н. гипербиткоинизация) [344] может произойти к 2050 г., а 29% считают, что это может случиться уже к 2035 г. [345]. Сегодня Сальвадор — единственная страна в мире, принявшая криптовалюту в качестве законного платежного средства [346].

Нестабильность и непредсказуемость курса криптовалюты вызывает беспокойство правительств и банков и нежелание заменять ей традиционные деньги. Анонимность, предоставляемая пользователям криптовалюты, затрудняет государственный контроль и способствует росту преступности: в 2019 г. 46% транзакций с использованием биткоинов были связаны с незаконной деятельностью, что приравнивается к 76 млрд долл. в год. Высокая комиссия за транзакции (средний показатель в 2021 г. — 23,13 долл.), частые взломы криптовалютных бирж (в 2019 г. были взломаны 12 бирж) [347] являются барьерами для полноценной замены фиатных денег.

В отличие от традиционной, криптовалюта невосприимчива к гиперинфляции. С целью борьбы с инфляцией виртуальной валюты создатель биткоина ограничил его эмиссию 21 млн единиц, этот лимит установлен в исходном коде и обеспечивается узлами в сети. По данным на июнь 2022 г., добыто уже 19,07 млн биткойнов. Из-за халвинга — уменьшения скорости генерирования новых единиц виртуальной валюты, происходящего каждые четыре года [348], ожидается, что все биткоины будут добыты к 2078 г. [349]. Подобный лимит есть и у других криптовалют.

В некоторых развивающихся странах криптовалюта может использоваться для сохранения сбережений и ведения бизнеса в условиях сильной девальвации национальных фиатных денег [350]. Все транзакции с криптовалютой необратимы, поскольку каждая записывается в блокчейн — базу, данные которой нельзя удалить или изменить. С одной стороны, это делает транзакции безопаснее, с другой — может привести к потере крупных сумм, вызванной индивидуальной невнимательностью и человеческим фактором. Из-за децентрализованности как одного из главных принципов цифровых валют замещение

криптовалютой фиатных денег сделает современные инструменты денежно-кредитной политики государств бесполезными [351].

Повсеместное использование сверхзвуковых самолетов в гражданской авиации

Попытки использовать сверхзвуковые самолеты в гражданской авиации предпринимались в XX в. Так, разработанный в 1960-х гг. советский Ту-144 был первой моделью пассажирского самолёта, способного преодолеть звуковой барьер, но прослужил лишь семь месяцев. Британо-французский сверхзвуковой пассажирский самолёт «Конкорд» был в эксплуатации в 1969-2003 гг., но из-за подорожавшего топлива и нерентабельности перевозки были прекращены [352]. Сегодня такие компании, как Aegion Supersonic, Boom Supersonic, Lockheed Martin, занимаются разработками второго поколения сверхзвуковых пассажирских самолётов [353].

В августе 2022 г. крупнейшая в мире авиакомпания American Airlines сделала предварительный заказ 20 сверхзвуковых авиалайнеров с возможностью в будущем приобрести ещё 40. Самолёт «Overture» компании Boom Supersonic позволяет производить пассажирские перевозки со скоростью в два раза выше самых быстрых современных коммерческих самолётов (ок. 2000 км/ч) [354]. Список предварительных заказов сверхзвуковых лайнеров данной компании уже включает 130 шт. [355]. Первый такой самолёт будет произведён в 2025 г., а в 2029 г. могут начаться регулярные пассажирские рейсы [356]. Поскольку работать самолёты будут на устойчивом авиационном топливе (SAF), то их использование позволило бы сократить выбросы парниковых газов на 80% [357].

Сегодня будущее гражданской сверхзвуковой авиации стоит под вопросом из-за статуса нишевой отрасли, на которой сложно заработать: конструирование и испытания таких самолётов требуют от компаний больших вложений [358], а ведущие разработчики авиационных систем Rolls-Royce, CFM International отказались от создания подходящего двигателя [359] из-за планов сконцентрироваться на собственных проектах, среди которых разработка экологичного двигателя [360]. Кроме того, громкие звуковые удары от ультразвуковых самолётов, возникающие из-за перепада давления, вызывают дискомфорт людей на земле и могут стать причиной повреждения зданий (трещин, лопающихся стекол) [361]. Полёты «Конкордов» над сушей были запрещены Федеральным управлением гражданской авиации США до того, как те вошли в эксплуатацию [362], а согласно принятой в 2001 г. резолюции Международной организации гражданской авиации,

сверхзвуковые самолёты не должны создавать «неприемлемые для людей ситуации» [363]. Этот аспект ставит под вопрос выполнение полетов сверхзвуковыми самолётами на большинстве популярных пассажирских маршрутов.

Коммерциализация 4D-печати

4D-печать позволяет создавать динамичные объекты, изменяющиеся не только в пространстве, но и во времени. Например, детали, меняющие свою форму под воздействием света, тепла, жидкости или уровня кислотности: австралийские учёные напечатали вентиль, автоматически закрывающийся при контакте с горячей водой [364]. Потенциальные способы применения данной технологии включают печать объектов в экстремальных условиях (например, в космосе), создание специальных программируемых стентов для лечения болезней, изготовление одежды, адаптирующейся к погодным условиям и пр. [365]. Для 4D-печати требуются специальные материалы: гидрогели, хромофоры, термореактивные полимеры и металлы, полиэлектролиты и др. [366].

Ожидается, что мировой рынок 4D-печати вырастет до 558 млн долл. в 2026 г. с 60 млн долл. в 2020 г. [367]. Высокий уровень инвестиций в исследования и развитие технологии определяет доминирующее положение стран Северной Америки на этом рынке. Использование 4D-печати с рядом активно используемых в производстве аддитивных технологий качественно изменит процесс разработки товаров. Кроме того, более простая транспортировка и меньший объём необходимого места из-за способности напечатанных предметов «сжиматься» снизят транспортные и организационные расходы. Широкое внедрение 4D-принтеров в ближайшие 10-15 лет может способствовать переносу производства в страны с высокой заработной платой (например, в США и Германию) [367].

Несмотря на огромный потенциал для многих отраслей, технология нуждается в дополнительных исследованиях и разработках. В ближайшее время широкая коммерциализация 4D-принтеров затруднительна из-за высокой стоимости установки и производства, труднодоступности используемых в печати материалов. Кроме того, в рамках стремления к устойчивому развитию в разных индустриях необходим поиск экологически чистых материалов, которые будут использованы для печати [368].

Коммерческое использование энергетических термоядерных реакторов

За последние 50 лет экспериментов с термоядерным синтезом производительность термоядерных установок выросла в 100 тыс. раз, однако для функционирования электростанции она должна быть увеличена еще в пять раз [369]. Постоянно растущие население и потребность в энергии в условиях урбанизации и усиления нагрузки на

природные ресурсы формируют спрос на новые, чистые и устойчивые источники энергии. Термоядерные установки могут использоваться не только в электростанциях; они являются нейтронными источниками, которые могут найти применение в гибридной энергетике [370].

Запуск первого в мире международного термоядерного экспериментального реактора — ИТЭР (ITER, International Thermonuclear Experimental Reactor), в котором принимают участие 35 стран, должен состояться в 2025 г. [371], однако из-за ряда технических проблем (трещины в трубах систем охлаждения, др.) [372] сроки могут быть пересмотрены. Запуск ИТЭР станет важным шагом на пути к неисчерпаемому и экологичному источнику энергии. Менее крупные экспериментальные реакторы уже действуют, к примеру, EAST (Experiment Advanced Superconducting Tokamak) в Китае [373], NIF (National Ignition Facility) в США [374], лазерная установка для экспериментов по управляемому термоядерному синтезу УФЛ-2М в России. Центр термоядерной энергии в Калхэме (Culham Centre for Fusion Energy) работает в Великобритании.

Эксперты отмечают, что экономическая рентабельность таких реакторов достижима только в отдаленном будущем. Высокие затраты на строительство необходимых объектов и инфраструктуры, покрытие которых возможно при международном сотрудничестве государств и частных игроков, являются барьером развития, как и отсутствие некоторых готовых решений, например, технологических систем отведения тепла и энергии от термоядерной установки. По одним оценкам, использование термоядерного синтеза на промышленных электростанциях возможно не раньше 2050 г. [375], по другим — интерес инвесторов и технологические достижения могут значительно ускорить коммерциализацию термоядерной энергии [376]. В США 2017-2022 гг. было заключено 43 сделки со стартапами на сумму 4,5 млрд долл. (для сравнения — 38,6 млрд долл. было выделено на чистую энергетику) [377]. Прогнозируется, что мировой рынок термоядерной энергии вырастет с 429,6 млрд долл. до 840,3 млрд долл. в 2030-2040 гг. [378].

В случае достижения термоядерной энергетикой стадии технической зрелости, она значительно изменит энергетический баланс, позволит решить проблему прерывистости солнечной и ветровой генерации. Так, в случае доступности термоядерной энергии по конкурентоспособной цене, к 2050 г. она могла бы обеспечить 20% генерирующих мощностей в Европе [379]. Регулирование, стандартизация и госзаказ могли бы стать драйверами для этой сферы, обеспечив доверие к ней частного сектора и задав ориентиры развития.

Продовольственные шоки

Продовольственные шоки, внезапные сбои в цепочке поставок продовольствия, ведущие к нехватке продуктов питания и/или резкому скачку цен, могут быть спровоцированы экстремальными погодными явлениями, распространением вредителей и болезней, логистическими сбоями, политически мотивированными решениями и проч. Большое количество возможных причин и сложность точного прогнозирования их реализации позволяют отнести продовольственные шоки к категории «постоянных» угроз.

Чаше всего термины кризис и шок используются как взаимозаменяемые, но второй — чаще, когда необходимо подчеркнуть неожиданность события. Меньшие масштаб, сила воздействия на разные системы и, возможно, меньшая предсказуемость продовольственных шоков позволяют отделить их от продовольственных кризисов, как более затяжных, длительных и значимых по своим последствиям событий. Шок может стать предвестником, триггером кризиса. Вместе с тем, это явления одного порядка, одинаково неблагоприятные для продовольственной безопасности.

Повторяющиеся продовольственные шоки/кризисы становятся барьерами экономического развития, усугубляют проблемы неравенства и бедности, способствуют усилению нагрузки на экологию. В развивающихся странах их последствия ощутимее, чем в развитых, также как и внутри стран наиболее уязвимые слои населения оказываются подвержены их влиянию в первую очередь. В 2021 г. проблема продовольственной безопасности обострилась даже в странах с высоким уровнем доходов населения; 30% населения мира испытывали умеренную или острую нехватку продовольствия, к 2030 г. примерно 670 млн человек (8% населения) будут голодать [380]. Новые продовольственные шоки, спровоцированные, вероятнее всего, последствиями климатических изменений или геополитическими событиями, могут усилить негативные тенденции.

Критическое сокращение рабочей силы в сельскохозяйственном секторе (из-за миграции из сельской местности в города)

Сокращение числа занятых в сельском хозяйстве является общемировым трендом — если в 1995 г. занятость в секторе составляла 41% от общей, то в 2016 г. снизилась до 27%. Сегодня в странах с высоким уровнем доходов показатель редко превышает 5% [381]. Так, в ЕС в 2020 г. в сельском хозяйстве были заняты 8,7 млн человек [382] (всего населения — 447,7 млн человек [383]). В то время как в развивающихся странах этот показатель значительно выше — например, в Азербайджане в секторе заняты почти 36% от общей численности занятых [384], в Китае — 25%, в Индии — 45% [385].

Сокращение рабочей силы в сельском хозяйстве вызвано оттоком населения из сельской местности, обусловленным рядом причин, в частности неблагоприятными для ведения хозяйства последствиями климатических изменений, отсутствием возможности получения образования, достойных условий и оплаты труда, неразвитой инфраструктурой, др. В сокращении численности рабочей силы в агросекторе играет роль фактор «непостоянства» рабочей силы — значительную ее часть могут составлять мигранты, не привязанные к месту работы. Так, в Малайзии мигрантами являются более 30% занятых в сельскохозяйственном секторе [386].

Степень критичности индивидуальна для каждого отдельного региона или страны, однако так или иначе такое сокращение создает угрозу для поддержания продовольственной безопасности на глобальном уровне. При этом зависимые от сельскохозяйственного импорта страны окажутся в более уязвимом положении. Альтернативами могут оказаться городское фермерство и лабораторное производство продуктов питания, однако ни то, ни другое не является широко распространенной практикой, способной обеспечить продовольственную безопасность для целых стран. Например, сегодня городское сельское хозяйство обеспечивает только 15-20% мировых запасов продовольствия [387]. Переломить негативный ход развития могут такие факторы, как целенаправленная политика по развитию сельских территорий и борьбе с изменениями климата, приток населения из городов в случае события с масштабными и неблагоприятными последствиями (например, пандемии).

Нарушение логистики морских поставок (в результате атаки БПЛА, перекрытия каналов, пр.)

В современных экономических отношениях морская логистика играет ключевую роль — более 80% мировой торговли осуществляется по морю [388]. Морские перевозки подвержены влиянию различного рода сбоев, накапливающихся по цепочке, а также глобальных факторов, таких как изменение климата и экстремальные погодные явления, перемены на энергетических рынках, ослабление крупных экономик, переориентация потребительского спроса с товаров на услуги в условиях роста стоимости жизни, производственные конфликты, технологическое развитие, электронная торговля и др. Наиболее непредсказуемыми являются события, связанные с «физическими» нарушениями логистики морских поставок из-за перекрытия каналов, повреждения инфраструктуры, прекращение перевозок по тем или иным причинам, включая пандемийные ограничения, блокировку каналов и пиратские нападения.

Так, в 2011 г. землетрясение и цунами привели к остановке заводов, производящих электронные компоненты для автомобилей, в Японии, что затронуло прямых и косвенных поставщиков. Наиболее неожиданными и крупномасштабными были сбои и разрывы цепочек поставок, связанные с пандемией COVID-19. В 2021 г. один из крупнейших контейнеровозов Ever Given на шесть дней заблокировал судоходство по Суэцкому каналу; ущерб мировой торговле от простоя оценивался в 6-10 млрд долл. ежедневно [389]. В 2022 г. на том же участке сел на мель танкер; канал оказался перекрыт на несколько часов, что не стало критичным для судоходства, как в первом случае. В октябре 2022 г. корабли Черноморского флота, участвовавшие в обеспечении безопасности «зернового коридора» в рамках международной инициативы по вывозу зерна, подверглись атаке БПЛА, в результате под угрозой оказались поставки зерна и продовольственная безопасность.

По мере роста геополитической напряженности все более вероятными становятся сбои, связанные с целенаправленным перекрытием морских путей. Например, возведение имеющим территориальные споры с южно-азиатскими соседями Китаем искусственных островов в Южно-Китайском море рассматривается некоторыми странами, как попытка ограничить свободу судоходства, способствует росту уровня враждебности межгосударственных отношений. Региональный конфликт заставит суда искать альтернативные маршруты, временные и финансовые издержки могут вырасти, что скажется на всех участниках логистической цепи, конечных производителях. Такие события могут запустить кардинальные изменения в мировой логистической системе.

Высокий уровень динамичности системы и влияние множества факторов определяют постоянство рисков возникновения слабо предсказуемых событий. Взаимосвязь торговых путей обуславливает распространение эффекта домино по всей сети морских перевозок. Важным является степень восприятия предприятиями вероятности того или иного риска. Организации, занятые в секторе морской логистики, не воспринимают потенциальные риски с достаточной степенью серьезности, чтобы подготовиться к ним, до тех пор, пока эти риски не реализуются. Так, до событий февраля 2022 г. только 24% организаций оценивали геополитические риски как важные, после — уже 56% [390]. Устойчивость и целостность цепочек поставок определяет функционирование морского транспорта и экономическое развитие, при этом наиболее уязвимыми оказываются страны, зависящие от морских транспортных путей.

Биржевая торговля водой

Среди исчерпаемых ресурсов вода является одним из самых ценных; 2,3 млрд человек живут в странах, испытывающих дефицит воды, из них 733 млн — в странах с высоким или критическим дефицитом [391]. Особенно остро проблема проявляется в сельскохозяйственных районах [392]. По мере роста населения и сохранения ресурсоемких производств нагрузка на водные ресурсы будет усиливаться; изменение климата усугубляет ситуацию.

В 2020 г. на Чикагской бирже впервые в мире начались торги фьючерсными контрактами на поставки воды (Nasdaq Veles California Water Index Futures) [393]. Появление таких фьючерсных контрактов — индикатор проблемы дефицита в глобальном масштабе. Использование фьючерсных контрактов не решит проблему нехватки воды, но позволит лучше согласовывать спрос и предложение и снизить для покупателей риск резкого роста цен в будущем. Это особенно важно, например, для сельскохозяйственного сектора в районах с сильными сезонными температурными перепадами, влияющими на режим осадков. Вместе с тем, новый рынок также будет подвержен спекуляциям, в том числе со стороны хедж-фондов, — отсутствие ценовой прозрачности и чрезмерные спекуляции могут стать причиной роста цен на воду. Прежде всего, это негативно скажется на небольших фермерских хозяйствах [394].

Обращение с водой как с ходовым товаром в условиях ее нехватки усилит неравенство как внутри стран, так и между ними, — волатильность цен на воду, в первую очередь, скажется на населении, которое и без того находится в уязвимом положении [395]. Эксперты отмечают, что вслед за торговлей фьючерсами произойдут коммерциализация и приватизация воды, а значит, переосмысление права человека на доступ к ресурсам [396]. Вместе с тем, торговля фьючерсами на воду может стать стимулом для инвестиций в технологии добычи, очистки и опреснения.

Сокращение площадей выращивания традиционных культур из-за роста производства технических культур для химической промышленности

Ряд факторов, включая усиление нагрузки на природные ресурсы в условиях ожесточающейся конкуренции за них, рост численности населения и обострение проблемы продовольственной безопасности, негативные для сельскохозяйственного производства последствия климатических изменений, могут стать драйверами слияния химической промышленности с перерабатывающей и пищевой. Глобальная санкционная война сделает долгосрочное самообеспечение продуктами питания приоритетом государственной политики.

Агропромышленные холдинги превратятся в агрошхимбиохолдинги, включающие всю цепочку машиностроительных, селекционно-генетических, биотехнологических, биореакторных, химических предприятий, производящих широкую номенклатуру изделий глубокой переработки — бытовую химию, топливо, синтетический текстиль и еду, материалы для 3D-печати продуктов и др. из стандартизированных (пока еще не существующих) биомассных сельхозкультур, не похожих на традиционные. Получаемое из биомассы сырье будет пригодно для производства широкого спектра продуктов. Техника, программное обеспечение, био- и химические технологии каждой такой компании будут кастомизированы под ее уникальную биомассную ГМО-культуру и окажутся незаменимыми между компаниями.

Это кардинальным образом изменит сельскохозяйственное производство, прежде всего, площади выращивания пригодных для деятельности агрошхимбиохолдингов культур (рапс, хлопчатник, сахароносы, крахмалоносы, генномодифицированные культуры) будут увеличиваться за счет площадей выращивания традиционных культур. Соответственно произойдут перемены на рынке труда, спросом будут пользоваться способные работать с такими культурами и новыми технологиями специалисты. При коммодификации технологий переработки биомассы, синтеза из нее продуктов питания и бытовой химии, 3д-печати текстиля и технических деталей, владельцы даже небольших земельных участков смогут обеспечивать себя практически необходимым базовыми продуктами и товарами, что, в свою очередь, изменит спрос и предложение на рынках, сферу ритейла. Вместе с тем, появятся новые культуры, требующие минимального ухода и дающие максимальных выход стандартизированной биомассы.

Распространение подводного туризма

Подводный туризм может занять существенную долю туристического рынка в будущем, открывая путешественникам возможность увидеть и исследовать морской мир. В настоящее время подобные путешествия могут позволить себе лишь клиенты с высоким уровнем дохода, но, по мере развития технологий и роста востребованности таких туров, они станут доступны большому числу людей.

В этой сфере уже сейчас доступны несколько направлений:

- подводные отели, курорты и рестораны (например, подводный ресторан Under в Норвегии) [397];
- подводные музеи — художественные галереи (например Ngaro Underwater Sculpture Trail на австралийских островах), исторические и археологические музеи;

- подводное погружение в специальных капсулах (альтернатива дайвингу);
- подводные туры в различных регионах мира;
- частные подводные лодки.

Разнообразие направлений позволяет привлечь в эту сферу новую категорию клиентов помимо дайверов; дает возможность людям, не имеющим сертификат дайвера и опыта погружений, опускаться на глубину для наблюдения за жизнью морских обитателей, не требует специального обучения или определенной физической подготовки. Помимо подводных туров появился и будет развиваться рынок частных подводных лодок. Сейчас их цена начинается от 25 млн долл. Такие туры могут быть организованы как на больших подводных лодках для групп туристов, так и на небольших лодках для индивидуальных клиентов [398].

Пока такие туры организуют в основном вдоль прибрежной зоны, но, в дальнейшем, получат развитие длительные океанские круизы, представляющие возможность наблюдения за миграцией синих китов, плавания вдоль Гольфстрима, спуска к месту гибели Титаника или в Марианскую впадину [399]. Некоторые подводные лодки могут работать при очень низких температурах заборной воды, облегчая путешествия в сложных условиях. Также ведутся работы над созданием высокоскоростной сверхзвуковой подводной лодки в качестве средства пассажирского транспорта. Например, китайские ученые разрабатывают технологию создания подводной лодки, которая сможет преодолеть расстояние от Шанхая до Сан-Франциско менее чем за 2 часа.

Инновационное развитие в сфере подводного туризма с одной стороны дает возможность обеспечить устойчивое развитие новых достопримечательностей и туристических локаций, а с другой стороны — способно существенно повлиять на повышение осведомленности людей о состоянии мирового океана, необходимости его защиты от загрязнений, сохранения коралловых рифов, ограничение чрезмерного вылова рыбы. Кооперация компаний, организующих подводные туры, с учеными, защитниками природы и морскими биологами будет иметь не только развлекательную, но и образовательную и эколого-просветительскую функции.

Вместе с тем, распространение подводных круизов создаст определенные риски — например, опасность разрушения экосистем из-за большого количества туристов и отсутствия целенаправленного управления и контроля над сохранением природных, художественных или исторических объектов (например, Музеи и парки подводных скульптур в Мексике, Испании, возле Мальдивских островов, Подводный музей

античности Байя в Италии и др.). Это, в свою очередь, потребует расширения прав и возможностей местных органов власти для надзора за развитием инфраструктуры, мониторинга систем и создания строгого местного законодательства.

Появление подземных магистралей под мегаполисами

Актуальными проблемами современных мегаполисов являются нехватка свободных территорий, высокая нагрузка на инфраструктуру, прежде всего транспортную, и экологию. Одним из способов решения могут стать подземные магистрали, которые не только снизили бы нагрузку с городской инфраструктуры, но и позволили бы обеспечить более комфортные условия жизни и работы, увеличить полезную площадь урбанизированных территорий города без привлечения свободных участков земли, снизить нагрузку на окружающую среду, сохранить исторические постройки [400].

Сбои в цепочках поставок, в том числе из-за непредвиденных событий, и их переформатирование также создают спрос на новые надежные и обеспечивающие быструю перевозку магистрали. Одним из наиболее перспективных направлений является строительство инфраструктуры для грузовых перевозок. Предполагается, что грузовой транспорт будет перемещаться в подземных тоннелях на сверхвысоких скоростях с помощью энергии, полученной экологически чистыми способами. Снижение нагрузки с наземных транспортных магистралей сократит время в пути для пассажиров общественного и частного транспорта [400]. Перевозка грузов позволяет исключить риск для пассажиров на первых этапах использования технологии, требует соблюдения меньшего количества нормативных требований.

Проекты высокоскоростных транспортных систем разрабатываются компаниями по всему миру. Рост спроса на быстрые пассажирские и грузовые перевозки, а также быструю доставку, способствует развитию соответствующих технологий (транспортные, электромагнитные, технологии прокладки подземных тоннелей, электроника, энергосбережение, др.). Мировой рынок технологий высокоскоростных транспортных систем может достичь 4,17 млрд долл. в 2026 г. (0,74 млрд долл. — в 2021 г.) [401]. Среди наиболее успешных примеров реализации проектов высокоскоростного транспорта — скоростные капсулы для перевозки грузов и пассажиров Virgin Hyperloop, система доставки Magway [402].

Барьерами широкого распространения таких магистралей могут стать технологические ограничения, высокая стоимость строительства, так и цена транспортных услуг для конечных пользователей.

Вытеснение реальной экономики виртуальной

Стремительное развитие технологий (Интернет, облачные технологии, большие данные, робототехника, машинное обучение, искусственный интеллект) привело мир к цифровой экономической революции [403]. Цифровизация создает вторую экономику — виртуальную, автоматическую и невидимую [403], которая будет обеспечивать создание внешних интеллектуальных систем в бизнесе на основе алгоритмов. Полный переход к виртуальной экономике станет катализатором создания совершенно новых бизнес-моделей и отраслей [403].

Среди предпосылок вытеснения реальной экономики виртуальной — цифровые платформы, предлагающие огромное количество сервисов, предоставление которых не предполагает взаимодействие людей, электронная торговля (e-Commerce), беспилотный трафик [404], использование алгоритмов ИИ в разных сферах от биржевой торговли до одобрения кредитов [405]. Дальнейшее развитие будет связано с распространением технологий метавселенных, ростом числа их пользователей.

Метавселенная является конвергенцией физических и цифровых сфер на новом этапе развития Интернета и социальных сетей с использованием 3D в реальном времени [406]. Ожидается, что к 2026 г. 25% людей будут проводить час в метавселенной, а 30% компаний будут предлагать услуги и продукты для метавселенной [406]. Глобальный доход от метавселенных может приблизиться к 800 млрд долл. в 2024 г. по сравнению с примерно 500 млрд долл. в 2020 г. Первичный рынок для производителей онлайн-игр и игрового оборудования может превысить 400 млрд долл. в 2024 г. [407]. Сегодня рыночная капитализация компаний, занимающихся разработкой метавселенных, составляет 14,8 трлн долл. [408].

Рост виртуальной экономики создает предпосылки для исчезновения целого ряда профессий из-за замены специалистов машинами и ИИ. В случае полного вытеснения реальной экономики виртуальной большое число людей, не имеющих доступа к цифровым коммуникациям, соответствующих девайсов или навыков работы в цифровой среде, окажутся исключенными из нее. Технологическая безработица будет иметь несколько форм: одни люди станут безработными, другие будут вынуждены перейти на низкооплачиваемую работу, на неполный рабочий день [409]. Ключевыми проблемами новой экономики станут не производство, а доступ к ресурсам и их распределение [409]. Кроме усиления внутристранового неравенства, вырастет разрыв между странами. В авангарде окажутся страны с высоким уровнем технологического развития, в то время как

остальные, вероятнее, — источниками необходимых ресурсов, полигонами «обкатки» новых разработок.

Распространение морских/плавучих ферм

Для многих стран (Китай, Япония, Великобритания, Норвегия, др.) океанический и морской промысел является важной частью национальной экономики, обеспечивает продовольственную безопасность и экспортные доходы. Однако ряд факторов негативно сказывается на этом виде деятельности — растущий вслед за численностью населения спрос на морепродукты, сокращение популяция вылавливаемых в промышленном масштабе видов океанических рыб, повышение температуры и закисление воды определяют миграцию некоторых видов дальше от рыболовных угодий, которые зачастую становятся предметом спора между странами [410]. С 1961 г. темпы роста мирового потребления рыбы (3,1%) в два раза опережали темпы роста населения [411]. 40% Мирового океана считаются «сильно пострадавшими» от деятельности человека [412]; 90% мировых рыбных ресурсов эксплуатируются в полном объеме или сверхэксплуатируются [413].

Потенциальным решением для повышения производительности рыбного хозяйства, адаптации к меняющейся окружающей среде и перехода к более устойчивой продовольственной системе в отдельных странах и в мире в целом могут стать морские ферм. Несколько компаний (Ocean Era [414], Innova Sea [415], Arctic Offshore Farming [416], др.) работают над проектами морских ферм для выращивания рыбы в естественных условиях (в открытом море). По некоторым оценкам, к 2028 г. 67% потребляемых морепродуктов будут выращены на фермах разных типов [417]. «Интеллектуальные» решения, обеспечивающие автоматизацию процессов на морских фермах, позволят сократить потребление топлива и электроэнергии, — снизить экологический след, использование робототехники сделает фермы более автономными.

Для распространения таких систем требуется более высокий уровень развития интеллектуальных систем и человеко-машинного взаимодействия, совершенствование систем передачи и анализа данных с мест расположения ферм [418]. Барьерами могут стать возможные негативные последствия — загрязнение воды органическими и химическими веществами, разрушение морского дна, ухудшение качества морской воды, косвенное воздействие на других морских обитателей, др. По этим причинам в 2023 г. экологические организации и местные власти выступили против планов расширения морской плавучей фермы у острова Мадейра (Португалия) [419].

Расширение доли синтетической биологии в производстве продуктов питания

В 2022 г. мировые цены на продовольствие достигли рекордно высокого уровня; число столкнувшихся с нехваткой продовольствия людей увеличилось почти в два раза с 2019 г. — до 345 млн в 79 странах [420]. Обострение проблем продовольственной безопасности из-за увеличения численности населения, экономических шоков, сбоев в цепочках поставок и их трансформации, из-за неурожаев и истощения сельскохозяйственных угодий и других факторов создает спрос на альтернативные способы производства продовольствия. Одной из них может стать синтетическая биология, объединяющая биологические исследования и инженерию и позволяющая создать искусственные последовательности ДНК и биологические системы [421].

К 2025 г. мировой рынок синтетической биологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности может вырасти до 14 млрд долл. (3,2 млрд долл. в 2020 г.) [422]. Ряд крупных компаний (AgBiome, BASF, Bayer, Cargill), а также стартапов (Impossible Foods) работают в сфере производства новых материалов и продуктов питания с использованием синтетической биологии [423]. Она может использоваться не только для производства продуктов питания с заданными свойствами, но и для повышения урожайности культур, выведения новых сортов и видов.

По оценкам некоторых исследователей, к 2030 г. синтетическая биология изменит процесс производства продуктов питания [424]. Барьерами распространения технологии могут стать неприятие потребителей искусственно созданных продуктов питания, опасения непредсказуемости последствий применения технологии. 48% опрошенных Pew Research в 2019-2020 гг. считают генетически модифицированные продукты небезопасными, только 13% придерживаются противоположной точки зрения. Показатели по странам варьируются, — негативно к искусственно созданным продуктам относятся, например, 70% респондентов в России, 67% — в Польше, 62% — в Италии [425].

Вряд ли синтетические продукты полностью вытеснят произведенные традиционными способами, но необходимость обеспечения продовольственной безопасности может стать драйвером роста ниши таких продуктов на рынке — представители занятых в сфере компаний указывают на то, что продукты растительного, животного и искусственного происхождения будут одинаково востребованы [426]. Несмотря на потенциальную долю рынка, распространение синтетической биологии при производстве продуктов окажет значительное влияние на традиционные

продовольственные системы, их экологический след, на логистическую систему, занятость в секторе сельского хозяйства, уровень неравенства.

4.4 Экологические события-джокеры

Коллапс Атлантической меридиональной циркуляции

В результате таяния ледников Гренландии и Антарктики все больше пресной воды попадает в океан. Это меняет плотность вод океана, которые меньше насыщаются кислородом, от чего страдает морская экосистема. Плотная соленая вода является основной движущей силой Атлантической меридиональной циркуляции (АМОЦ), комплекса течений, в число которых входит Гольфстрим. Тенденция замедления относительно стабильной на протяжении существования человеческой цивилизации циркуляции наметилась в последние несколько десятилетий [427]. Некоторые эксперты указывают на то, что АМОЦ находится в ослабленном состоянии минимум столетие и близка к остановке [428].

Переход меридиональной циркуляции в слабый режим, а тем более ее коллапс, будет иметь ощутимые последствия для всей планеты. К югу от экватора начнет скапливаться огромный объем тепла; разрушение системы океанских течений приведет к переходу климата в состояние, близкое к явлению Ла-Нинья, что в долгосрочной перспективе в условиях глобального потепления будет оказывать все большее влияние на погодные режимы. Сокращение осадков в Индии, Южной Америке, Западной Африке негативно скажется на сельском хозяйстве. Учащаются бури и понизится средняя температура в Европе. Уровень океана повысится на восточном побережье Северной Америки [429].

Если коллапс АМОЦ — перспектива отдаленного будущего и вряд ли возможен в ближайшем столетии, то эффекты от замедления проявятся в краткосрочной перспективе. Согласно проекциям Межправительственной группы экспертов по изменению климата, любое существенное ослабление циркуляции снизит продуктивность морской среды в Северной Атлантике, увеличит число штормов в Северной Европе, уменьшит количество летних осадков в Сахеле и Южной Азии, также как и число тропических циклонов в Атлантике, повысит региональный уровень моря вдоль северо-восточного побережья Северной Америки [430].

Супермасштабные аварии на особо опасных объектах (атомные электростанции и др.)

Вероятность возникновения техногенных аварий на опасных объектах возрастает, что вызвано увеличением нагрузки на объекты промышленной инфраструктуры из-за роста

спроса на ресурсы, а также последствиями изменения климата. Причины промышленных аварий могут быть связаны с деятельностью человека (операционные ошибки, отсутствие своевременного технического обслуживания или мониторинга, халатность при исполнении служебных обязанностей и др.) или с природными бедствиями (землетрясениями, наводнениями, штормами) [431].

Промышленные аварии, вызванные стихийными бедствиями — NaTech (Natural Hazards Triggering Technological Disasters) — наиболее распространенная причина катастроф на объектах повышенной опасности [432]. Природные явления могут привести к повреждениям, изменению давления или экстремальным температурам, вызывающим сбои на технологических объектах и провоцирующих выброс опасных веществ, пожары, взрывы и др. Погодные явления (например, сильный ветер) могут повлиять на распространение загрязнений, вызванных промышленными авариями, далеко за пределами локализации объекта инфраструктуры и нанести существенный урон окружающей среде [433].

Изменение климата влияет на увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений, в том числе, вызывая их в тех регионах, где они никогда не наблюдались ранее, что, в свою очередь, повышает риск NaTech-аварий. Хотя такие аварии рассматриваются как вторичные последствия стихийных бедствий, ущерб от них может быть значительнее, чем непосредственно от самих стихийных бедствий, их последствия имеют каскадный характер и могут усугубить урон от «первоначальной» опасности. Значимой особенностью таких аварий является высокая вероятность их трансграничного эффекта, при котором последствиями аварии окажутся затронуты соседние регионы или страны, что может повлиять на осложнение международной обстановки из-за экологического, материального ущерба. Потенциальные негативные последствия таких аварий многочисленны: гибель людей, ущерб окружающей среде, уничтожение или повреждение инфраструктуры, жилья, прерывание или полная остановка бизнеса, ограничение производства, потеря рынков, общественные беспорядки и т.д. [434].

Полностью избежать таких аварий в будущем невозможно, но важным направлением снижения угрозы их возникновения будет совершенствование деятельности по оценке и управлению рисками подобных событий, усиление межведомственного и межгосударственного сотрудничества в предотвращении аварий, повышении безопасности эксплуатации промышленных объектов, улучшении планирования и координации действий для смягчения последствий масштабных аварий, законодательная и финансовая поддержка мер, направленных на предотвращение, смягчение и ликвидацию последствий [435].

Коллапс водных экосистем

Закисление океана из-за потепления климата, чрезмерная эксплуатация морских ресурсов, сброс сточных вод, загрязнение водоемов и грунтовых вод пластиком, сельскохозяйственными удобрениями, нефтью и нефтепродуктами оказывают крайне негативное воздействие на Мировой океан. С 400 в 2008 г. до 700 в 2019 г. выросло число «мертвых зон», пространств океана, где концентрация кислорода опустилась ниже 2 мг/л, что ведет к гибели флоры и фауны [436]. Во время пандемии COVID-19 ситуация только усугубилась — из-за большего числа покупок выросли объемы пластикового мусора.

Согласно результатам одного исследования, к 2045 г. будут потеряны 80-90% существующей сегодня морской жизни [437]. Нынешние виды, вероятно, будут заменены приспособленными к новым условиям, однако не смогут обеспечить основу пищевой системы. Результатом коллапса водных экосистем станет исчезновение источников ресурсов для пищевой промышленности и рабочих мест в рыбопромысловом секторе, разрушение глобальной продовольственной сети, дефицит продуктов питания и питьевой воды. Для полного восстановления экосистемам может потребоваться 4 млн лет [438].

Длительные засухи в Бразилии, Индии, Китае

По данным ООН, с начала XXI в. частота и длительность засух по всему миру растёт высокими темпами [439]. Глобальное потепление приводит к увеличению испарения, уменьшению поверхностных вод, высыханию почвы и гибели растительности [440]. Исследование, проведённое Университетом Восточной Англии, показало, что увеличение глобальной температуры на 1,5°C будет означать, что вероятность сильной засухи длительностью более 1 года в Бразилии и Китае вырастает в три раза [441]. При потеплении в 3°C более 50% сельскохозяйственной площади Бразилии, Китая и Индии будет подвергнуто серьёзным засухам в течение 30-летнего периода.

Китай, Бразилия и Индия — одни из крупнейших игроков на мировом рынке сельскохозяйственной продукции. Так, Китай является крупным производителем риса, пшеницы, сорго, соевых бобов и др.; Индия — крупнейший производитель молока и бобовых и второй производитель риса, пшеницы, овощей, фруктов и хлопка [442]; Бразилия — основной производитель кофе, сахарного тростника и цитрусовых и второй производитель сои, говядины и мяса птицы в мире [443].

Бразилия сильно зависит от водных ресурсов: около 78% использованной воды применяется в сельском хозяйстве [444]. В период с марта-мая 2022 г. страна испытала худшую засуху за десятилетия, в результате которой, например, счета за электроэнергию

выросли на 130% [445]. Почти 2/3 территории Индии испытали засуху в период 2020-2022 гг., которая негативно сказалась на благополучии проживающих в этих регионах 50 млн человек [446]. Засуха 2022 г. в Китае поставила под угрозу продовольственную и энергетическую безопасность страны, а также урожай кукурузы и риса. Негативное влияние засух на сельскохозяйственные секторы этих стран окажется значительным для мировых продовольственных рынков и продовольственной безопасности.

Длительные засухи напрямую связаны с усугублением водного кризиса, который классифицируется Всемирным экономическим форумом как один из глобальных рисков [447] с серьёзными последствиями для человечества: крупномасштабной вынужденной миграцией, утратой биоразнообразия, коллапсом экосистемы и др. [448]. По данным ООН, к 2050 г. последствия засухи затронут 75% населения мира [449].

Энергетическая независимость зданий / Распространение «активных» домов

Важным направлением деятельности по достижению чистых нулевых выбросов к 2050 г. является сокращение углеродного следа от уже построенных и новых зданий. Только 3% инвестиций в новое строительство являются экологически чистыми и эффективными [450]. Текущие оценки показывают, что до 50% выбросов от зданий поступают в атмосферу при производстве и транспортировке строительных материалов и в процессе строительства [451]. К 2060 г. глобальная площадь зданий удвоится, экологический след от их строительства и эксплуатации может быть минимизирован за счет возведения энергоэффективных конструкций.

Здания могут достичь углеродной нейтральности при замене используемого для отопления ископаемого топлива на возобновляемые источники энергии, сокращения применения хладагентов и низкоуглеродистых, повторно используемых или переработанных материалов при строительстве [452]. Одним из вариантов таких зданий является «активный» дом — это здание с положительным энергобалансом, самостоятельно производящее энергию для собственных нужд более чем в достаточном количестве. Он совмещает черты пассивного дома, который не зависит от внешних источников энергии, и «умного» дома, оборудованного высокотехнологичными устройствами. Кроме того, такой дом может направлять излишки энергии в центральную сеть.

Строительство «активных» домов минимизирует воздействие на окружающую среду, существенно сокращая углеродный след и вредные выбросы в атмосферу, что благоприятно повлияет на достижение климатических целей, простимулирует развитие

экологичного производства, а также позволит существенно снизить затраты на содержание зданий на протяжении жизненного цикла. Разработки решений активного дома продолжаются в области проектирования городов, обеспечивающих себя энергией в отсутствие отдельных энергостанций (город Масдар в ОАЭ [453]). Переход к строительству энергоэффективных зданий повлияет на рост спроса на строительные материалы и цифровые системы, обеспечивающие отслеживание и регулирование уровня энергопотребления, а также привет к развитию экосистемы услуг, управляющей проектами модернизации уже существующих зданий [454]. Кроме того, для координации сетей распределения электроэнергии будут высоко востребованы сложные алгоритмы ИИ, что также станет драйвером развития технологий в данной области [455].

Трансграничные водные конфликты

Вода является одним из наиболее ценных исчерпаемых ресурсов в мире. Запасы доступной и пригодной для питья воды сокращаются, что создает предпосылки для обострения межгосударственных разногласий между странами, зависимыми от трансграничных вод. Вероятность повторения конфликтов, связанных с ресурсами в два раза выше, чем в других случаях [456].

С 1948 г. 77% всех зарегистрированных взаимодействий по вопросам водных ресурсов характеризовались как сотрудничество. Помимо того, что в некоторых случаях сотрудничество не имело положительных последствий для решения вопроса, закрепляло дисбаланс сил и неравенство доступа к ресурсам, в начале 2000-х гг. наметилась тенденция к усилению конфликтности. Изменение состояния водоемов и водных потоков (обострение нехватки воды) и возведение плотин, гидроэнергетических и других сооружений заинтересованными сторонами спровоцировали обострение споров.

К примеру, конфликтный потенциал по вопросам трансграничных рек имеют взаимоотношения Китая и Казахстана (р. Хоргос) [457], Ирана и Афганистана (р. Гильменд), Индии и Пакистана (р. Инд), Киргизстана и Таджикистана, на которые приходится до 80% запасов пресной воды в Центральной Азии, с одной стороны, и Казахстана, Туркменистана и Узбекистана с другой. В той или иной мере дефицит воды испытывают 19 из 22 арабских стран, и почти все из них используют трансграничные водные ресурсы. Так, бассейны рек Тигр и Евфрат являются ключевыми источниками воды для 237 млн человек в Ираке, Иране, Сирии и Турции [458].

Повышение температуры, низкое количество осадков, высыхание рек ведут к критически низкому уровню доступа к воде. Вероятность и интенсивность конфликтов,

связанных с водными ресурсами, растут по мере того, как скорость изменений в речном бассейне превышает институциональную способность справиться с такими изменениями [459].

Распространение биоразлагаемых полимеров (Biodegradable Polymers)

Биоразлагаемые пластмассы и резины — это материалы, которые производятся из возобновляемого сырья (на биологической основе) или ископаемого топлива. Наибольшей популярностью пользуется биопластик на основе природных полимеров — крахмала и целлюлозы. Уже налажено производство биопластика из кукурузы (реализуют компании Novamont, Metabolix, NatureWorks), сахарного тростника (Braskem), касторового масла (Arkema). Из биохимикатов на основе древесины могут производиться все виды товаров — от стеклянной упаковки до автомобильных шин. Все перечисленные биохимические вещества имеют большое количество вариантов промышленного и потребительского применения.

Существуют различные оценки уровня токсичности процесса производства биоразлагаемых полимеров: объемы выбросов парниковых газов при их производстве сопоставимы с объемами при производстве пластика на основе синтетических полимеров. Химические вещества, используемые в биоразлагаемом пластике, могут иметь такую же токсичность, как и в синтетическом; микрочастицы материалов из биоразлагаемых полимеров способны неблагоприятно влиять на морские и пресноводные организмы, качество почвы, произрастание сельскохозяйственных культур и т.д. [460]. К примеру, полимолочная кислота является компостируемой, а не биоразлагаемой в естественной среде, что приводит к образованию микропластика — потенциального загрязнителя окружающей среды, токсичного для водных экосистем и, соответственно, людей [461].

На данный момент отсутствуют инструменты точной оценки скорости биоразложения таких полимеров в естественной среде, поскольку ни в одной экосистеме не существует единого паттерна биоразлагаемости, а параметры и среды, определяющие скорость биоразложения (вода, питательные вещества, температура и т.д.), сильно различаются [462]. Распространение материалов из биоразлагаемых полимеров может послужить фактором как кратного увеличения объемов выделяемого в атмосферу углекислого газа и усугубления глобального пластикового загрязнения.

Внезапное изменение солнечного цикла

Солнечными циклами считаются периодические перемены в интенсивности и числе проявлений активности Солнца и характеризуются сменой полярности магнитного поля

звезды [463]. В среднем, один солнечный цикл длится около 11 лет. Текущий 25-й цикл солнечной активности, начавшийся в 2019 г., по прогнозам, должен продлиться до 2030-2032 г. [464].

Доступные человечеству данные, накопленные за несколько столетий, не позволяют проследить однозначные закономерности и успешно спрогнозировать активность Солнца. Солнечные циклы слишком нестабильны: в реальности их длительность может варьироваться от 9 до 16 лет, а уровень активности двух циклов может различаться в 3,5 раза [465]. На данный момент отсутствуют методы предсказания точного времени и силы активности на поверхности звезды, даже в период солнечного минимума могут произойти мощнейшие солнечные вспышки (например, в ноябре 2003 г.) [466]. При таком развитии событий выброшенная Солнцем радиация будет представлять угрозу для космических кораблей и космонавтов, некоторые спутники навсегда потеряют связь с наземным управлением [467].

Сильные геомагнитные бури на Земле, вызванные высокой солнечной активностью, вызовут перебои в работе высокочастотной радиосвязи, сделают невозможным использование системы GPS и приведут к полному отключению электроэнергии [468, 469]. Целые города будут обесточены в течение недель, результатом чего может стать экономический кризис. Так, один день без электричества в Нью-Йорке будет стоить как минимум 1 млрд долл. [470]. Ожидается, что следующий солнечный максимум, т.е. период сильнейшей активности звезды, произойдет в 2025 г. [471].

Резкое изменение климата, необратимые последствия для экологии

Изменение климата имеет глобальный характер. На 0,8°C выросла среднегодовая температура на Земле за последние 60 лет [472]; до 2025 г. она будет минимум на 1°C выше доиндустриальных значений: в диапазоне от 0,9°C до 1,8°C, могут наблюдаться временные потепления на 1,5°C [473]. На изменение климата накладываются последствия антропогенной деятельности, в результате чего число экстремальных погодных явлений увеличивается, — более частыми становятся перепады температур, в некоторых районах устанавливаются нехарактерные для них погодные условия и режимы выпадения осадков, нанесенный экосистемам ущерб оказывается необратимым.

Для многих сфер деятельности человека изменение климата имеет преимущественно негативные последствия. В первую очередь влияние испытывает на себе сельское хозяйство. Так, в 2030 г. Африка может потерять более 30% урожая кукурузы, потери риса и проса Азии составят до 10% от общего числа [474]. Однако в северных странах (например,

в России и Канаде) в результате глобального потепления расширится зона, благоприятная для сельского хозяйства и жизни людей.

Увеличение частоты, серьезности и продолжительности экстремальных природных явлений создает угрозу для многих наземных, пресноводных, прибрежных и морских экосистем [475]. Продолжающееся и ускоряющееся повышение уровня моря будет иметь катастрофические последствия для прибрежных населенных пунктов, инфраструктуры, экосистем [475]. На этих территориях расположено почти две трети городов мира, и их затопление приведет к массовому перемещению людей [476]. По оценкам Всемирного Банка, к 2050 г. более 140 млн человек в странах Африки к югу от Сахары, Латинской Америки и Южной Азии будут вынуждены мигрировать [477]. Увеличивается риск внутри- и межстрановых конфликтов за природные ресурсы [477]. Климатические изменения способствует созданию дефицита продовольствия и распространению пищевых, водных и трансмиссивных болезней [478].

В случае резкого ускорения климатических изменений существующие системы управления вряд ли будут способны вовремя реагировать и справляться с последствиями. Триггерами такого ускорения могут стать факторы антропогенного характера, прежде всего, масштабные техногенные катастрофы, нарушение экологического баланса из-за военной деятельности.

Воздушные купола над азиатскими мегаполисами

Загрязнение воздуха является одной из наиболее острых глобальных экологических проблем, влекущей за собой ухудшение качества жизни и здоровья, снижение возможностей для экономического и социального развития. Из 50 городов мира с самым загрязненным воздухом по концентрации в нем микрочастиц (PM_{2,5} (мкг/м³)) в 2022 г. 39 были в Индии, четыре — в Пакистане, два — в Китае [479]. В 2023 г. к числу антилидеров рейтинга добавились города из ОАЭ, Катар, Индонезии, Ирака, Южной Кореи, Японии; количество китайских городов выросло до восьми [480].

Основным источником загрязнений воздуха в странах Индо-Тихоокеанского региона является промышленное производство. В качестве решения проблемы смога архитектурные компании предлагают создание куполов, заполненных чистым воздухом. Так, в 2014 г. фирма Ogrojes предложила такой проект Пекину. Геометрия структуры купола имитирует развитие прожилок в листьях растений или в крыльях бабочек, электричество вырабатывается солнечными батареями, температура и состав воздуха внутри купола контролируются, что позволяет создать максимально благоприятные

условия как для людей, так и, например, для выращивания определенных видов растений [481]. Установкой куполов с системой фильтрации воздуха занимается компания Broadwell, на ее счету свыше 400 куполов в 15 странах [482].

Среди реализованных проектов куполов, под которыми располагаются здания, — кампус компании Google Bay View в Калифорнии, штаб-квартира Amazon в Сиэтле, музей в Монреале «Биосфера». Частные школы на севере Китая возводят купола над зданиями, где проходит обучение и занятия спортом [483]. Установка куполов над целыми городами сопряжена с гораздо большими затратами, необходимостью решения вопросов финансирования и соответствующим уровнем технологического развития, в частности материаловедения.

4.5 Политические события-джокеры

Утрата Антарктидой статуса заповедной территории

Антарктида является самой большой заповедной территорией на Земле, не подверженной активному человеческому влиянию [484]. Это единственный континент, где никогда не производилась добыча полезных ископаемых, за исключением бурения и сбора проб горных пород [485], при том, что Антарктида богата полезными ископаемыми, включая железные руды, нефть, природный газ и уголь [486]. Согласно Договору об Антарктике, территория используется исключительно в мирных целях, таких как туризм и научные исследования [487], на разведку природных ресурсов действует мораторий [488].

В условиях геополитической и геоэкономической турбулентности происходит пересмотр многих старых правил, отказ от неэффективных (и неравноправных) и создание новых институтов. Территориальные притязания, политизация научно-технических и природоохранных проблем, обострение конкуренции за ресурсы могут стать драйверами пересмотра положений договора об Антарктике. Договор заключался в совершенно других политических, экологических и технологических условиях, и, помимо того, в его разработке участвовали только 12 государств. Протокол об охране окружающей среды к Договору об Антарктике предусматривает возможность пересмотра его положений, включая те, что касаются использования ресурсов, по истечении 50 лет после вступления протокола в силу, то есть, в 2048 г. [489].

Существует прецедент, касающийся режима управления Арктикой. Неарктические государства, такие как Китай, Япония, настаивают на равноправном участии в управлении стратегически важной с ресурсной и логистической точек зрения территорией без доминирования арктических государств. В то же время вопрос сохранения за Антарктидой

статуса заповедной территории может стать точкой соприкосновения между мировыми державами в условиях сокращающегося пространства для сотрудничества.

В случае пересмотра Договора и утраты статуса заповедной территории в Антарктиде может начаться нелегальная добыча полезных ископаемых, а государства могут использовать антарктические станции в качестве суверенных аванпостов [490]. Ее территория может быть разделена между странами, как и любой другой массив суши и окружающий океан, что со временем может привести к интенсификации добычи полезных ископаемых [490]. Геоинженерия для стабилизации ледяных щитов и засева железа в Южном океане может осуществляться частными лицами [491], а к 2050 г. в Антарктиде может получить развитие элитный туризм [492].

Прогнозируется, что к 2070 г. воздух в Антарктиде прогреется на 3°C. Из-за этого уровень моря будет подниматься чуть менее чем на дюйм в год, а в долгосрочной перспективе он поднимется на десятки футов, затопляя прибрежные города [493]. В этой связи сохранение статуса заповедной территории и международный мониторинг будет гарантом сдерживания экологической катастрофы.

Колонизация Антарктиды / Создание автономных городов в Антарктиде

Сегодня в Антарктиде нет постоянных поселений. Ученые находятся там определенный период времени, даже некоторые исследовательские центры оснащены гидропонными теплицами, запасы продовольствия для персонала научно-исследовательских станций нормированы. Уже сегодня суровые погодные условия не останавливают путешественников, в регионе активно развивается туризм — в сезоне 2022-2023 гг. Антарктику посетило рекордное количество человек — 105 тыс. [494]; смягчение погодных условий, технический прогресс, коммерческие геологические изыскания могут стать драйверами освоения богатой полезными ископаемыми Антарктиды и строительства там поселений. В более отдаленной перспективе Антарктида может стать направлением для климатических мигрантов [495].

При сохранении тенденции к потеплению в Антарктике появится больше свободного ото льда пространства [496], что может компенсировать сокращение из-за антропогенной деятельности и климатических изменений пригодных для жизни территорий на других материках. Со смягчением климата условия региона будут схожими с высокими широтами России, Норвегии, Канады, с Исландией, Гренландией, Аляской. Удаленность от продовольственных центров сформирует необходимость в налаживании местного производства продуктов питания, получения пресной воды; выращивания

сельскохозяйственных культур; за основу проектов могут быть взяты уже действующие при научных станциях теплицы. Энергия для автономных, обеспечивающих себя ресурсами поселений может генерироваться за счет возобновляемых источников — солнца и ветра. Обеспечение автономности, кроме непосредственно продовольственной безопасности, потребует создания соответствующей инфраструктуры — больниц, школ, университетов и транспортной сети, связывающей отдельные поселения.

Запрет технологий, усиливающих когнитивные способности человека

Драйверами развития технологий, усиливающих способности человека, являются старение населения и связанные с этим процессы угасания когнитивных возможностей, необходимость развития человеческого капитала и повышения эффективности работы человека в высокотехнологичной экономике, а также достижения в сферах био-, нано-, информационных и других технологий. Без четкого этического и правового регулирования применение усиливающих когнитивные способности технологий создает риски, не всегда прогнозируемые, и поднимает ряд острых вопросов, в том числе этического (нейроэтического [497]) характера, связанных с их доступностью, критериями допустимости использования, неравенством между «улучшенными» и «неулучшенными» людьми, с рисками «взлома» человека и ответственностью за поступки и решения принятые с их помощью, с конфиденциальностью и свободой действий.

Возможность повысить бдительность, улучшить способность обрабатывать информацию и генерировать новые знания в условиях ограниченного времени и давления, развить эмоциональный интеллект делают такие технологии потенциально востребованными в военной сфере. Благодаря когнитивным усовершенствованиям человек не будет рассматриваться как «слабое звено» в сети автоматизированных, высокопроизводительных интеллектуальных систем. В то же время развитие этих технологий, стремление к их усовершенствованию, может спровоцировать новую «гонку вооружений», следствием чего станет изменение статус-кво действующих соглашений о контроле над вооружениями. Помимо этого, возникнет риск распространение неэтичных и незаконных практик проведения экспериментов на людях [498].

Сложности предсказания будущих траекторий развития нейронауки и последствий использования таких технологий, неравный доступ к ним и концентрация у группы определенных стран или компаний, вероятно, спровоцирует попытки на международном уровне установить запрет или ограничить их использование. Немаловажную роль сыграет общественное отношение к таким технологиям. Так, согласно опросу Pew Research, чем

менее «радикальны» методы и технологии улучшения способностей человека, тем позитивнее их восприятие и наоборот [499].

Институциональный запрет на использование криптовалют

По состоянию на 2023 г. уровень владения криптовалютой в среднем составляет 4,2% по всему миру с более чем 420 млн пользователей. Прогнозируется, что в 2019-2025 гг. рынок криптовалют продолжит расти с совокупным годовым темпом 56,4% [500].

Использование криптовалюты как платежного средства растет по всему миру, однако не существует единого правового подхода к регулированию криптовалюты и криптовалютных бирж. Операции с криптовалютой во многих странах находятся в «серой» зоне. В ряде стран она (США, Канада, Сингапур, Южная Корея, Китай, Индия, Великобритания) не считается законным платежным средством, однако криптовалютные биржи и их деятельность регулируются законами [501]. В других странах (Австралия, Япония, Швейцария, страны ЕС) криптовалюты признаны легальным платежным средством. В 2021 г. Сальвадор стал первой в мире страной, признавшей биткоин официальным платежным средством [502]. В России принят закон о запрете оплаты товаров и услуг криптовалютой (но возможно использование в качестве инструмента инвестиций) [503]. Китай в 2021 г. признал операции с криптовалютами незаконными, однако руководство активно занимается вопросам аналитики и регулирования рынка цифровых валют, а также разработкой и продвижением цифрового юаня [504].

Ограничение криптовалютных операций на государственном уровне связано с опасением, что частные (децентрализованные) и очень нестабильные цифровые валюты могут подорвать контроль над существующими финансовыми системами [505]. Потенциально криптовалюта может неофициально заменить национальную, поставив под угрозу монетарный суверенитет государства. ЮНКТАД выступает за глобальную налоговую координацию в отношении налогообложения криптовалюты, регулирования и обмена информацией [506].

Несмотря на опасения, которые вызывает волатильность криптовалюты, рынок цифровых валют активно развивается. Более реальным является не полный институциональный запрет криптовалюты, а разработка законодательного регулирования криптовалютных операций и адаптация государственных платежных систем в соответствии с цифровой эпохой [507].

Обострение межгосударственной конкуренции за освоение «зашельфовых» пространств мирового океана

Геополитическая и макроэкономическая турбулентность определяют чрезвычайную важность ресурсобеспеченности государств, особенно ресурсами, имеющими критическое значение для энергетической и продовольственной безопасности и технологического развития. Все более вероятным становится усиление соперничества в малоосвоенных регионах (Арктика, Антарктика), а затем и в «зашельфовых» пространствах океана, ресурсы которых станут главными драйверами экономического и технологического развития [508].

Техническая сложность, неблагоприятные погодные-климатические условия и экологическая безопасность — барьеры освоения зашельфовых пространств, но первые два со временем могут быть преодолены за счет технологического развития, а третий — вытеснен соображениями обеспечения безопасности государства. Кроме непосредственно усиления соперничества государств, обладающих необходимыми технологиями, за пределами их экономических зон, разработка зашельфовых ресурсов чревата серьезными экологическими последствиями, губительным влиянием на экосистемы океана.

Обострению конкуренции будут способствовать рост новых центров силы и изменение архитектуры современной системы международных отношений. Такие условия благоприятны для пересмотра международного правового режима по разграничению морских пространств.

Широкое распространение смертоносных автономных систем вооружения

Термином «смертоносные автономные системы вооружений» (САС) обозначаются военные технологии с использованием искусственного интеллекта (ИИ), которые способны самостоятельно без вмешательства человека выбирать и поражать цели [509]. К САС относят вооружение, способное работать без вмешательства оператора на земле, под водой и в воздухе: беспилотные летательные аппараты, наземные стационарные роботы, беспилотные надводные корабли. Достижения в сфере ИИ позволяют говорить о широком распространении полностью автономных боевых роботов в течение ближайших лет, а не десятилетий, как считалось ранее [510].

Сторонники внедрения таких систем считают, что применение ИИ способно снизить риск человеческой ошибки в ходе боевых действий, а точность систем позволит сократить жертвы среди гражданского населения [511]. Однако, как и любые информационные устройства, САС будут подвержены риску взлома, а значит, управление ими может быть перехвачено преступниками. Принцип работы САС позволит скрыть их принадлежность тем или иным группировкам [511]. Сторонники запрета САС на международном уровне

считают, что использование таких технологий будет нарушать нормы международного гуманитарного права, системы не смогут достоверно определять гражданских лиц, создадут серьёзную угрозу правам человека [512]. Кроме того, вероятен риск неконтролируемого оборота и незаконного распространения САС.

Обязательные универсальные механизмы регулирования не могут быть разработаны в отсутствие общепринятого определения автономных систем вооружения и понимания того, что и в какой мере считать значительным контролем над САС. Дефицит доверия между государствами вряд ли позволит создать надгосударственную систему контроля над САС [512], к тому же, военные технологии развиваются в режиме гонки вооружений при слабом общественном контроле [512]. В условиях усиления технологической конкуренции и формирования техноэкономических блоков вероятнее усиление соперничества в создании более совершенных САС.

Повсеместное внедрение систем социальных рейтингов

Официально система социального рейтинга была введена в Китае в 2014 г., она развилась из первых кредитных баз и рейтингов, появившихся в середине 1990-х гг. Система охватывает три основные сферы деятельности человека — отношения с государством (перечисление налогов, отсутствие правонарушений, др.), поведение в обществе (честность при выполнении рабочих обязанностей, соблюдение норм по рождаемости, др.), деятельность в цифровом пространстве (культура общения, честность и надежность публикуемой информации, др.) [513]. Рейтинги граждан составляются на основе анализа огромных массивов данных о поведении, принятых решениях и совершенных поступках. Количество набранных баллов влияет на возможности человека при поступлении в учебное заведение, приеме на работу, получении кредита, использовании разных общественных благ и др. В системе социального рейтинга учитываются не только физические, но и юридические лица.

Существует мнение, что распространение таких систем в демократических странах мира невозможно или реализуемо внедрение лишь отдельных элементов [514]. Однако прослеживаются предпосылки распространения таких систем.

Изначально под социальным рейтингом понимался сложный социально-экономический индикатор, необходимый для оценки эффективности деятельности кредитных и финансовых организаций в соответствии с принятыми социальными обязательствами [515]. Всемирный банк был инициатором внедрения в практику кредитных рейтингов для обеспечения гибких возможностей использования финансовых

инструментов национальными правительствами [516]. Соответствие ESG-принципам также является своего рода системой рейтингования, на основе которой стейкхолдеры принимают решения о сотрудничестве с тем или иным предприятием.

Инструменты поощрения и наказания могут использоваться и в отношении физических лиц. Так, весной 2022 г. временно было прекращено банковское обслуживание дальнобойщиков, участвовавших в протестах против вакцинации в Оттаве. Ограничения коснулись членов их семей и даже тех, кто переводил пожертвования в их поддержку [517].

Элемент общественного порицания, важный для китайской системы, также прослеживается в других регионах мира. Так, в западных странах как его крайнее проявление может рассматриваться «культура отмены», когда человек или группа подвергаются осуждению в социальных или профессиональных сообществах за неэтичное и неприемлемое, по мнению большинства или активного меньшинства, поведение или высказывание.

Современные технологии обеспечивают соответствующие инструменты анализа данных и формирования на этой основе профилей граждан — становится проще отслеживать людей и собирать данные о них. У государства есть возможность использовать «технологическую централизацию» (the ability to exploit technological centralization), то есть, доступ к множеству информационных потоков и инструментам их сбора и обработки. Распространение таких систем изменит взаимоотношения между гражданами и государством, гражданами и финансовыми организациями, может способствовать появлению новых социальных классов, разделенных занимаемыми в рейтинге позициями.

Определение научной повестки эко лоббистами

Климатический вопрос занял одно из центральных мест в повестках на международном, государственном, экспертном и корпоративном уровнях. Вместе с заинтересованностью населения в вопросах защиты окружающей среды выросла активность гражданского общества как в развитых, так и в развивающихся странах, последнее десятилетие XX в. отметились появлением политических партий социально-экологической направленности [518], которые сегодня играют активную роль в сфере политики. Например, действующий министр экономики Германии является членом партии «Зеленых»; мэрии некоторых крупных городов Франции возглавляют представители партии «Экология Европы — Зеленые»; «зеленая» партия входит в Европейский парламент; представители «зеленых» входят в состав парламента Австралии, также они занимают

важные позиции в органах законодательной и исполнительной власти в Мексике и Колумбии.

В политике и бизнесе к экологическим вопросам апеллируют, чтобы заручиться голосами избирателей или получить экономическое выгоды. «Зеленые» партии входят в состав правительств и оказывают непосредственное влияние на формирование политического курса. Их деятельность не ограничивается разработкой политической повестки в экологическом ключе и содействием выработке направленных на защиту окружающей среды решений. Вместе с тем, внимание принимающих решения лиц к сфере исследований и разработок усиливается как к источнику решений для ответов на те или иные вызовы развитию. С ростом политического влияния «зеленых» вероятно усиление их воздействия на сферу науки, формирование запросов и ожидание соответствующих экологической повестке результатов.

Кроме тех, кто непосредственно занят в процессах принятия решений, экологисты, прямо (через предоставление информации, коммуникации) или косвенно (через организацию демонстраций, публикации в СМИ) влияют на политиков. Их услуги востребованы среди бизнес- и некоммерческих организаций, в научном сообществе [519]. Однако политизация экологической повестки или ее использование в популистских целях ведет к тому, что смысл природоохранной деятельности отходит на второй план. Последствиями этого может стать необъективность исследований, их несоответствие реальным запросам развития, снижение общественного доверия науке.

Замена людей роботизированными технологиями в вооруженных конфликтах

Развитие искусственного интеллекта позволяет говорить о создании боевых машин, способных не просто действовать автономно, без непосредственного участия человека, но самообучаться, анализируя обстановку, идентифицируя угрожающие объекты и принимая решения об их поражении. В будущем автономные системы военного назначения могут заменить людей на полях сражений [520].

Ведущие в сфере производства вооружения страны предпринимают усилия по внедрению искусственного интеллекта в стоящие на вооружении или перспективные системы [520]. Лидерами в разработке «боевых роботов» являются США и Израиль, к технологической гонке подключились Россия, Турция, Иран, Китай и др. [521].

Современные армии имеют работающие в автоматическом режиме вооружения, многие современные системы обладают некоторой степенью автономности (например,

беспилотники и комплексы противоракетной обороны) [522]. Так, в израильской армии подразделения военной разведки используют системы ИИ для автоматического обнаружения целей, а генеральный штаб — для принятия стратегических решений [523]. Полностью автономные дроны применялись в Ливии в 2020 г. [524]. В мае 2021 г. Израиль применил группу боевых дронов, управляемых ИИ [525]. Также в 2021 г. стало известно о оснащённом летальным оружием беспилотнике, который преследовал цель автономно и не получал команд от оператора в Сирии в 2020 г. К 2030 г. вооружённые силы Великобритании могут на четверть быть укомплектованы боевыми роботами [526].

Разработкой автономного оружия занимаются крупнейшие военные или специализированные сервисные, технологические, авиа- и машиностроительные компании (General Dynamics, Raytheon Technologies, NORINCO, Rafael, BAE Systems, Safran и др.), исследовательские центры. Американская компания Ghost Robotics в 2021 г. представила боевого робота-собаку SPUR, которая использует ИИ для обнаружения угроз, однако разрешение на открытие огня должен отдать оператор [527]. Южнокорейский исследовательский университет KAIST занимается разработкой оружия на основе ИИ совместно с оборонной компанией Hanwha Systems [528]. Мировой рынок технологий ИИ, используемый в вооружении, к 2026 г. достигнет 16,4 млрд долл., а среднегодовой темп роста превысит 40% [529]. Драйвером роста станет спрос на полуавтономные системы, разработка которых активно ведётся по всему миру [530].

Предполагается, что использование автономных систем позволит минимизировать людские потери [530]. Тем не менее, правозащитные организации, некоторые страны и технологические лидеры утверждают, что эффект от разработки и применения такого оружия будет дестабилизирующим, и его разработка и использование должны регулироваться международным правом. 19 стран, включая Египет, Аргентину и Пакистан, поддержали такую инициативу в ООН [531]. Эксперты отмечают отсутствие точности у таких систем при идентификации целей, их ненадёжность. Выход из строя или ошибки автономного оружия могут иметь широкий спектр непредсказуемых последствий. Распространение таких технологий ставит вопросы в отношении существующих правил ведения боевых действий, будущем конкуренции в военной сфере, о средствах урегулирования конфликтных ситуаций.

Экодиктатура / Экологический авторитаризм

Сегодня партии социально-экологической направленности играют важную роль во внутренней и внешней политике ряда государств. Так, министры экономики и иностранных

дел Германии являются членами партии «Зеленых», которая выступает за экономное потребление ресурсов, изменение условий труда в пользу сокращения воздействия на окружающую среду. Коалиционные правительства, в состав которых входят «зеленые», действуют в Австрии, Бельгии, Финляндии, Германии, Ирландии, Новой Зеландии; «зеленые» состоят в законодательных органах Австралии, Бразилии, Канады, Чили, Мексики и др. [532]. В условиях усиления внимания к вопросам экологии и роста разочарованности населения действующей властью, не способной справиться со все более частыми и масштабными кризисами, формирующие правительства экологические партии могут оказаться более распространенным явлением.

В случае, если борьба с изменением климата и восстановление биоразнообразия станут главными целями национальных и международной повесток, то их достижение в обозримой перспективе потребует ужесточения требований сокращения воздействия на окружающую среду. Интеграция целей устойчивого развития в законодательные решения может обернуться жесткими общественными ограничениями.

Исследовательский центр Агир в «Сценариях 2050» [533] рисует картину будущего, в котором результатом такой политики станут законодательно закреплённые изменения в образе жизни, диете, деятельности и способах передвижения, сокращение или исчезновение сельскохозяйственного и добывающего секторов, рост занятости в сферах, связанных с очищением окружающей среды, пагубно влияющем на здоровье работников сбором отходов для переработки и повторного использования. Чтобы препятствовать разрушению естественных ареалов обитания животных и расширить охраняемые территории, рост площадей городов и транспортных магистралей будет остановлен, результатом чего станут экстремальные показатели плотности населения (гиперуплотнение).

Один из наиболее радикальных вариантов развития событий — установление квот на выбросы CO₂ для населения, что замедлит рост потребления глобального среднего класса, для которого углеродоемкие продукты (мясо, кофе, др.) окажутся недоступны из-за цены. При этом большая часть потребляемого белка будет выращиваться в лабораториях или производиться из растительного сырья; употребление в пищу синтетических продуктов станет причиной дефицита питательных микроэлементов у значительной части населения.

В случае такого развития событий, появятся качественно новые измерения неравенства, преодолеть которое будет невозможно из-за противоречия необходимых мер целям экологического развития. «Естественные», природные продукты, места проживания и времяпрепровождения окажутся доступны только небольшой прослойке состоятельного

населения, остальные же будут вынуждены соблюдать квоты углеродных выбросов, ограничивая потребление в условиях падения доходов и уровня жизни.

Ограничения на использование открытых распределенных реестров в торговом финансировании и учете товаров

Распределенный реестр — это реплицированная база данных, работающая на основе децентрализованных сетей [534]. Самой известной такой технологией является блокчейн [535], в которой данные о совершенных транзакциях структурируются в виде цепочки связанных блоков транзакций [536]. Защита данных обеспечивается использованием последовательного хеширования, асимметричной криптографии, децентрализованной сети [536]. В открытых сетях участники не проходят полноценной идентификации, допуск к участию не ограничен для широкого круга пользователей, а также отсутствуют централизованные инстанции, управляющие правилами сети, ее конфигурацией и выпуском криптографических ключей [536].

Сфера торгового финансирования связана с процессом обмена документами между большим количеством субъектов, таких как экспортеры и импортеры, банки, страховые компании, транспортные и логистические компании и госорганы [537]. Технология блокчейна может помочь преобразовать процесс документооборота, сократив расчеты с обычных 14 дней до нескольких часов или даже секунд, в зависимости от типа операции [538, 539]. Децентрализованные решения на основе криптографии сводят к минимуму посредничество третьих сторон, тем самым снижая операционные издержки и повышая прозрачность [540].

Несмотря на то, что технология решает два важных вопроса доверия и скорости, значительно снижая при этом стоимость транзакций [541], она не получила повсеместного распространения в сфере торгового финансирования. Многие проекты так и не продвинулись дальше стадии проверки концепции или пилотного проекта. Это связано с тем, что компании сосредоточены на снижении сложности, управлении волатильностью, повышении маржинальности и безопасности транзакций для участников торгового финансирования. Для решения многих из этих вопросов не требуется сложная и дорогостоящая техническая архитектура [542].

Генетический дизайн детей

Уровень рождаемости в мире падает — в 1950-х гг. коэффициент рождаемости равнялся 4,7, в 2019 — 2,4, а к 2100 г. — может снизиться до 1,66, что недостаточно для естественного воспроизводства населения [543]. Так, в 2021 г. в Южной Корее

коэффициент рождаемости достиг 0.81, что на 0.03 меньше, чем в 2020 г. [544]. Такие тренды, как распространение репродуктивной дисфункции, рост числа страдающих бесплодием пар (48 млн в 2020 г. [545]), увеличение среднего возраста родителей при рождении первенца, также как и научно-технологическое развитие, формируют предпосылки для широкого, по крайней мере в располагающих соответствующими технологиями странах, применения практик экстракорпорального оплодотворения (ЭКО).

С 1978 г., когда появился на свет первый ребенок из пробирки, выросло число успешных применений процедуры ЭКО. В 2021 г. глобальный рынок экстракорпорального оплодотворения достиг 21,6 млрд долл.; к 2030 г. он может вырасти до 36,2 млрд долл. Персонализация медицинского обслуживания, совершенствование диагностики, удешевление генетических технологий, увеличение эффективности ЭКО способствует росту рынка. Самый высокий среднегодовой темп роста рынка ожидается в Азиатско-Тихоокеанском регионе — 6,7% в 2022-2030 гг. (6,1% в мире), хотя Европа занимает самую большую долю (37%) [546].

В некоторых странах медицинская страховка и компенсации работодателей покрывают расходы, связанные с решением проблемы бесплодия [547]. В России ЭКО вошло в перечень предоставляемых по полису обязательного медицинского страхования услуг, а национальный проект «Демография» предполагает увеличение числа таких процедур [548].

Тем не менее, существует ряд барьеров технологического, этического, социально-экономического характера, которые могут препятствовать широкому распространению ЭКО. Так, в сфере этики возникают вопросы «обесценивания» человеческой жизни. Массовое использование ЭКО повлияет на медицинскую, экономическую, правовую сферы, область межличностных взаимоотношений, в частности изменится сама концепция родительства, возникнет потребность в юридическом разделении статусов генетических, суррогатных и «официальных» родителей. Средний возраст рождения первого ребенка, вероятно, вырастет еще больше, что будет иметь последствия для занятости и национальных экономик в целом.

Повсеместное использование технологии блокчейн в государственном управлении

Применение блокчейн-технологий не ограничено криптовалютами, их преимущества могут быть актуальны для многих областей, в том числе и в государственном управлении. Предлагая новые способы организации процессов и обработки информации,

блокчейн обладает потенциалом качественно трансформировать деятельность правительств [549]. В Великобритании в 2016 г. блокчейн начал использоваться в системе социальных выплат [550]; в Бразилии технология нашла применение в налоговой сфере [551]. Помимо этого, технология задействована в гуманитарной сфере: через платформу Building Blocks, основанную на блокчейне, один миллион беженцев из Иордании и Бангладеш получили упрощенный и надежный доступ к гуманитарной помощи [552].

Прежде всего, преимущества внедрения блокчейн-технологий связаны с обеспечением безопасного обращения огромных массивов данных [553, 554]. Технология сделает систему государственного управления более прозрачной — неизменный реестр данных блокчейна позволит отслеживать и предотвращать попытки коррупционных правонарушений [555]. Однако, использование «классической» открытой системы блокчейна создаст дополнительные риски со значительными последствиями (например, в случае технического сбоя), в результате которых под угрозой могут оказаться национальная безопасность и права граждан [556].

Более дорогой альтернативой является контролируемый (т.е. закрытый) блокчейн, при котором за государственным аппаратом остаётся возможность контролировать функционирование системы и, при необходимости, вмешиваться в него. Однако в таком случае возникнет вопрос о прозрачности и непредвзятости системы, теряет смысл принцип децентрализации, на котором основывается технология.

Выдача патентов на ДНК человека

Выдача патентов на ДНК человека подразумевает предоставление исключительного права на определённую биологическую последовательность (белковую или последовательность нуклеиновых кислот) «лицу, имеющему непосредственное отношение к идентификации этой последовательности или работе по ее преобразованию» [557]. Патентование генов имеет следующие цели: возможность частных компаний избежать конкуренции при исследовании генов, привлечение инвестиций в научные разработки и поощрение более творческого подхода исследователей.

Патентование человеческого гена создаст ряд негативных последствий: долгий срок защиты прав помешает полноценному развитию исследований, произойдет монополизация прав со стороны компаний-правообладателей генов. Результатом может стать замедление прогресса биомедицины и геномных исследований [558]. Для пациентов это может затруднить доступ к генетическому тестированию, необходимому для лечения, и

значительно увеличивает его стоимость; сделает невозможным получение второго профессионального мнения и проведение дополнительных исследований.

Этическая составляющая вопроса неоднозначна: идут активные споры о неприемлемости коммерциализации генома человека в целом или определённых его видов, зачастую правовые и моральные аспекты противоречат друг другу [558]. Подходы к патентованию генов в мире разнятся: например, в США сформировалась судебная практика, позволяющая запатентовать ген, в государствах ЕС наблюдается серьёзное сопротивление этой возможности [559], в Китае введен запрет на патентование генетического скрининга и методов диагностики, но наблюдается стремление обеспечить более широкую защиту для генных патентов [560] в законодательстве Российской Федерации патентование генетических изменений не предусмотрено [561].

Полная блокада Тайваня Китаем

В 2022 г. значительно обострились отношения между Тайванем и материковым Китаем, чему способствовала активизация внешней политики США в Азиатско-Тихоокеанском регионе и в частности в отношении Тайбэя. В случае эскалации напряженности из-за расширения военного присутствия США на острове и роста активности их ВМС в Тайваньском проливе, КНР, придерживающаяся принципа «одного Китая», может перейти к более жестким мерам, чтобы продемонстрировать свой суверенитет над островом.

Так, при блокаде морские и авиационные перевозки окажутся парализованы и поставки микрочипов с Тайваня будут остановлены, сильнейший ущерб будет нанесен мировой ИТ-отрасли. Потери мировой экономики (без учета последствий санкций или военного ответа со стороны США) превысят 2 трлн долл. [562]. На острове производится 92% передовых микрочипов (остальные 8% — в Южной Корее) и 60% — более распространенных [563]. Тайваньская компания по производству полупроводников (TSMC) — ключевой поставщик для мировых производителей техники; по некоторым оценкам, она производит 35% автомобильных микроконтроллеров и 70% процессоров для смартфонов [564].

Вероятность полной остановки поставок микрочипов в случае блокады острова подтверждается вниманием бизнеса. Например, британская телекоммуникационная компания ВТ провела «военные игры» — компьютерную симуляцию возможных действий в случае военного конфликта между Китаем и Тайванем [565]. Результатом остановки поставок полупроводников станут сбои в мировой торговле и производстве. В

совокупности с высоким риском резкого роста инфляции и дефицита в ключевых отраслях это может привести к спаду в мировой экономике, устойчивой инфляции, проблемам в национальных экономиках, в том числе к росту безработицы.

Появление ресурсных автаркий

Такие факторы, как постоянные угрозы сбоев в цепочках поставок, использование ограничений доступа к критически важным материалам и ресурсам в качестве политических инструментов принуждения, стремление к ресурсной самодостаточности, могут способствовать тому, что конкуренция за ресурсы приведет к превращению стран с высоким уровнем дохода в ресурсные автаркии [566]. Стремление крупных экономик к самодостаточности для обеспечения собственной безопасности, инновационного и экономического потенциала [567] — одна из наиболее заметных глобальных тенденций.

Возникновение полных автаркий невозможно из-за географического распределения ресурсов и особенностей международного разделения труда. Характерные для полных автаркий низкая эффективность секторов экономики, отсутствие выгод от специализации производства, высокие ресурсные и временные затраты на развитие технологий, отсутствие перспектив долгосрочного роста являются барьерами реализации на практике идеи экономической независимости. Крайнее ужесточение протекционистской политики и подчинение экономики исключительно потребностям страны делают более вероятными новые конфликты, в том числе вооруженные. По оценкам ООН, вероятность повторного обострения конфликтов, связанных с ресурсами в два раза выше, чем в других случаях [568].

Вероятно, ресурсные автаркии можно рассматривать как крайнюю форму ресурсного национализма, — политики, требующей национализации добывающих и энергетических предприятий, устанавливающей особый торговый режим. Возникновение ресурсных автаркий будет иметь последствия глобального и национального характера. Усилится разрыв между развитыми и развивающимися странами, возникнет необходимость в трансформации бизнес-моделей и логистических маршрутов, постоянной станет угроза ценовых войн и дефицита тех или иных материалов или товаров, возможно появление «ресурсных» блоков государств, носящих, вероятно, временный характер по мере сохранения экономической целесообразности.

Право на чистый воздух включено в перечень основных прав человека

Загрязнение воздуха — одна из самых острых экологических проблем современности, ежегодно оно становится причиной преждевременной смерти семи

миллионов человек. Почти все население мира (99%) дышит воздухом, который не соответствует стандартам качества воздуха ВОЗ [569] и увеличивает риск развития астмы, сердечных заболеваний и рака легких. Загрязнение воздуха наряду с угрозой для жизни способствует изменению климата.

Одной из самых острых причин глобального потепления являются краткосрочные загрязнители климата (Short-Lived Climate Pollutants, SLCP), которые способствуют повышению уровня моря и более частому возникновению экстремальных климатических явлений (засухи, пожары и штормы). Загрязнение воздуха способно привести к сокращению или исчезновению биологического разнообразия (животных, растений и экосистем), влияет на поставки продовольствия, доступ к чистой воде [570].

В 2022 г. Генеральная Ассамблея ООН приняла резолюцию, закрепляющую право человека на здоровую окружающую среду, включая чистый воздух и воду [571]. Резолюция не имеет обязательной юридической силы, тем не менее, ее принятие может стать шагом к внесению права на чистый воздух в перечень основных прав человека [572]. Всеобщая декларация прав человека также не имеет обязательной силы, однако ее принципы закреплены в законодательствах и конституциях многих государств, входящие в ООН страны, подтверждают приверженность ее положениям. Принятие резолюции и признание права человека на здоровую окружающую среду и чистый воздух поможет ускорить действия по сокращению выбросов, так сдержав темп глобального потепления на уровне 1,5 °C [573], а также простимулировать внедрение систем мониторинга качества воздуха и управления им. Лишь 31% стран имеют правовые механизмы регулирования трансграничного загрязнения воздуха или решения этой проблемы, в то время как в 43% отсутствует юридическое определение загрязнения воздуха [574].

Включение права на чистый воздух в перечень основных прав повлияет на принятие соответствующих законопроектных на национальных уровнях, поощряя укрепление экологических статусов, обеспечивая процессуальную защиту и повышая значение экологического права в обществе, закрепит требования к устойчивому развитию компаний, послужит стимулом для увеличения финансирования и инвестиций на данное направление [575]. Такой шаг скажется на многих сферах деятельности человека, так, укрепится база правозащитного движения, усилится давление на нефтегазовый, транспортный и другие секторы с высоким экологическим следом. Новые более высокие требования к качеству воздуха станут дополнительной нагрузкой для развивающихся стран, не имеющих достаточных финансовых и технологических средств для соответствия им.

Отказ от экспорта продукции АПК

Стремление государств к обеспечению продовольственной безопасности в условиях трансформации торгово-логистических цепей и постоянного риска сбоев в них из-за непредвиденных ситуаций, ограничений мобильности при эпидемиях или по политическим соображениям может стать причиной сокращения или отказа стран-производителей от экспорта продукции АПК. Такие факторы, как стремление к продовольственному суверенитету [576], необходимость сохранения почвенного потенциала и накопления удобрений на фоне волатильности цен на энергоносители, ограниченности необходимых для производства удобрений ресурсов, риска запрета банковских транзакций, доступа в порты и фрахта судов, также будут влиять на экспортную политику.

Временные ограничения уже используются некоторыми государствами, а ужесточение мер может стать следствием обострения межгосударственных противоречий или проблем продовольственной безопасности. Квотирование экспорта продуктов питания, кормов и удобрений делает непредсказуемой международную торговлю продовольствием, усугубляя проблему доступности продуктов питания. Драйвером увеличения числа ограничительных мер сначала стала пандемия COVID-19, затем европейский кризис; в мае 2023 г. по-прежнему действовали 63 экспортных ограничения (101 — с начала СВО) стран-участниц ВТО, из них 21 — связано с пандемией [577].

Политизация вопроса экспортных поставок сельскохозяйственной продукции — фактор, который все сильнее влияет на решения о введении и отмене соответствующих ограничений. Наиболее сильные последствия ощутят зависимые от поставок страны импортеры. Отсутствие продовольственной безопасности катализирует другие социально-экономические проблемы, способствует росту социальной напряженности и недовольства политикой действующей власти, что чревато волнениями, нарушением производственных процессов.

Принятие закона о целостности внутреннего программного обеспечения

Принятие закона о целостности коммерческого программного обеспечения подразумевает защиту исходного кода коммерческого программного обеспечения (ПО) от открытого использования, закреплённую юридически. В этом случае код перестаёт быть доступным для чтения, как данные [578]. Несмотря на то, что в настоящее время в законах многих стран за исходным кодом закреплён статус интеллектуальной собственности его создателя, компании-разработчики ПО зачастую должны использовать дополнительные

методы для защиты от плагиата [579]. Общепринятые правила защиты интеллектуальной собственности не совсем подходят к принципу разработки ПО: например, само определение авторского права в США подразумевает отражение личности автора в его произведении, что не может относиться к ПО [580]. Также остаётся открытым вопрос о правилах защиты целостности ПО при постоянно существующей необходимости выпуска дополнительных обновлений и исправлений для программ, т.е. постоянной изменчивости объекта авторского права.

Жёсткое юридическое закрепление целостности ПО может иметь негативные последствия для потенциальных инноваций в компьютерной инженерии и способно ограничить творческий потенциал разработчиков, что, в свою очередь, отрицательно скажется на конкуренции на рынке. Повсеместное расширение действия авторского права при этом увеличит стоимость его защиты. Более основательная правовая защита целостности ПО решит вопрос авторства кода, закрепив за определённым человеком или группой людей статус автора, что уменьшит количество возникающих на данной основе споров [580].

Распространение проектов солнечного геоинжиниринга

Сторонники солнечной геоинженерии полагают, что с помощью модификации солнечного излучения можно снизить среднюю температуру Земли и так способствовать решению проблемы глобального потепления [581]. Идея заключается в распылении в стратосфере микроскопических частиц, невидимых с земли, но достаточно непрозрачных, чтобы отражать часть солнечной энергии в космос. Анализ экологических, социальных и этических последствий использования таких технологий находится на ранней стадии.

Нет единого мнения относительно безопасности для климата и экологии солнечной геоинженерии, также как и не сложилось единых подходов к реализации, управлению, оценке таких проектов. О потенциальной опасности технологии и необходимости ужесточения контроля над ней высказываются ученые по всему миру [582]. Межправительственная группа экспертов по изменению климата указывает на спекулятивность идеи широкомасштабного развертывания солнечной геоинженерии [583]. Некоторые эксперты отмечают, что такая деятельность должна строго контролироваться, поддерживаться результатами научных исследований для исключения потенциальных угроз социальным и экологическим системам и рассматриваться как вспомогательное средство борьбы с изменением климата [584].

В случае влияния на погодные условия, геоинженерия может создать угрозу правам человека на жизнь и здоровье. Открытыми остаются вопросы о последствиях реализации проектов, например, для сельского и лесного хозяйства, навигации и экосистем океана при реальном влиянии солнечного геоинжиниринга на погоду. Глобальный характер эффектов потребует международного сотрудничества по вопросам регулирования. Также одним из барьеров является отсутствие масштабной инфраструктуры как для производства необходимых химикатов, так и для организации полетов.

Несмотря на недостаточную изученность солнечной геоинженерии, такие факторы как прогнозы роста экономического ущерба от изменений климата и несоответствие внутренних целей и результатов климатической политики стран принятым ими обязательствам, установленным международными соглашениями по климату, могут подтолкнуть к более широкому ее применению. Межведомственная группа по исследованию климатических вмешательств, включая солнечный инжиниринг, будет работать при Управлении научно-технической политики США [585, 586]; в Австралии ученые разрабатывают технологии осветления облаков над океаном [587]; соответствующие эксперименты, проводимые в ведущих мировых научных центрах, поддерживаются крупным бизнесом [588]; компания Make Sunset «запускает» «облака» с диоксидом серы, способным отражать солнечное излучение [589]. Внимание государства, бизнеса и научного сообщества к солнечному геоинжинирингу и включение его в информационную повестку, целенаправленное освещение средствами массовой информации как эффективного способа решения климатических проблем способны сформировать нейтральное или позитивное отношение общества, создать условия для более широкого использования техник геоинжиниринга.

Интенсификация добычи твердых полезных ископаемых в Арктике

Рост спроса на редкоземельные металлы и ограничения на их экспорт в условиях долговременной нестабильности глобальных рынков и ожесточающейся технологической конкуренции, смягчающиеся из-за климатических изменений условия добычи ресурсов создают предпосылки для интенсификации разработок минерально-сырьевого комплекса Арктики. Этот регион богат не только углеводородами, но также редкоземельными металлами (неодим, празеодим, тербий, др.), никелем, медью, молибденом, цинком и др. ресурсами, крайне важными для будущего научно-технологического и экономического развития [590].

Драйвером интенсификации добычи твердых полезных ископаемых в регионе может стать приоритет национальных интересов, в частности, гарантии энергетической безопасности и необходимой для технологической независимости ресурсной базы, над идеями устойчивого развития и защиты экологии. Арктические льды тают, что создает новые возможности для навигации. Открытие круглогодичной навигации обеспечит развитие разведки и добычи, необходимые грузоперевозки и поставки для научно-исследовательских и минерально-сырьевых центров. Интенсификация добычи непосредственно будет связана с ростом как экономической, так и необходимой для обеспечения ее безопасности военной активности.

Барьерами могут стать высокие операционные издержки, технологические ограничения разведки и добычи, отсутствие развитой транспортной, коммуникационной и энергетической инфраструктуры. Препятствовать активным разработкам в регионе также может продвижение повестки устойчивого развития Арктической зоны (экологической стабильности), в том числе неарктическими странами и их объединениями (ЕС).

Активизация добычи станет триггером для усиления конфликтности отношений между заинтересованными сторонами — между государствами региона, позиционирующими себя в качестве приарктических (Китай), заинтересованных в ресурсном и логистическом потенциале государствами. Происходит переоценка роли Арктики в национальных интересах [591, 592]. Так, западные страны переориентируют сотрудничество в Арктическом регионе с повестки по борьбе с изменением климата и международного научно-технологического развития на вопросы обеспечения военно-политических интересов [593, 594].

Распространение клонирования людей

Клонирование — это создание точной генетической копии организма, ткани, клетки или гена. Существует три основных типа клонирования: генетическое клонирование, репродуктивное клонирование и терапевтическое [595].

Успешность клонирования млекопитающих составляет от 10% до 20%. Некоторые эмбрионы умирают еще до имплантации, другие — в ходе беременности. Эмбрионы, доживающие до рождения, умирают вскоре после него или имеют сильные отклонения [596]. Клоны млекопитающих часто страдают серьезными нарушениями здоровья, например, сильным ожирением, дисфункцией иммунной системы и органов, имеют искривленные конечности и другие нарушения, подвержены риску ранней смерти [596].

Терапевтическое клонирование предлагает потенциал для лечения людей, страдающих от болезней или травм. Например, в США оно разрешено с 2009 г. [596]. Это метод сбора эмбриональных стволовых клеток для создания тканей, заменяющих поврежденные или больные [597]. Главным источником эмбриональных стволовых клеток является ткань, образующаяся в течение первых пяти дней после того, как яйцеклетка начала делиться. На этой стадии стволовые клетки извлекаются из клонированных эмбрионов, что приводит к разрушению эмбриона, пока он еще находится в пробирке [598]. В ходе терапевтического клонирования неизбежно уничтожение эмбрионов в пробирке и на сегодняшний день нет подтверждений того, что человеческие эмбрионы создавались для терапевтического клонирования [598].

Клонирование поднимает важные этические вопросы [598]. Основываясь на исследованиях с животными, нельзя в точности определить, какие отклонения или болезни могут возникнуть у человеческого клона. Для появления одного клона, необходимо создать много эмбрионов, большинство из которых не выживут в ходе эксперимента [599].

В ряде стран действует институциональный запрет на клонирование человека. В 1997 г. ЮНЕСКО запретила репродуктивное клонирование человека и предписала государством строгий контроль над опытами в этом направлении. В России действует запрет на клонирование человека, а также запрещен ввоз и вывоз клонированных эмбрионов. В Китае тоже нельзя клонировать человека, но при этом не запрещено генетическое редактирование жизнеспособных эмбрионов [599]. Кроме того, в Китае нет закона о жестоком обращении с животными. Китайские исследователи впервые автоматизировали процесс клонирования, — во всех этапах участвует робот, что повышает успешность клонирования, так как его действия точнее и реже повреждают клетки [599].

Такие факторы, как применение терапевтического клонирования, отставание разработки соответствующего законодательства, технологическое развитие стран, которые пока не имеют возможностей для реализации таких практик, а также страновые морально-ценностные особенности, в равной степени создают как предпосылки, так и барьеры для легализации клонирования людей и принятия этой практики общественностью.

Рост налогов на производство мяса

Обострение климатических проблем и вопросов обеспечения продовольственной безопасности растущего населения мира, популяризация здорового образа жизни и рационального потребления, обеспокоенность темой защиты животных усилили внимание общественности, правозащитников, бизнеса, правительств к влиянию животноводства и

производства мясной продукции [600, 601]. В 2021 г. на глобальную продовольственную систему пришлось более трети выбросов парниковых газов [602], и за большую часть ответственно животноводство [603]. В развитых странах растет поддержка введения налогов на мясные продукты и ограничений их продажи как способа борьбы с изменением климата (meat climate target).

Ежегодно мясомолочная промышленность производит 7,1 Гт парникового газа (14,5% от общего объема антропогенных выбросов); больше всего выбросов от производства говядины — 60 кг эквивалента CO₂ на 1 кг мяса [603]. Вслед за сахаром [604] и табаком мясо может стать объектом повышенного налогообложения (meat tax). Представители партии «зеленых» и социал-демократы в Германии выступают за повышение НДС на мясо с 7% до 19% [605]. Аналогичные меры рассматриваются в Нидерландах, Великобритании, Дании и Швеции [606]. Исследование 2016 г. показало, что 40% налог на говядину и 20% налог на молоко могут компенсировать наносимый окружающей среде ущерб за счет сокращения потребления и, следовательно, производства [607]. Исключение из рациона продуктов животного происхождения может сэкономить около 1,6 трлн долл. расходов на медицину и экологию в мире к 2050 г. [608, 609].

В странах с высоким уровнем дохода потребление молочных и мясных продуктов почти достигло уровня насыщения, что сдерживает дальнейший рост спроса на них. Здесь введение налога на мясо более вероятно, чем, например, в развивающихся странах, где преобладает тенденция перехода к диете с высоким содержанием продуктов животного происхождения [610] и усиливается интерес состоятельных потребителей к источникам высококачественного белка (high quality protein) [611]. Согласно опросу общественного мнения в США в 2022 г., 37% респондентов поддерживают введение дополнительного 10% налога на мясо; представителей поколения Z показатель увеличивается до 62% [612].

Введение налога будет иметь долгосрочные последствия не только для сельского хозяйства, которое является значимым сектором в экономиках многих стран (например, Испании) [613], но и для смежных отраслей. Стоимость конечной продукции вырастет, что негативно скажется на потреблении продукции мясомолочной промышленности.

5 Обзор некоторых моделей и методов принятия решений по предупреждению и противодействию джокерам в зависимости от типов джокеров

5.1 Актуальность

С момента зарождения цивилизации у человечества возникла объективная необходимость своевременного и эффективного ответа на поступающие вызовы и угрозы. С тенденциями развития научно-технического прогресса, сила таких угроз и эффекты от их влияния стали все больше находиться во власти и под контролем человека: борьба с холодом, равно как и добыча пищи больше не являются глобальными проблемами для большинства населения, а изобретение лекарственных препаратов позволяет без последствий выздороветь после известных болезней. Однако, новое время предопределяет и более глобальные угрозы, средств для борьбы с которыми пока ещё может не существовать, а внезапность их наступления не допускает возможности на подготовку к их последствиям. Экономические и политические кризисы, логистические коллапсы, международные конфликты, санкционных ограничения, террористические угрозы — список подобных событий с каждым годом лишь только увеличивается. Отдельного рассмотрения требуют угрозы природного и климатического характера (землетрясения, лесные пожары, опасные гидрологические явления, цунами, резкие похолодания, таяние многолетней мерзлоты и аномальное повышение температуры и пр.), наступление которых не может быть спрогнозировано заблаговременно и с достаточной достоверностью. Каждое из таких событий требует детального изучения и планирования действий, вовлечения в этот процесс компетентных специалистов в самых различных областях знаний.

5.2 Основные характеристики джокеров

Рассмотрение проблемы следует начать с определения терминологии и введения в проблематику принятия решений в условиях неопределённости. Под условным событием в поле глубокой неопределённости определяют «джокер» — это событие с низкой вероятностью наступления, которое может представлять серьёзные и глобальные последствия в будущем. Джокеры обладают некоторыми характеристиками, которые позволяют оценить их масштаб, силу и др.:

Основные характеристики джокеров:

- частота проявления;
- скорость наступления, от которой зависит возможность прогнозирования сроков и масштаба последствий;

- время, когда джокер может проявиться (скоро, в среднесрочной перспективе и в длительной перспективе);
- причина наступления и уровень влияния человека на событие;
- число и понимание факторов.

В качестве примера рассмотрим описание известного события террористической направленности, которое в полной мере можно назвать одним из самых резонансных для общества джокеров современности (Таблица 3).

Таблица 3 — Описания джокера «террористический акт 11 сентября 2001 г. В США»

№ п/п	Характеристика	Описание
1	Частота проявления	Чрезвычайно низкая.
2	Скорость наступления, от которой зависит возможность прогнозирования сроков и масштаба последствий	Настолько высокая скорость наступления, что спрогнозировать сроки и масштаб последствий не представилось возможным, даже оперативные службы не смогли принять меры для минимизации последствий.
3	Время, когда джокер может проявиться (скоро, в среднесрочной перспективе и в длительной перспективе)	Полная непредсказуемость проявления, которая отдаленно связана с террористической активностью и уровнем мер безопасности, однако нет прямой зависимости появления между напряженностью отношений между государством и террористическими организациями.
4	Причина наступления и уровень влияния человека на событие	Террористический акт, направленный на устрашение общества и государства, высокий уровень влияния человека на событие и уровень влияния события на человечество (жертвы, материальные потери и пр.).
5	Число и понимание факторов	Значительное число факторов, описание которых требует проведения отдельных исследований, окончательные факторы возникновения находятся в поле неопределенности, число факторов также может не быть исчерпывающим.

5.3 Глобальные риски

Провести анализ проблемы джокеров и уровня влияния таких рисков можно обратившись к отчетам о глобальных рисках. Отчет о глобальных рисках — это ежегодное исследование, публикуемое Всемирным экономическим форумом (ВЭФ) в преддверии ежегодной встречи Форума в Давосе, Швейцария [614]. В данном отчете собрана информация о действительно значительных рисках мирового масштаба, их взаимосвязи, тенденциям роста в средне и долгосрочной перспективе.

Рассмотрим по каким категориям и насколько серьёзные могут быть такие риски, каких сфер и категорий они касаются в ближайшей перспективе (2 года и 10 лет), а также какие приоритеты выходят со временем на первый план (рисунок 52):



Рисунок 52 — Оценка серьёзности рисков в средней и долгосрочной перспективе. Отчет о глобальных рисках 2023 (The Global Risks Report 2023 18th Edition)

Далее можно ознакомиться с тем, как оцениваются экспертами конкретные проблемы и какое влияние они имеют (рисунок 53).

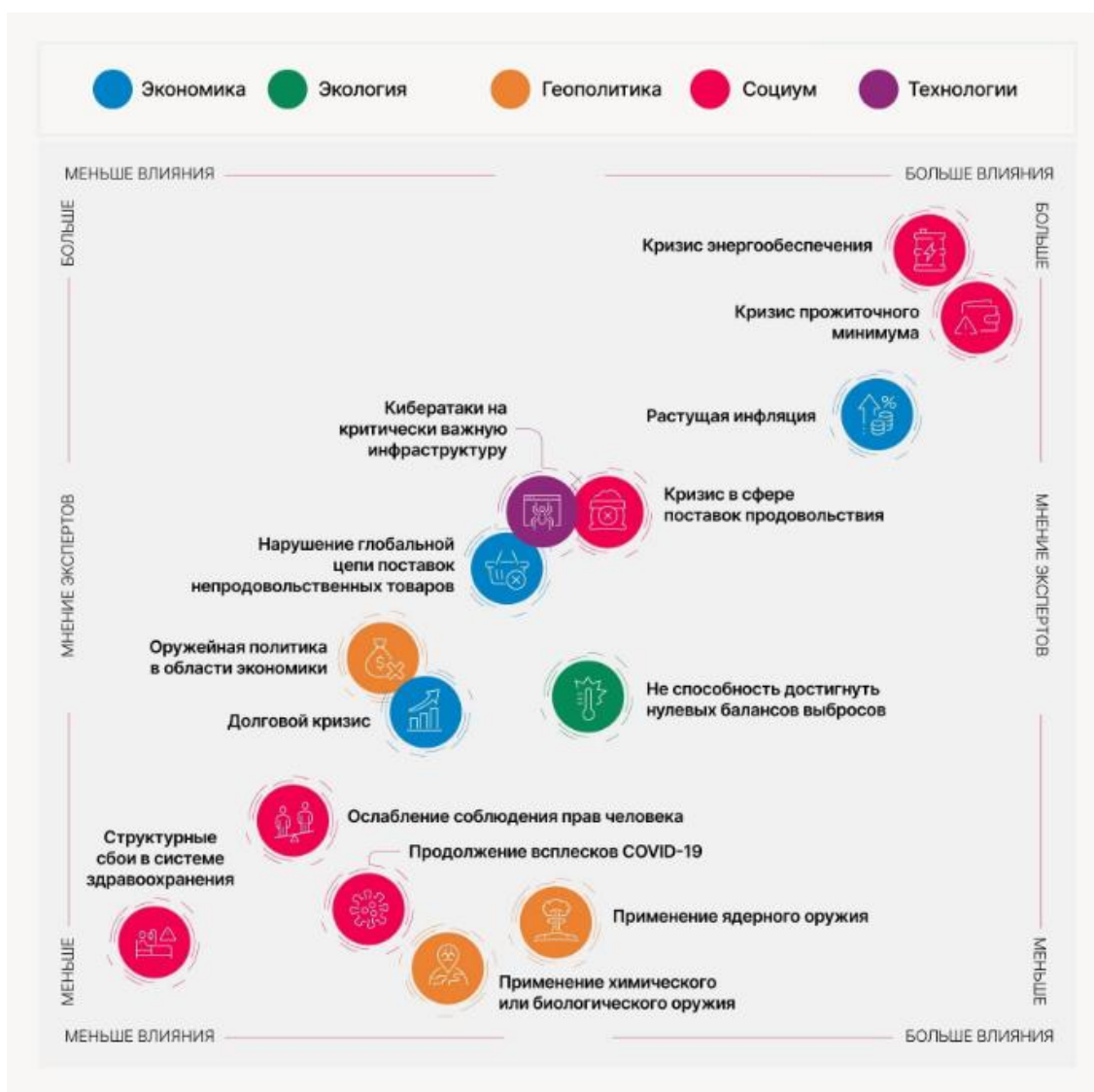


Рисунок 53 — Значимость рисков. Отчет о глобальных рисках 2023 (The Global Risks Report 2023 18th Edition)

В левой нижней части диаграммы отмечены риски, которые, по мнению экспертов, имеют меньший риск возникновения и оказывают меньшее влияние. В правой верхней части диаграммы указаны риски, которые отмечены экспертами как значимые и оказывают большее влияние, расположение в поле определяет отношение к ним.

При глубокой неопределённости мы не можем как предположить, как именно будут развиваться события, так и не имеем достаточно возможности для ответа на такие вызовы, т. е. конкретные решения отсутствуют. Важным является и понимание восприятия этой неопределенности лицами, принимающими решения и самим обществом. Принятие и осознание угрозы — объективно является первоочередным стимулом начала активной работы по подготовке к борьбе с её последствиями (рисунок 54):



Рисунок 54 — Риски и их восприятие. Отчет о глобальных рисках 2023 (The Global Risks Report 2023 18th Edition)

Как это можно увидеть из представленных примеров, характерной особенностью джокеров является то обстоятельство, что применение классических привычных моделей и методов по их предупреждению и противодействию им не является возможным. Это обусловлено тем, что события джокеры, вероятность их возникновения, как и последствия

— находятся в поле глубокой неопределенности. Глубокая неопределенность требует применения специфических инструментов, в связи с чем необходимо введение в проблематику категорирования неопределенностей. Введение в проблематику принятия решений в условиях неопределённости следует начать с категорирования общего понятия «неопределённость» на частичную и, соответственно — глубокую (полную), для которых характерны следующие особенности:

— частичная неопределённость представляет собой вероятные риски с прогнозируемыми последствиями. В случае с частичной неопределённостью 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 решений в подобных случаях осуществляется с применением вероятностных моделей, статистического моделирования и иных математических инструментов;

— глубокая (полная) неопределённость представляет собой маловероятные риски с недооцененными серьёзными последствиями. Характерной чертой является то, что значения ожидаемого результата не могут быть описаны в рамках вероятностных моделей, а в случае попытки их описания — могут иметь слишком серьёзные погрешности, что делает такие расчеты неактуальными. К таким событиям относят ряд природных и климатических угроз, которые не могут быть с достаточной достоверностью спрогнозированы средствами мониторинга. В качестве инструментов для решения задач в поле глубокой неопределённости используется сценарное планирование, оптимистические и пессимистические подходы поиска решений.

Основной проблемой является то обстоятельство, что построение вероятностных моделей практически невозможно для тех случаев, когда события могут происходить вне заданных статистических данных, с высокой скоростью наступления, при этом иметь чрезвычайный по силе эффект и последствия. Между тем, существует определенная возможность применения вероятностных подходов для решения стратегических задач в поле глубокой неопределённости, но, как правило — в качестве вспомогательных инструментов при наличии соответствующих входных данных.

Стоит также рассмотреть и то, как риски, которые, казалось бы, могут находиться в неопределённости — перетекают в глубокую неопределённость. То есть вопросы перехода, стадии трансформации — эволюции уровня неопределённости. Конечно,

эволюция может прослеживаться не во всех типах событий, но в некоторых она достаточно очевидна. Определенный риск может быть уже предоставлен как обществу, так государству в некотором состоянии глубокой неопределённости. Характерный пример — землетрясение или иные внезапные природные катаклизмы. Вопросы прогнозирования таких событий, возможно, с годами, развитием научно-технического прогресса, смогут перейти в поле полной или хотя бы частичной определенности, однако, на текущий момент они остаются в поле глубокой неопределенности. Между тем, определенные закономерности и эволюцию можно проследить и в таком серьезном вопросе, как изменение климата — определенное участие антропогенных факторов, природные наблюдения — все это позволяет строить определенные долгосрочные закономерности. Ознакомимся с предлагаемой эволюцией уровней неопределённости (рисунок 55).

Эволюция уровней неопределённости / Evolution of uncertainty levels

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	

Рисунок 55 — Эволюция уровней неопределённости (Evolution of uncertainty levels) [615]

В таблице достаточно подробно описана эволюция уровней неопределенности по отношению к информации. Мы начинаем с уровня 1, при котором существует полная или практически полная определенность и постепенно можем уходить вправо — доходя до уровня глубокой (полной) неопределенности.

Эта эволюция касается как самого контекста, модели, результатов работы, так и значимости. Т.е. важно проследить это по всей информации объекта, от его содержания — контекста до самих конечных результатов. В таком виде наглядно можно судить о том, как то, что мы знаем перетекает в состояние т.н. — знаем, что не знаем (полная неопределённость).

Приведенный анализ позволил определиться с применяемой терминологией, выявить характерные черты частичной и глубокой неопределенности, сформулировать такие угрозы — джокеры, которые находятся в поле глубокой неопределенности. Далее мы подробно рассмотрим применяемые модели и методы для предупреждения и противодействия джокерам в зависимости от их типов, а также обсудим некоторые известные работы в данном направлении.

5.4 Модели и методы принятия решений в условиях глубокой неопределенности

В качестве инструментов принятия решений в условиях глубокой неопределённости на первый план выходят инструменты сценарного планирования, позволяющие предусмотреть как возможность наступления тех или иных событий, так и конкретные сценарии снижения последствий их наступления, ликвидации последствий, а в некоторых случаях — и предотвращения таких событий. От успеха сценарного планирования зависит то, насколько событие, изначально находящееся в поле глубокой неопределённости, сможет быть воспринято нами как возможное и допустимое к возникновению, а рациональный стратегический план действия не позволит такому событию стать причиной экономического, финансового или социального кризиса, поможет снизить неблагоприятные последствия природных и климатических чрезвычайных ситуаций.

В качестве основных инструментов принятия решений в условиях глубокой неопределённости в настоящее время применяются [615]:

- робастное принятие решений (Robust Decision Making (RDM));
- многоцелевое робастное принятие решений (Multi-Objective Robust Decision Making (MORDM));
- динамическая адаптивная политика (Dynamic Adaptive Policy Pathways (DAPP));
- теория принятия решений с информационным пробелом (Info-GAP (IG) Decision Theory);
- анализ технических (технологических) возможностей (Engineering Options Analysis (EOA));
- масштабирование решений (Decision Scaling (DS));

- переломные моменты адаптации (Adaptation Tipping Point (ATP));
- многоцелевая робастная оптимизация (Many-Objective Robust Optimization (MORO)).

Для принятия решений в условиях глубокой неопределенности и оценки эффективности таких решений также успешно применяется сетевой анализ (network analysis) и оболочечный анализ данных (Data Envelopment Analysis — DEA), что показано в работах по принятию решений для обеспечения продовольственной безопасности, борьбы с природными угрозами и при снижении неблагоприятных последствий ликвидации разливов нефти [616, 617, 618].

Перечисленные инструменты позволяют вырабатывать и принимать надёжные решения в условиях глубокой неопределённости, однако, не являются инструментами планирования, когда речь заходит о масштабных многокритериальных задачах. В качестве инструментов стратегического планирования (деятельности предприятия, программ развития, государственных и негосударственных программ и пр.) применяются следующие инструменты:

- планирование на основе предположений (Assumption-Based Planning (ABP));
- динамическое адаптивное планирование (Dynamic Adaptive Planning (DAP)).

6 Анализ применимости отдельных типов моделей и методов принятия решений к определенным типам джокеров

Необходимость принятия решений в условиях неопределенности, обусловленной климатическими изменениями, киберугрозами, геополитической напряженностью, инфекционными заболеваниями и другими факторами, требует совершенствования инструментария и методологии изучения, прогнозирования и управления последствиями событий с низкой вероятностью возникновения, но большим потенциалом влияния. Чаще всего для оценки вероятности возникновения и масштабов последствий слабопредсказуемых событий используются качественные методы, например, экспертные опросы, фокус-группы, интервью, сценарное моделирование. Даже при использовании математических методов, объектом исследования, становится, как правило, одно определенное событие либо события, характерные для той или иной сферы (сектора) деятельности, то есть однотипные. Задачей же настоящего исследования было показать применимость разных математических моделей к самым разным джокерам, собранным за два года исследования и категоризированным по STEEP. Масштаб задачи и охват событий-джокеров делает исследование уникальным.

В Таблице 4 представлены некоторые из вошедших в базу события-джокеры, представляющие все категории анализа (социальную, научно-технологическую, экономическую, экологическую, политическую), с применимыми к ним математическими моделями.

Таблица 4 — События-джокеры и математические модели, которые могут быть применены к ним

№	Событие-джокер	Возможная математическая модель
1	Новые пандемии	Регрессионные модели – Aleskerov F., Demin S., Myachin A., Yakuba V. (2022) Short-Term Covid-19 Incidence Prediction in Countries Using Clustering and Regression Analysis. In: S. Dzitac, D. Dzitac, F. G. Filip, J. Kacprzyk, M. Manolescu, H. Oros (eds.) 9th International Conference on Computers Communications and Control (ICCCC). 2022. Vol. 1435. Springer, 2023. pp. 333–342. DOI: 10.1007/978-3-031-16684-6_29
2	Вакцина от ВИЧ	Сетевые модели – Aleskerov F. (2017) Power in Network Structures. P. 79-85. DOI: 10.1007/978-3-319-56829-4_7. – Aleskerov F., Shvydun S. (2019) Stability and Similarity in Networks Based on Topology and Nodes Importance. In: Renaud Lambiotte, Luis M. Rocha, Pietro Lió, Hocine Cherifi, Luca Maria Aiello, Chantal Cherifi (eds.) Studies in Computational Intelligence.

Продолжение Таблицы 4

№	Событие-джокер	Возможная математическая модель
2	Вакцина от ВИЧ	Vol. 812: Complex Networks and Their Applications VII. Part 1. Springer. pp. 94–103. DOI: 10.1007/978-3-030-05411-3_8 – Aleskerov F., Meshcheryakova N., Shvydun S., Yakuba V. (2016) Centrality measures in large and sparse networks, 2016 6th International Conference on Computers Communications and Control (ICCCC), Oradea, Romania. P. 118–123. DOI: 10.1109/ICCCC.2016.7496748. – Aleskerov F., Yakuba V. (2020) Matrix-Vector Approach to Construct Generalized Centrality Indices in Networks. Working Paper WP7/2020/01. 21 p. DOI: 10.2139/ssrn.3597948 Aleskerov F., Meshcheryakova N., Shvydun S. Centrality Measures in Networks based on Nodes Attributes, Long-Range Interactions and Group Influence. Working paper WP7/2016/04. Moscow: Higher School of Economics Publ. House, 2016. 44 p. URL: https://wp.hse.ru/data/2016/07/13/1116424088/WP7_2016_04_____.pdf
3	Лекарство от онкологии	Сетевые модели – Aleskerov F. (2017) Power in Network Structures. In: Panos M. Pardalos, Valery A. Kalyagin, Alexey I. Nikolaev, Oleg A. Prokopyev (eds.) Models, Algorithms, and Technologies for Network Analysis, NET 2016. Springer. P. 79–85. DOI: 10.1007/978-3-319-56829-4_7. – Aleskerov F., Shvydun S. (2019) Stability and Similarity in Networks Based on Topology and Nodes Importance. In: Renaud Lambiotte, Luis M. Rocha, Pietro Lió, Hocine Cherifi, Luca Maria Aiello, Chantal Cherifi (eds.) Studies in Computational Intelligence, Vol. 812: Complex Networks and Their Applications VII. Part 1. Springer. P. 94–103. DOI: 10.1007/978-3-030-05411-3_8 – Aleskerov F., Meshcheryakova N., Shvydun S., Yakuba V. (2016) Centrality measures in large and sparse networks, 2016 6th International Conference on Computers Communications and Control (ICCCC), Oradea, Romania. P. 118–123. DOI: 10.1109/ICCCC.2016.7496748. – Aleskerov F., Yakuba V. (2020) Matrix-Vector Approach to Construct Generalized Centrality Indices in Networks. Working Paper WP7/2020/01. 21 p. DOI: 10.2139/ssrn.3597948 Aleskerov F., Meshcheryakova N., Shvydun S. Centrality Measures in Networks based on Nodes Attributes, Long-Range Interactions and Group Influence. Working paper WP7/2016/04. Moscow: Higher School of Economics Publ. House, 2016. 44 p. URL: https://wp.hse.ru/data/2016/07/13/1116424088/WP7_2016_04_____.pdf

Продолжение Таблицы 4

№	Событие-джокер	Возможная математическая модель
4	Наступление эпохи тотального неравенства в обществе (экономического, цифрового, из-за доступа к генным и медицинским технологиям)	Поляризация (для одномерной задачи в политике + многомерная) – Индекс Алескерова-Голубенко Алескеров Ф.Т., Голубенко М.А. (2003) Об оценке симметричности политических взглядов и поляризованности общества. Препринт WP7/2003/04. М.: ГУ ВШЭ, 2003. 24 с. URL: https://www.hse.ru/data/2010/05/05/1216436804/WP7_2003_04.pdf
5	Биотерроризм	– Aleskerov F. T. Power Distribution in the Networks of Terrorist Groups: 2001–2018 // Group Decision and Negotiation. 2020. Vol. 29. No. 3. P. 399–424. DOI: 10.1007/s10726-020-09674-2 – Aleskerov F. T. Power Distribution in the Networks of Terrorist Groups: 2001-2016. In: Local Proceedings of Group Decision and Negotiation 2019. Loughborough, UK: 2019. P. 1–10.
6	Перегрузка архитектуры сети из-за взрывного роста передачи данных	Сетевые модели
7	Полный переход к децентрализованной энергетике	– Belenky A., Bolkunov D. An equilibrium analysis of investment opportunities in a regional electrical grid // Energy Systems. 2016. Vol. 7. No. 4. P. 663–698. DOI: 10.1007/s12667-016-0192-x – Belenky A. A game-theoretic approach to optimizing the scale of incorporating renewable sources of energy and electricity storing systems in a regional electrical grid // Energy Systems. 2015. Vol. 6. No. 3. P. 389–415. – Belenky A. Finding An Optimal Strategy Of Incorporating Renewable Sources Of Energy And Electricity Storing Systems In A Regional Electrical Grid // Energy Systems. 2015. Vol. 6. No. 2. P. 291–308.
8	Локальные миграционные кризисы	Модель по миграционным кризисам – Aleskerov F. T., Meshcheryakova N., Rezyapova A., Shvydun S. Network Analysis of International Migration. In: Kalyagin V. A., Nikolaev A. I., Pardalos P. M., Prokopyev O. (eds.) Models, Algorithms, and Technologies for Network Analysis. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics. Vol. 197. Springer, 2017. P. 177–185. DOI: 10.1007/978-3-319-56829-4_13

Продолжение Таблицы 4

№	Событие-джокер	Возможная математическая модель
9	Продовольственные шоки	Сетевые модели, сценарный анализ – Aleskerov F. T., Seregin M., Tkachev D. (2023) The network analysis of oil trade under deep uncertainty // <i>Procedia Computer Science</i>. No. 221. P. 1021–1028. – Aleskerov F. T., Dutta S., Egorov D., Tkachev D. (2022) Networks under Deep Uncertainty // <i>Procedia Computer Science</i>. Vol. 214. P. 1285–1292. Aleskerov F., Meshcheryakova N., Sergeeva Z., Shvydun S. Centrality Measures and Clustering Analysis in a Retail Food Network. In: Novikov D. (ed.) 2017 IEEE 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies. Vol. 1. M.: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. P. 48–52.
10	Нарушение логистики морских поставок (в результате атаки БПЛА, перекрытия каналов, пр.)	Сетевые модели, сценарный анализ – Aleskerov F. T., Seregin M., Tkachev D. (2023) The network analysis of oil trade under deep uncertainty // <i>Procedia Computer Science</i>. No. 221. P. 1021–1028. DOI: 10.1016/j.procs.2023.08.083 Aleskerov F., Dutta S., Egorov D., Tkachev D. (2022) Networks under Deep Uncertainty // <i>Procedia Computer Science</i>. Vol. 214. P. 1285–1292.
11	Длительные засухи в Бразилии, Индии, Китае	Сетевые модели, анализ среды функционирования – Aleskerov F. T. DEA for the Assessment of Regions' Ability to Cope with Disasters. In: P. M. Pardalos, A. Nagurney, I. S. Kotsireas, A. Tsokas (comp.) <i>Dynamics of Disasters. Impact, Risk, Resilience, and Solutions</i>. Issue 1. Springer, 2021. Ch. 2. P. 31–37. DOI: 10.1007/978-3-030-64973-9_2 Aleskerov F. An Assessment of the Impact of Natural and Technological Disasters Using a DEA Approach. In: Kotsireas I.S. et al. (eds.), <i>Dynamics of Disasters — Key Concepts, Models, Algorithms, and Insights</i>, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, 2016. P. 1–14. URL: https://www.hse.ru/data/2023/05/26/2017670897/%D0%94%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D0%BD%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F%201.pdf
12	Извержение супервулкана	Сценарный анализ, принцип суперпозиции – Altay G., Toker A., Iseri Say A., Akin H., Aleskerov F. (2005) A Cluster-Based Decision Support System For Estimating Earthquake Damage And Casualties // <i>Disasters</i>. Vol. 29 (3). P. 255–276. DOI: 10.1111/j.0361-3666.2005.00290.x Aleskerov F., Baiborodov N., Demin S., Richman M., Shvydun S., Trafalis T., Yakuba V. (2020) Constructing An Efficient Machine Learning Model For Tornado Prediction // <i>International Journal of Information Technology and Decision Making</i>. Vol. 19. No. 5. P. 1177–1187. DOI: 10.1142/S0219622020500261

Продолжение Таблицы 4

№	Событие-джокер	Возможная математическая модель
13	Супермасштабные аварии на особо опасных объектах	Анализ среды функционирования Aleskerov F. T., Demin S. (2021) DEA for the Assessment of Regions' Ability to Cope with Disasters. In: P. M. Pardalos, A. Nagurney, I. S. Kotsireas, A. Tsokas (Comp.) Dynamics of Disasters. Impact, Risk, Resilience, and Solutions. Is. 1, Ch. 2, P. 31–37. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-64973-9_2
14	Исчезновение ледников в Восточной Африке	Модели распределения Aleskerov F. T., Shvydun S. Allocation of Disputable Zones in the Arctic Region // Group Decision and Negotiation. 2019. Vol. 28. No. 1. P. 11–42.
15	Коллапс водных экосистем	Дифференциальные уравнения в частных производных, модели распределения – Работы по экологии: загрязнения (анализ региональных загрязнений), распространение воздушных загрязнений Aleskerov F. T., Shvydun S. Allocation of Disputable Zones in the Arctic Region // Group Decision and Negotiation. 2019. Vol. 28. No. 1. P. 11–42.
16	Утрата Антарктидой статуса заповедной территории	Модели распределения – Aleskerov F. T., Shvydun S. A Mathematical Approach to Conflict Resolution in the Arctic Region // 3rd IEEE International Conference on Cybernetics (CYBCON). Exeter: IEEE, 2017. P. 145–150. Aleskerov F. T., Shvydun S. Allocation of Disputable Zones in the Arctic Region // Group Decision and Negotiation. 2019. Vol. 28. No. 1. P. 11–42.
17	Утрата Арктикой статуса заповедной территории	Модели распределения – Aleskerov F. T., Shvydun S. A Mathematical Approach to Conflict Resolution in the Arctic Region // 3rd IEEE International Conference on Cybernetics (CYBCON). Exeter: IEEE, 2017. P. 145–150. Aleskerov F. T., Shvydun S. Allocation of Disputable Zones in the Arctic Region // Group Decision and Negotiation. 2019. Vol. 28. No. 1. P. 11–42.
18	Длительные засухи в Бразилии, Индии, Китае	Анализ среды функционирования – Aleskerov F. T. DEA for the Assessment of Regions' Ability to Cope with Disasters. In: P. M. Pardalos, A. Nagurney, I. S. Kotsireas, A. Tsokas (comp.) Dynamics of Disasters. Impact, Risk, Resilience, and Solutions. Issue 1. Springer, 2021. Ch. 2. P. 31–37. DOI: 10.1007/978-3-030-64973-9_2 Aleskerov F. An Assessment of the Impact of Natural and Technological Disasters Using a DEA Approach. In: Kotsireas I.S. et al. (eds.), Dynamics of Disasters — Key Concepts, Models, Algorithms, and Insights, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, 2016. P. 1–14. URL: https://www.hse.ru/data/2023/05/26/2017670897/%D0%94%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D0%BD%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F%201.pdf

Продолжение Таблицы 4

№	Событие-джокер	Возможная математическая модель
19	Использование современных технологий для управления миграционными потоками	Сетевые модели – Алескеров Ф. Т. Анализ влияния стран в сети международной миграции // Политическая наука. 2016. № 4. С. 137–158. – Aleskerov F. T. Polarization And Optimal Allocation Of Migrants / NRU Higher School of Economics. Working Paper WP7/2017/01 Series WP7 Mathematical methods for decision making in economics, business and politics. 2017, 28 p. – Aleskerov F. T. Network Analysis Of International Migration / NRU Higher School of Economics. Working Paper WP7/2016/06 Series WP7 Mathematical methods for decision making in economics, business and politics. 2016, 56 p. – Aleskerov F. T., Meshcheryakova N., Rezyapova A., Shvydun S. Network Analysis of International Migration. In: Kalyagin V. A., Nikolaev A. I., Pardalos P. M., Prokopyev O. (eds.) Models, Algorithms, and Technologies for Network Analysis. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics. Vol. 197. Springer, 2017. P. 177–185. DOI: 10.1007/978-3-319-56829-4_13
20	Полная блокада Тайваня Китаем	Сетевые модели – Алескеров Ф. Т., Курапова М. С., Мещерякова Н. Г., Миронюк М. Г., Швыдун С. В. Сетевой подход в изучении межгосударственных конфликтов // Политическая наука. 2016. № 4. С. 111–136.
21	Появление ресурсных автаркий	Сетевые модели, индексы дальних и ближних взаимодействий – Aleskerov F. T., Seregin M., Tkachev D. (2023) The network analysis of oil trade under deep uncertainty // Procedia Computer Science. No. 221. P. 1021–1028. Aleskerov F. T. Assessment of Exporting Economies Influence on the Global Food Network. In: S. Butenko, Pardalos P. M., V. Shylo (comp.) Optimization Methods and Applications, In Honor of Ivan V. Sergienko's 80th Birthday, Springer Optimization and Its Applications. Vol. 130. 2017. P. 1–10. DOI : https://doi.org/10.1007/978-3-319-68640-0_1
22	Трансграничные водные конфликты	Имитационное моделирование, модели распределения – Алескеров Ф.Т., Демин С. С., Швыдун С. В. (2018) Анализ территориальных интересов стран в Баренцевом море В. В. Шевченко, А. В. Вахренев (ред.) Труды IX Московской международной конференции по исследованию операций (ORM2018). Т. 2., М.: ООО «Макс Пресс», 2018. С. 443–447. – Demin S., Aleskerov F. (2018) Modelling Possible Oil Spills in the Barents Sea and their Consequences. In: Pardalos P. M., I. Kotsireas, A. Nagurney (eds.) Dynamics of Disasters. Springer International Publishing, 2018. Ch. 2. P. 47–56. – Aleskerov F. T., Shvydun S. Allocation of Disputable Zones in the Arctic Region // Group Decision and Negotiation. 2019. Vol. 28. No. 1. P. 11–42.

Продолжение Таблицы 4

№	Событие-джокер	Возможная математическая модель
22	Трансграничные водные конфликты	– Aleskerov F. T., Shvydun S.A. Mathematical Approach to Conflict Resolution in the Arctic Region, in: 2017 3rd IEEE International Conference on Cybernetics (CYBCON). Exeter: IEEE, 2017. P. 145–150.

Приведенные в предыдущем разделе модели и методы по предупреждению и противодействию джокерам будут подробно рассмотрены ниже с точки зрения анализа возможности их применения в зависимости от типов джокеров.

6.1 Робастное принятие решений (Robust Decision Making (RDM))

Это итеративная система анализа и принятия решений в условиях неопределённости, которая позволяет выявлять наиболее надёжные стратегии, охарактеризовать уязвимости таких стратегий и оценить компромиссы между ними.

Робастность (в переводе с англ. robustness, от robust — «крепкий», «сильный», «твёрдый», «устойчивый», «надёжный») — свойство, характеризующее независимость влияния на результат исследования различного рода выбросов, устойчивости к помехам.

Робастный метод — это метод, направленный на выявление и учёт неблагоприятных факторов, обстоятельств, адаптации к ним, снижение их влияния на результат.

Что такое робастное принятие решений на практике? Это:

- набор концепций, процессов и вспомогательных инструментов, позволяющих проводить аналитическую работу по созданию вариантов возможных решений в условиях неопределённости современного мира;
- моделирование концепций и процессов, которые используют вычисления не для того, чтобы сделать лучшие прогнозы, а чтобы принимать надёжные решения в условиях неопределённости;
- инструмент обсуждения и анализа, который позволяет достичь решения, которое устраивает все заинтересованные стороны;
- система, в основе которой непрерывная обработка данных вариантов, с учетом изменчивой среды неопределённости;
- возможность использование расширенного варианта RDM — MORDM (Multi-Objective Robust Decision Making), позволяющего ещё более расширить различные варианты принятия решения сразу на множество объектов, являющихся предметом анализа.

Примеры использования робастного метода на практике в аспекте проводимого исследования:

- планирование деятельности органов власти или предприятий с преобладающей целью — обеспечение работы в условиях непредвиденных серьёзных воздействий (климатических, природных, военных и пр.);
- план бесперебойной работы органов власти или предприятий в условиях сложной экономической обстановки (кризис, санкции), при котором на первый план выходит достижение хоть и не высоких, но уверенных и достаточных результатов;
- функционирование предприятий и органов власти, которые отвечает за жизнеобеспечение (транспорт, здравоохранение, аварийные и коммунальные службы и пр.).

6.2 Многоцелевое робастное принятие решений (Multi-Objective Robust Decision Making (MORDM))

Этот инструмент позволяет множество раз проверять работу моделей для стресс-тестирования предлагаемых решений в отношении широкого диапазона вероятных вариантов будущего. Полученная информация позволяет лицам, принимающим решения определять, формулировать, оценивать, изменять и выбирать надёжные стратегии — те, которые соответствуют целям по множеству сценариев. Основное отличие от RDM — наличие одновременно сразу нескольких и более целей в рамках одного планирования, а также возможность оценки влияния параметров при достижении целей друг на друга.

6.3 Планирование на основе предположений (Assumption-Based Planning (ABP))

Это метод планирования, позволяющий планировать решения в условиях неопределённости, учитывая варианты исхода событий и неожиданность получения результатов. Отличия от обычного классического планирования — в обычном планировании, происходит перенос прошлого, как правило, успешного опыта на будущее время, с учётом тех или иных возможных факторов. В случае, когда нет прошлого опыта, как это может быть при только начавшем свою деятельность предприятии, при принятии решения в новых условиях или условно неизвестное среде, то требуется производить планирование на основе предположений.

Наиболее известные методы планирования на основе предположений:

- планирование на основе критических предположений (Critical Assumption Planning (CAP)) от компании D. Dunham & Co. [619];

- планирование на основе открытий [620];
- планирование на основе предположений от корпорации RAND: повышает значимость неопределенностей, что наиболее важно для принципиально новых проектов и вопросов, в целях объективного указания лицам, принимающим решения на отсутствие точных знаний в целях необходимости повышения внимания к неопределённым [621].

Примеры планирования на основе предположений.

Планирование на основе критических предположений

Пример: городская электроподстанция (на случай чрезвычайной ситуации природного или техногенного характера).

Определение критического предположения (триггера): авария, прекращение подачи электроэнергии потребителям.

Программа тестирования: система выявления неисправностей, контрольные замеры и пр.

Запрос на финансирование: затраты на создание аварийной (резервной) подстанции, проведение мер повышения безопасности (недопущения аварии).

Выполнение тестирования: проверка устойчивости модернизированной системы безопасности, учебная проверка отключения основной части электростанции и переход на резервную.

Повторная оценка: электроподстанция может работать на резервной подстанции, риск аварии снижен благодаря повышению мер безопасности. Время резервной работы составляет А минут. Если время резервной работы не соответствует требованиям или поставленной цели — провести процедуру заново и выбрать как улучшить решение.

Планирование на основе открытий

Пример: городская электроподстанция (для перспективного развития).

Цель: расширение зоны обслуживания станции с 50 кварталов до 70 кварталов.

Порядок ключевых действий: создать поэтапный план развития, наметить ключевые точки развития, связать их с получением прибыли от расширения зоны обслуживания, финансировать расширение только при получении дополнительных доходов по результату расширения.

Установить точки расширения — до 55 кварталов, до 65 кварталов и окончательную — 70 кварталов.

Выделять денежные средства на расширение только после успешного получения прибыли после расширения до 55 кварталов. После достижения точки расширить зону обслуживания до 65 кварталов. В случае успеха шага — до 70 кварталов.

Планирование на основе предположений от RAND

Пример: электростанция.

Цель: расширение зоны обслуживания станции с 50 кварталов до 70 кварталов.

Порядок ключевых действий: создать план развития и выделить в нём все проблемные вопросы. Провести анализ и выделить такие вопросы, которые попадают в поле глубокой неопределённости. Проводить работу по выведению данных вопросов из поля глубокой неопределённости, заменять на иные методы и решения развития. В случае невозможности сконцентрировать все внимание на вопросах, находящихся в поле неопределённости и попытаться спроектировать план действий на случай наступления возможных непредвиденных сценариев развития событий.

6.4 Динамическое адаптивное планирование (Dynamic Adaptive Planning (DAP))

Это планирование, при котором план действий адаптируется к новым условиям с помощью процедур перепроверки и корректировки в процессе его выполнения.

Особенности DAP:

- ДАП — максимально возможное выявление неопределённостей на начальных этапах и постоянная адаптации плана действия в процессе его исполнения;
- ДАП — система мониторинга состояния исполнения плана действий, а также наличие заранее спланированных решений на случай наступления критических ситуаций (триггеров).

Примеры планирования на основе ДАП: планирование деятельности органов власти или предприятий с учётом возможных неопределённостей (как частичных, так и глубоких), при этом на все возможные неопределённости заранее (насколько это возможно предусмотреть) составлены планы действий (контрмер);

В процессе исполнения плана (работы учреждения) существует отдел качества (условная система мониторинга), которая отслеживает качество и контролирует — адаптирует дальнейшие действия исполнения с учетом всех возникающих недостатков, неопределённостей. В случае, если значение установленных параметров выходят за определенные критические точки или интервалы (триггеры) — выполняются заранее предусмотренные действия и так до стабилизации работы плана.

Динамическое адаптивное планирование в отличие от классического планирования на основе предположений (Assumption-Based Planning (ABP)), имеет большую востребованность, благодаря наличию выработанных структурированных алгоритмов планирования и предлагаемых вспомогательных инструментов, а также характерной особенностью — динамической адаптации и постоянной перепроверке исполнения, что позволяет плану быть более приспособленным к событиям, которые могут происходить неожиданно, внезапно и находиться в поле глубокой неопределённости.

Различные инструменты, способы и методы планирования, основанные, в том числе, на известных математических моделях в качестве вспомогательных инструментов — существуют достаточно давно и, фактически, являются основами для рассматриваемого нами ДАП. Так, для планирования и выработки государственных управленческих решений используется достаточно распространённые SWOT и PESTLE анализ, диаграммы Ганта, но применение этих инструментов лишь помогает систематизировать и упорядочить имеющиеся сведения, а не предусматривать долгосрочные изменения [622]. До определённого момента, учёными и практиками не принималась важность классификации событий по уровню частичной и глубокой неопределённости, а возможность решения задач наступления внезапных, необычных и, порой, разрушительных событий — не рассматривалась с позиции использования многокритериального сценарного подхода.

Наличие критических точек в реализации плана по ДАП предполагает то, что такие события могут происходить в поле глубокой неопределённости и требуют к себе особого внимания, которое заключается в разработке алгоритмов динамического адаптивного наблюдения за исполнением действий и механизмов их перепроверки, что в итоге и послужило основой для ДАП. Значительный вклад в развитие ДАП внесён работами по сценарному анализу [623]. В качестве полноценного научного подхода ДАП было впервые представлено в 2001 г. [624]. В дальнейшем вклад в расширение функционала ДАП был внесён [625]. Подход ДАП используется как инструмент принятия решений в условиях глубокой неопределённости, в связи с чем его совершенствование может иметь значительный потенциал для решения самого широкого ряда задач, как в государственном, так и коммерческом секторе.

ДАП успешно применялось для решения ряда стратегических задач государственного управления в зарубежных странах: управление рисками при наводнениях в Нидерландах в связи с изменением климата [626], при планировании внедрения инновационного городского транспорта [627], при оценке загруженности дорог [628], в

интеллектуальных системах адаптации скорости [629], при планировании использования транспорта на магнитной подушке [628]. Концепция ДАП и её применение для решения актуальных экономических задач бизнес-планирования вошли в программу курса «Специальные главы теории принятия решений» [630].

6.5 Динамическая адаптивная политика (Dynamic Adaptive Policy Pathways (DAPP))

Это некоторая процедура (политика) принятия решений, которая позволяет адаптироваться к меняющимся условиям с течением времени. Разрабатывается с учётом диапазона вероятных вариантов будущего, предназначена для изменения с течением времени по мере поступления новых сведений и использует автономную реакцию на неожиданные события.

Пример ДАПП: политика решений компании в рамках исполнения плана уже заранее предполагает наличие определенных отклонений в плане, однако, диапазон таких отклонений изначально определён. Для каждого диапазона существует автономная реакция, которая позволяет продолжать деятельность в рамках достижения цели выполнения плана, не допуская его провала.

Пример исполнения — в случае, если объёмы реализуемой продукции будут находиться в интервале от 5 до 10 шт. в час, то применяется план дальнейшего увеличения оборота А, в случае, если объёмы — от 11 до 20 шт. в час, то применяется альтернативный план увеличения В, однако, в случае наличия спроса менее 5 ед. шт. в час — план пересматривается. Т.е. установленные диапазоны задают определенные варианты решений, политику действий.

6.6 Другие подходы принятия решений в условиях глубокой неопределенности

Теория принятия решений с информационным пробелом (Info-GAP (IG) Decision Theory). Информационный пробел — несоответствие между тем, что известно и тем, что необходимо знать для принятия надёжного решения.

Этот подход позволяет оптимизировать устойчивость к отказу или возможность непредвиденных потерь, в частности применяя анализ чувствительности типа радиуса устойчивости (stability radius) к отклонениям в значении данной оценки заданного параметра. По своему принципу имеет схожесть с максиминным критерием Вальда.

Анализ технических (технологических) возможностей (Engineering Options Analysis (EOA)). Этот анализ основан на компьютерном моделировании взаимодействия возможных неопределённостей и на продуманных ответах руководства на

события по мере их развития. Для каждой комбинации неопределённых событий и управленческих решений рассчитываются связанные с этим последствия.

Масштабирование решений (Decision Scaling (DS)). Это подход основан на неявном признании неотъемлемой неопределённости будущего. Цель состоит в том, чтобы охарактеризовать неопределенность с точки зрения её последствий для решений и определить лучшие решения с учётом этой неопределённости. Используется метод Монте-Карло.

Переломные моменты адаптации (Adaptation Tipping Point (ATP)). Это подход позволяет выявить такие условия, при которых проводимые в настоящее время действия не позволяют достичь заявленных целей.

Многоцелевая робастная оптимизация (Many-Objective Robust Optimization (MORO)). Это универсальный вычислительный инструмент для разработки адаптивных планов. Используется в сочетании с DAP и DAPP. Не включает в себя проведения анализа уязвимостей.

Рассмотрим некоторые типы джокеров и предполагаемые для применения инструменты (модели и методы) (Таблица 5):

Таблица 5 — Возможность применения инструментов принятия решений в условиях глубокой неопределённости к определенным типам джокеров

№ п/п	Тип джокера (события)	Предполагаемый к применению инструмент (метод, модель, теория)
1.	Природные чрезвычайные ситуации (наводнения, извержения вулканов, землетрясения, цунами, изменения климата)	Динамическое адаптивное планирование (DAP); Робастное принятие решений (RDM); Теория информационного пробела (Info-GAP)
2.	Продовольственные шоки и нарушения цепей поставок продовольствия (по логистическим причинам, по причинам вымирания видов и сортов и пр.)	Сетевой анализ
3.	Миграционные кризисы	Сетевой анализ
4.	Нарушение логистики поставок (автомобильной, морской)	Сетевой анализ
5.	Перегрузка архитектуры сети из-за взрывного роста передачи данных	Робастное принятие решений (RDM)
6.	Коллапс водных экосистем	Сетевой анализ
7.	Таяние ледников и повышение уровня воды в океанах	Теория информационного пробела (Info-GAP); Сетевой анализ

Можно также отметить некоторые сценарные подходы, используемые для принятия решений в условиях глубокой неопределенности, которые нашли свое применение в последних работах в области предотвращения и снижения последствий чрезвычайных ситуаций (рисунки 56-58).

A multifactorial conceptual scenario model of the rescue services response in case of volcanic eruption

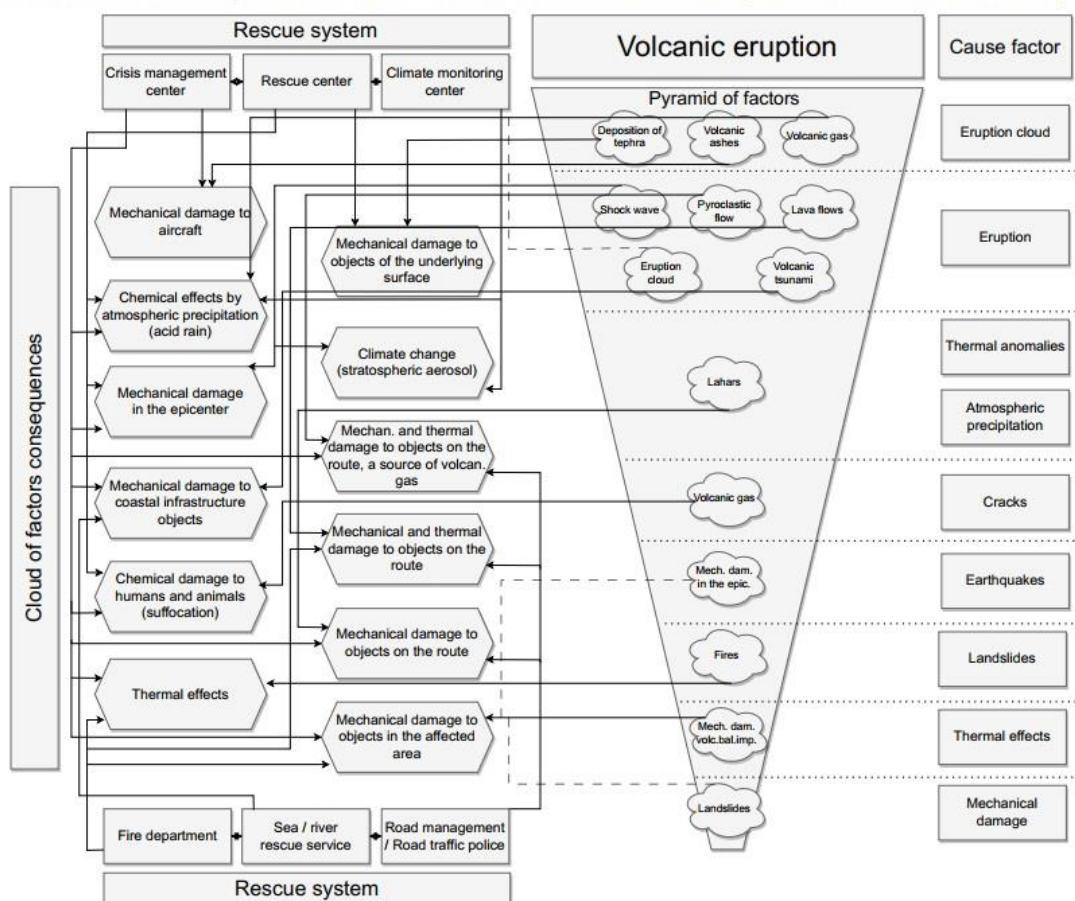


Рисунок 56 — Многофакторная концептуальная сценарная модель реагирования служб спасения на случай извержения вулкана

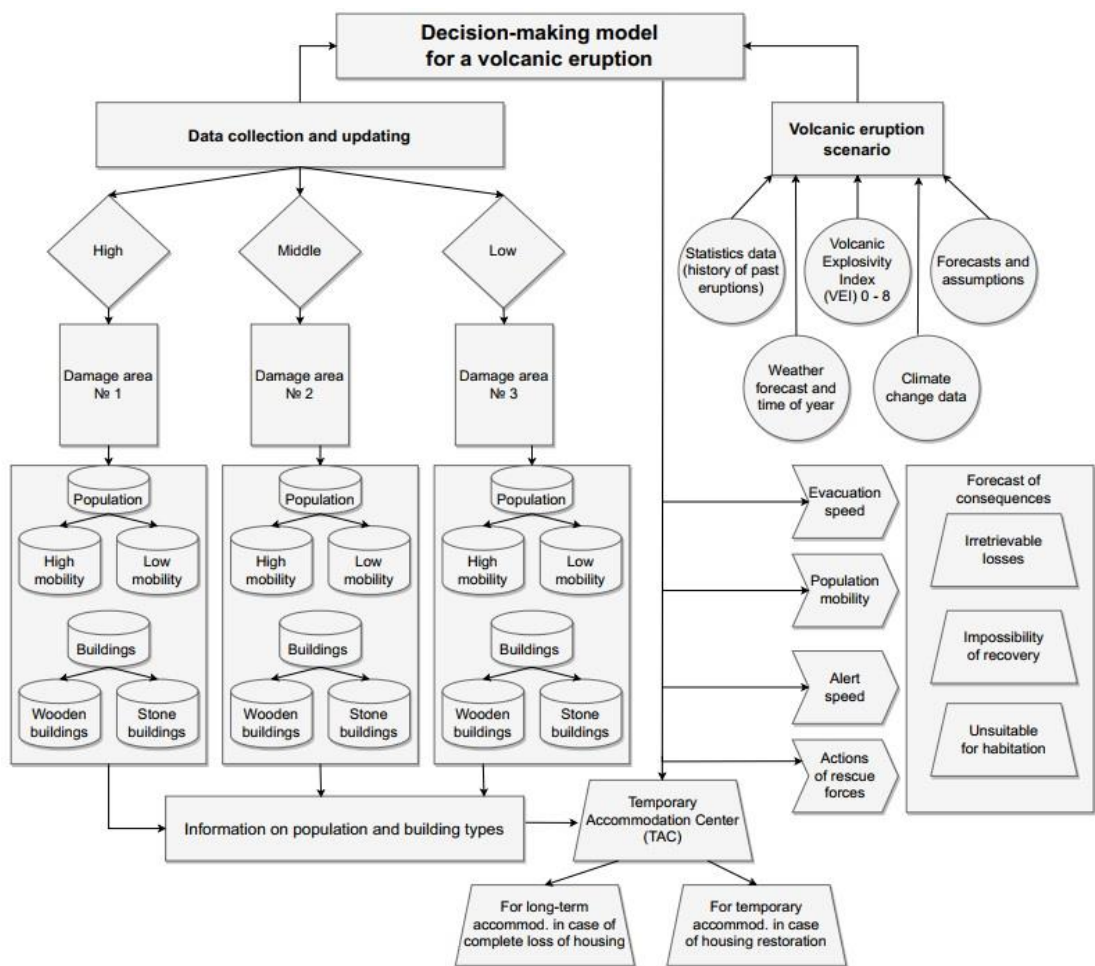


Рисунок 57 — Модель поддержки принятия решений на случай извержения вулкана

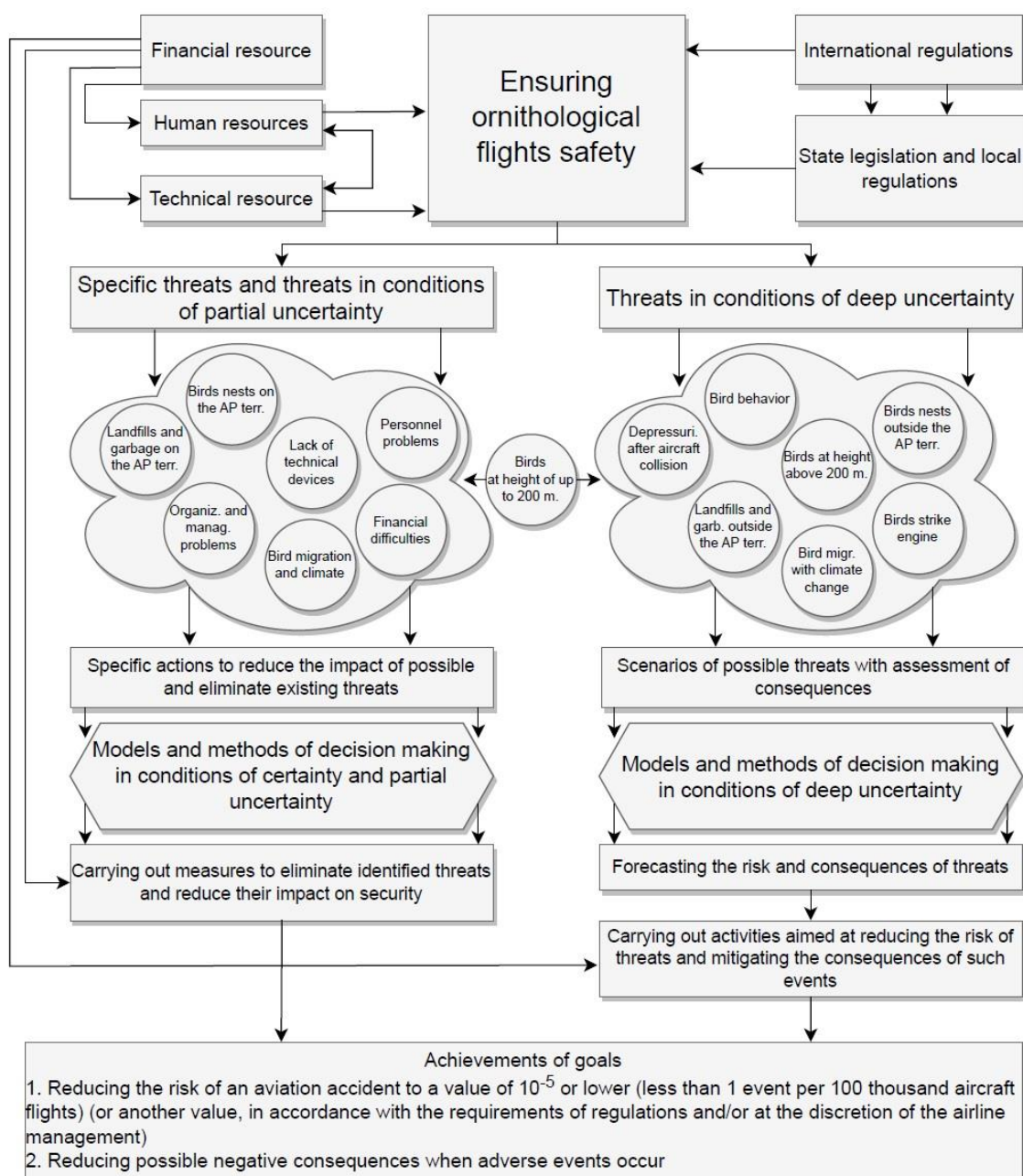


Рисунок 58 — Модель обеспечения орнитологической безопасности полётов в условиях частичной и глубокой неопределенности

6.7 Резюме

Принятие эффективных решений должно обеспечивать устойчивость и социальное благополучие граждан в максимально возможных вариантах развития будущего, даже в тех случаях, когда на первый взгляд наступление таких непредвиденных событий может восприниматься лицами, принимающими решения, с долей скептицизма. Особое внимание следует уделять принятию решений в тех случаях, когда они связаны с внешней угрозой. Внешняя угроза может проявляться не только в виде агрессивных действий отдельных злоумышленников и государств, но, исходить из вполне естественных климатических,

природных и космических угроз, которые, могут нанести не менее разрушительный вред для граждан, чем целенаправленные военные действия. Именно перечисленные обстоятельства и невозможность с достаточной вероятностью спрогнозировать наступление таких событий, позволяет относить их к полю глубокой неопределённости, для принятия решений в котором требуется применение новых сценарных подходов.

Принятие решений в условиях глубокой неопределённости является сложной задачей. В большинстве случаев мы лишь можем попытаться предполагать вероятность наступления тех или иных событий, а также следующих за ними последствий, однако прогнозы о сроках, силе и значимости таких событий могут находиться в слишком больших интервалах. В настоящее время не существует универсальной модели, которая позволяет принимать наиболее надёжные или оптимальные решения в условиях глубокой неопределённости. Между тем, существуют методы и инструменты, которые позволяют взглянуть на проблему принятия решений в условиях глубокой неопределённости с различных сторон. Одни инструменты предоставляют возможность оценивать вероятности исходя из предполагаемых оптимистических или пессимистических критериев, другие несут в качестве основной цели надёжность.

Результаты проведенных исследований также нашли свое отражение в других статьях [631].

7 Пилотирование платформенных моделей и методов принятия решений для оценки и прогнозирования джокеров различных типов

7.1 Разработка новых моделей и методов по выявлению критических рёбер (путей, подграфов) сетевых структур

7.1.1 Анализ критических участков логистических сетей в условиях санкционных ограничений и наступления чрезвычайных ситуаций природного характера

Рассматривается сетевая модель транспортных связей (дорог) между населенными пунктами в условиях чрезвычайной ситуации, выражающейся в удалении из сети одной дуги (разрушение дороги), или уменьшение веса дуги (уменьшение пропускной способности дороги). Разрабатывается модель влияния пропускной способности одной дуги на доступность одной/несколько вершин с учетом также характеристик вершин (количества населения).

Рассмотрим пример сети.

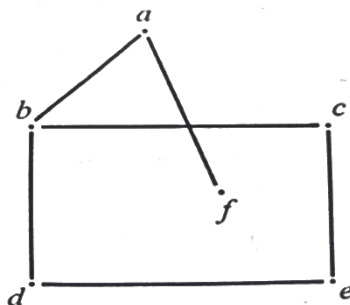


Рисунок 59 — Пример сети дорог

Пусть пропускная способность дороги между b и c до аварии была $w_{bc}=10$, и уменьшилась до 6 . При этом объем грузов между a и e принимается за $q_{ae}=50$. Пример одной из постановок задачи, как изменение пропускной способности w_{bc} повлияет на возможность доставки грузов q_{ae} , как можно моделировать такое влияние. Можно предложить следующий вариант моделирования влияния пропускной способности дорог на доступность населенных пунктов. Рассматривается сеть дорог между населенными пунктами. Известные модели центральности оценивают центральность вершин сети. Для оценки центральности дорог предлагается следующая процедура. В сети дорог дугам (дорогам) присвоены веса, отражающие пропускную способность дорог, вершинам (населенным пунктам) объемы грузов. Данные могут быть нормированными. На основании сети дорог формируется сеть населенных пунктов следующим образом. Строится новая сеть, в которой вершины становятся дугами, а дуги

вершинами, объемы грузов, таким образом, назначаются, как веса дуг. Модели центральности, применяемые к оценке центральности вершин, таким образом оценивают центральность дорог. Процедуру можно представить в виде следующей блок-схемы.

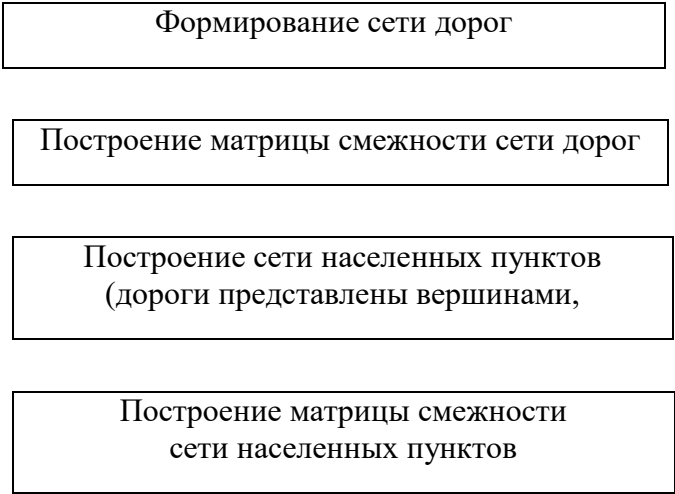


Рисунок 60 — Блок-схема формирования сети населенных пунктов

Рассмотрим пример сети дорог, представленный на Рисунке 61.

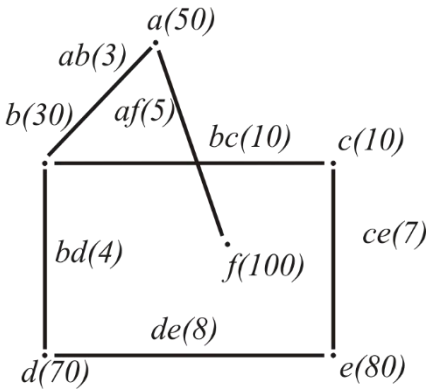


Рисунок 61 — Пример сети дорог с весами дуг и параметрами вершин

Матрица смежности сети выглядит следующим образом.

Таблица 6 — Матрица смежности исходной сети дорог

	a	b	c	d	e	f
a		3				5
b	3		10	4		
c		10			7	
d		4			8	
e			7	8		
f	5					

Построим сеть населенных пунктов, приведем список дуг такой сети, при этом веса таких дуг, являющиеся парами дорог, будут, фактически, параметрами населенных пунктов. Удобнее сохранить исходные обозначения дорог и населенных пунктов.

Таблица 7 — Список дуг сети населенных пунктов

Пары дорог (дуги сети населенных пунктов)	Населенный пункт (вес дуги сети населенных пунктов)
ab-af	a(50)
ab-bc, ab-bd, bc-bd	b(30)
bc-ce	c(10)
bd-de	d(70)
ce-de	e(80)
нет	f(100)

Для примера приведем также значения классических индексов центральности для дорог. Индексы рассчитываются для неориентированной сети, пары дорог, имеющие общий населенный пункт, имеют одинаковый вес.

Таблица 8 — Центральность дорог в сети населенных пунктов

Road	PageRank	Betweenness	Closeness
ab	0.19	0.40	0.71
af	0.10	0	0.45
bc	0.12	0.25	0.71
bd	0.21	0.25	0.71
ce	0.14	0.05	0.56
de	0.23	0.05	0.56

7.1.2 Аналитический обзор результатов по выявлению критических рёбер (путей, подграфов) сетевых структур

В данном пункте отчета приведен аналитический обзор моделей устойчивости логистических сетей. Данной теме посвящен ряд публикаций, мы рассмотрим только те из них, в которых предложены модели для выявления критических ребер.

Предлагается, используя компьютерную программу для симуляции землетрясений USGS ShakeMaps и базы Census Bureau's TIGER Database о транспортной сети Лос-Анджелеса и Сан-Франциско, моделировать возможный характер разрушений дорожной сети [632]. Применяется сценарный подход, предложен метод, названный Vulnerability Surface (VS), в котором повреждение сети оценивается, как площадь полигональной диаграммы ухудшений индексов сети, таких, как, например, длина разрушенных дорог, уменьшение индекса центральности по промежуточности сети (betweenness centrality), доля населения без доступа транспорта и т.д.

В [633] предложен индекс эффективности сети.

$$V = \frac{E - E_t}{E}, \quad (2)$$

где

$$E = \frac{1}{N(N-1)} \frac{Population^2}{NumOfNodes^2} \sum_{i \neq j} \frac{P_i P_j}{d_{ij}}. \quad (3)$$

Здесь:

d_{ij} — длина кратчайшего пути между вершинами i и j ,

P_i — население в вершине i ,

Population — общее население,

NumOfNodes — общее число населенных пунктов (вершин сети).

Данные для исследования были собраны путем рассылки опросов по местным администрациям дорог Чехии. За три года 2011-2013 было собрано 2752 записи о повреждениях дорог из-за чрезвычайных ситуаций.

Кроме индекса эффективности сети, в работе предлагается также использовать такие показатели, как число удаленных дуг сети (пострадавших сегментов дорог между населенными пунктами), число компонент связности, отношение длин дорог в сети до и после разрушений, доля населения, потерявшего доступ к транспортной сети.

Предложен индекс доступности для населенных пунктов сети дорог, учитывающий длину кратчайшего пути и объем транспортного сообщения между населенными пунктами [634]. Задача формулируется для штата Мэриленд, США, населенные пункты взяты, как транспортные центры графств (всего 23 населенных пункта).

Индекс доступности представляет собой оценку изменения доступности населенного пункта для сценария по сравнению с исходной доступностью. Под сценарием подразумевается изменение длины кратчайшего пути и объема движения транспорта между рассматриваемым населенным пунктом и всеми остальными населенными пунктами. Для заданного сценария чрезвычайной ситуации, индекс можно представить в следующем виде

$$A_i = \alpha p_i \sum_{j \neq i} p_j D_{ij} + (1 - \alpha) p_i \sum_{j \neq i} p_j T_{ij} \quad (4)$$

Здесь:

A_i — индекс доступности для населенного пункта i в заданном сценарии,

p_i — доля населения населенного пункта i ,

D_{ij} — обратное кратчайшее расстояние между i и j , при условии сценария, взятое, как доля от суммы такого обратного кратчайшего расстояния ко всем остальным населенным пунктам, т.е.

$$D_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{i \neq k} d_{ik}^*}, \quad (5)$$

где d_{ij} — обратное кратчайшее расстояние между i и j при условии сценария чрезвычайной ситуации, и d_{ik}^* — обратное кратчайшее расстояние между i и k в нормальных условиях. При этом обратное кратчайшее расстояние берется с коэффициентом β , т. е. $d_{ij} = 1 / sd_{ij}^\beta$, где sd_{ij} — кратчайшее расстояние между i и j .

Коэффициент β является параметром модели, имеет фиксированное значение, равное примерно 0.4, взятое из соображений гравитационных оснований модели.

T_{ij} — объем движения транспорта по кратчайшему пути между i и j , при условии сценария, взятый, как доля от суммы такого объема транспорта ко всем остальным населенным пунктам, т.е.

$$T_{ij} = \frac{t_{ij}}{\sum_{i \neq k} t_{ik}^*}, \quad (6)$$

где t_{ij} — объем транспорта по кратчайшему пути между i и j при условии сценария чрезвычайной ситуации, и t_{ik}^* — объем транспорта по кратчайшему пути между i и k в нормальных условиях.

α — весовой коэффициент, отражающий учет кратчайшего расстояния ($\alpha=1$), или объема транспорта ($\alpha=0$).

Простейший вариант сценария, и соответствующий индекс A_i^{kl} , рассматривается для случая, в котором разрушена одна дорога между вершинами k и l . Предложенный индекс рассчитан по данным о вероятности разрушения каждой из дорог, полученной из исторических наблюдений о наводнениях в течении последних 100 лет.

Итак, в исследуемых моделях рассматривается граф дорог и изучается в определенном смысле устойчивость сети дорог к воздействию чрезвычайных ситуаций. Выявлена необходимость разработки модели влияния пропускной способности дороги на доступность населенных пунктов с учетом размера населенного пункта.

Можно заключить, что по результатам исследования тематики публикаций, посвященных устойчивости транспортной инфраструктуры в случае возникновения

чрезвычайных ситуаций, выявлена необходимость разработки модели влияния пропускной способности дорог на доступность населенных пунктов с учетом размера населенного пункта и других параметров, важных с точки зрения устойчивости транспортной инфраструктуры и обеспечения доступности населенных пунктов при чрезвычайных ситуациях в условиях неопределенности параметров такой ситуации.

7.1.3 Сценарный анализ возможных частичных разрушений некоторых конкретных сетевых структур в результате действия санкционных ограничений или наступления стихийных бедствий природного характера

В этом пункте отчета приведены результаты по анализу устойчивости/ уязвимости сетей и характеристик (мер центральностей) сетей к изменениям самих сетей, внешних факторов, влияющих на интенсивность сетевых взаимодействий и т.д.

Работа по такому анализу осуществлялась в двух направлениях:

- сценарный анализ изменения сетей экспорта/импорта нефти и редкоземельных соединений за период 2015-2020 гг.;
- анализ устойчивости мер центральности к изменению сетей.

7.1.3.1 Сценарный анализ изменения сетей экспорта/импорта нефти и редкоземельных соединений за период 2015-2020 гг.

7.1.3.1.1 Актуальность

Экономические ситуации различных стран зависят друг от друга. Инцидент в одной стране может вызвать серию инцидентов в других странах. Например, 6 февраля 2023 года Министерство гражданской обороны Италии сообщило о возможных приливных волнах, которые могут быть опасны для людей, прибывающих на итальянское побережье после землетрясения с эпицентром между Турцией и Сирией [635].

Ситуация глубокой неопределенности определяется отсутствием каких-либо статистических оценок развития ситуации [636]. Мы построили модели сценарного анализа в условиях глубокой неопределенности с использованием сетевого анализа. Сценарный анализ рассматривается как процесс моделирования стихийных бедствий независимо от причин этого процесса. Основная цель состоит в том, чтобы найти наиболее уязвимые страны, когда некоторые несчастные случаи происходят в других странах нами был рассмотрен рынок нефти и редкоземельных соединений в условиях глубокой неопределенности.

Нефть является неотъемлемой частью во многих сферах промышленности и играет ключевую роль в экономике разных стран. Сокращение поставок или добычи нефти может

повлиять на ситуацию в той или иной стране. Мы построили сеть экспорта/импорта нефти и проанализировали последствия ситуаций, когда происходит сокращение поставок нефти. Страны, наиболее зависящие от импорта нефти, были определены с помощью рассмотренных индексов центральности.

7.1.3.1.2 Описание модели

Для нахождения наиболее уязвимых к изменениям сети стран было разработано программное обеспечение, написанное на языке Python, по реализации различных сценариев на сетях в условиях глубокой неопределенности. Программа представляет собой систему раннего предупреждения, выявляющую наиболее уязвимые от импорта страны при реализации различных сценариев на рынке нефти, редкоземельных соединений на основе классических и новых индексов центральности.

Для выявления зависимости стран от импорта рассматриваются классические (PageRank, In-degree) [637] и новые индексы центральности (Индекс группового влияния, индекс ключевого участника) [638].

Индекс In-degree определяется для каждой страны i по формуле

$$CI^0(i) = \sum_j \frac{w_{ji}}{Pop_i}, \quad (7)$$

где w_{ji} — величина экспорта из страны j в страну i . Иначе говоря, Индекс In-degree $CI^0(i)$ для каждой страны i равен величине суммарного импорта на душу населения.

Для индекса группового влияния рассматривается понятие критической группы. Группу стран экспортеров S для каждой страны i называют критической, если в S входит не более k стран и их суммарный экспорт на душу населения в i не меньше установленной квоты для страны i q_i . Более формально, группа S называется критической для i , если выполнено

$$|S| \leq k, \sum_{j \in S} \frac{w_{ji}}{Pop_i} \geq q_i. \quad (8)$$

Для каждой страны i индекс группового влияния $BI^0(i)$ вычисляется по формуле

$$BI^0(i) = \sum_S BI_i^0(S), \quad (9)$$

где $BI_i^0(S) = 1$, если группа S критическая для i , $BI_i^0(S) = 0$ в противном случае. Иными словами, индекс группового влияния $BI^0(i)$ равен количеству критических групп для i .

Страна j называется ключевой в критической группе S для страны i , если группа S без j не является критической для i . Формально, страна j ключевая в группе S для i , если выполнено

$$\sum_{l \in S} \frac{w_{li}}{Pop_i} \geq q_i, \sum_{l \in S \setminus \{j\}} \frac{w_{li}}{Pop_i} < q_i. \quad (10)$$

Индекс ключевого участника $PI^0(i)$ для каждой страны i равен

$$PI^0(i) = \sum_S |S| \cdot PI_i^0(S), \quad (11)$$

где $PI_i^0(S)$ — количество ключевых стран в S для i . Иными словами, индекс ключевого участника $PI^0(i)$ учитывает количество ключевых участников в критических группах.

Квота q_i может быть по-разному определена для каждой страны в зависимости от рассматриваемой сети. Критическая группа представляет собой множество стран-экспортеров, прекращение экспорта которых может привести к нехватке потребления, использования рассматриваемых товаров в торговых сетях. В нашей работе величина квоты q_i определяется для каждой страны на рынке нефти, редкоземельных соединений. Квота q_i была определена на основе следующего алгоритма:

- для каждой страны вычисляется среднее значение импорта M за последние 5 лет;
- рассчитывается коэффициент изменения реального ВВП по сравнению с предыдущим годом K . Если коэффициент меньше 1 (падение ВВП), то значение квоты q_i равно произведению K и M . Если коэффициент не меньше 1 (рост ВВП), то значение квоты q_i равно M .

Например, предположим, что значения общего импорта для страны i за период 2015-2020: 114, 126, 120, 130, 150 тонн, соответственно. Таким образом, среднее значение импорта за последние 5 лет составляет 128 tons. Предположим, что значения реального ВВП за 2020 и 2021 равны 1580\$ and 1450\$ соответственно. Тогда коэффициент изменения реального ВВП $K \approx 0.92 < 1$, $q_i = 0.92 \cdot 128 = 117.76$ тонн.

7.1.3.1.3 Сценарии

В данном исследовании были рассмотрены различные сценарии изменения экспорта/импорта на рынке нефти, редкоземельных соединений на основе реальных данных за 2015-2020 годы, взятых из официальных источников [639].

Для рынка нефти были рассмотрены следующие сценарии. Сокращение импорта нефти среди европейских стран на 5 % (первый сценарий), 10 % (второй сценарий) и 25% (третий сценарий). В Таблицах 9-14 ниже представлены ТОП-5 стран по экспорту, импорту нефти на душу населения по данным за 2005, 2010, 2015, 2020 годы, а также список наиболее уязвимых стран по индексам группового влияния и ключевого участника до и после реализаций сценариев по данным за 2020 год.

Таблица 9 — ТОП-5 стран-экспортеров нефти на душу населения

	2005	2010	2015	2020
1	Netherlands	USA	USA	USA
2	Russia	Russia	Russia	Russia
3	Saudi Arabia	Netherlands	Netherlands	Netherlands
4	Singapore	Singapore	Singapore	Singapore
5	USA	India	Republic of Korea	China

Таблица 10 — ТОП-5 стран-импортеров нефти на душу населения

	2005	2010	2015	2020
1	USA	USA	Singapore	China
2	Netherlands	Singapore	USA	USA
3	Japan	Netherlands	Netherlands	India
4	Singapore	Japan	China	Republic of Korea
5	China	China	Japan	Japan

Таблица 11 — ТОП-10 Наиболее уязвимых стран от импорта до реализаций сценариев

	In-degree $C^0 in-degree$	Group influence BI^0	Pivotal PI^0
1	China	Brunei Darussalam	Brunei Darussalam
2	USA	Vietnam	Panama
3	India	Panama	Vietnam
4	Republic of Korea	Uzbekistan	Hungary
5	Japan	Ukraine	Brazil
6	Germany	Myanmar	Uzbekistan
7	Italy	Tunisia	Serbia
8	Spain	Côte d'Ivoire	Ukraine
9	Netherlands	Ecuador	Côte d'Ivoire
10	Singapore	Hungary	Myanmar

Таблица 12 — ТОП-10 Наиболее уязвимых стран от импорта после реализации первого сценария

	In-degree $C^{0\text{ in-degree}}$	Group influence BI^0	Pivotal PI^0
1	China	Brunei Darussalam	Brunei Darussalam
2	USA	Vietnam	Panama

Продолжение Таблицы 12

	In-degree $C^{0\text{ in-degree}}$	Group influence BI^0	Pivotal PI^0
3	India	Panama	Vietnam
4	Republic of Korea	Uzbekistan	Hungary
5	Japan	Ukraine	Brazil
6	Singapore	Myanmar	Uzbekistan
7	Thailand	Tunisia	Serbia
8	United Kingdom	Côte d'Ivoire	Ukraine
9	Turkey	Ecuador	Côte d'Ivoire
10	Canada	Botswana	Myanmar

Таблица 13 — ТОП-10 Наиболее уязвимых стран от импорта после реализации второго сценария

	In-degree $C^{0\text{ in-degree}}$	Group influence BI^0	Pivotal PI^0
1	China	Brunei Darussalam	Brunei Darussalam
2	USA	Vietnam	Panama
3	India	Panama	Vietnam
4	Republic of Korea	Uzbekistan	Brazil
5	Japan	Ukraine	Uzbekistan
6	Singapore	Myanmar	Serbia
7	Thailand	Tunisia	Ukraine
8	United Kingdom	Côte d'Ivoire	Côte d'Ivoire
9	Turkey	Ecuador	Myanmar
10	Canada	Botswana	Tunisia

Таблица 14 — ТОП-10 Наиболее уязвимых стран от импорта после реализации второго сценария

	In-degree $C^{0\text{ in-degree}}$	Group influence BI^0	Pivotal PI^0
1	China	Brunei Darussalam	Brunei Darussalam
2	USA	Vietnam	Panama
3	India	Panama	Vietnam
4	Republic of Korea	Uzbekistan	Brazil
5	Japan	Ukraine	Uzbekistan
6	Singapore	Tunisia	Serbia
7	Thailand	Botswana	Ukraine
8	United Kingdom	Myanmar	Côte d'Ivoire
9	Turkey	Côte d'Ivoire	Tunisia
10	Canada	Ecuador	Botswana

Для рынка редкоземельных соединений были рассмотрены следующие сценарии. В Швеции в январе 2023 был открыто крупнейшее месторождение редкоземельных элементов в Европе. Предположим, что Швеция полностью прекратила импорт редкоземельных элементов, Европейские страны сократили импорт редкоземельных соединений на 30 % (1-й сценарий), 50 % (2-й сценарий) и 70 % (3-й сценарий) импорт не из Европейских стран и компенсировали поставки от Швеции.

В Таблицах 15-16 ниже представлены ТОП-10 наиболее уязвимых стран по индексам группового влияния и ключевого участника до и после реализаций сценариев на основе данных за 2020 год на рынке редкоземельных соединений.

Таблица 15 — ТОП-10 Наиболее уязвимых стран от импорта до реализаций сценариев

	In-degree $C^0 in-degree$	Группового влияния BI^0	Ключевого участника PI^0
1	Japan	Japan	Japan
2	Vietnam	India	India
3	USA	Switzerland	Switzerland
4	Republic of Korea	Germany	Germany
5	India	USA	USA
6	Thailand	Turkey	Turkey
7	Taiwan	Republic of Korea	Republic of Korea
8	Estonia	Russia	Russia
9	Malaysia	Poland	Poland
10	Philippines	Spain	Spain

Таблица 16 — ТОП-10 Наиболее уязвимых стран от импорта после реализаций сценариев

	In-degree $C^0 in-degree$	Group influence BI^0	Pivotal PI^0
1	Japan	Japan	Japan
2	Vietnam	Switzerland	Switzerland
3	USA	Germany	Germany
4	Republic of Korea	India	India
5	India	USA	USA
6	Thailand	Turkey	Turkey
7	Taiwan	Republic of Korea	Republic of Korea
8	Estonia	Russia	Russia
9	Malaysia	Poland	Poland
10	Philippines	Spain	Spain

Помимо этого, был разработан сценарий для дальнейшего проведения сетевого анализа проблемы продовольственной безопасности. Была рассмотрена сеть экспорта/импорта основных зерновых культур (рис, пшеница, кукуруза, сорго, ячмень,

рожь, просо, овес и гречиха) для различных стран на основе реальных данных за 2020 год [640]. Была использована сетевая модель для изучения проблемы продовольственной безопасности в условиях глубокой неопределенности, которая была опубликована авторами в [641].

Рассмотрен сценарий, в котором предполагается, что Россия сокращает свой экспорт основных зерновых культур на 90% со всеми странами-экспортерами. Рассмотрим, те страны, у которых потребление углеводов на душу населения сократится не менее чем на 30%. Данные страны представлены в Таблице 17.

Таблица 17 — Потребление углеводов на душу населения до и после сценария

Страна	До сценария (потребление углеводов, кг/чел)	После сценария (потребление углеводов, кг/чел)
Azerbaijan	332.92	239.95
Somalia	34.96	33.79
Burundi	36.18	35.26
Dem. Rep. of the Congo	35.15	33.71
Armenia	166.62	72.4
Georgia	207.15	97.04
Slovenia	28.14	28.11
Mongolia	160.07	114.82
State of Palestine	30.65	28.79
Sudan	106.41	86.81
Latvia	496.04	342.46
United Arab Emirates	233.9	176.2
Congo	52.51	31.4

Серым выделены страны, в которых после реализации сценария наблюдается потребление углеводов ниже рекомендуемой медицинской нормы (47.45 кг/чел.). Как видно из Таблицы 17, по результатам сценария в Конго возникнет нехватка потребления углеводов (31.4 кг/чел.), которой не было до результата сценария (52.51 кг/чел.).

7.1.3.1.4 Выводы

В этой части отчета приведены результаты по построению и анализу сетей: экспорта/импорта нефти, редкоземельных соединений для различных стран за 2015–2020 гг. Рассмотрены сценарии сокращения импорта нефти у Европейских стран на 5%, 10% и 25%. Представлены результаты сценарного анализа с точки зрения последствий критических для сетей событий (например, санкций). Предложенная модель является новой для изучения подобных ситуаций на рынке нефти. Для модели сети редкоземельных соединений был рассмотрен кейс открытия крупнейшего месторождение редкоземельных

элементов в Швеции. На его основе были реализованы сценарии сокращения импорта нефти у Европейских стран на 30%, 50%, 70%. Согласно результатам, приведенным в таблицах, можно прийти к выводу, что открытие крупнейшего месторождения редкоземельных элементов в Швеции не приведет к резкому изменению зависимости от импорта различных стран в рамках рассматриваемого сценария.

Также был рассмотрен сценарий сокращения Россией экспорта основных зерновых культур для дальнейших исследований в области сетевого анализа в условиях глубокой неопределенности.

Полученные результаты были представлены на ряде международных конференций и опубликованы в [642].

7.1.3.2 Анализ устойчивости мер центральности к изменению сетей

7.1.3.2.1 Актуальность

Большинство существующих сложных систем (социальных, экономических, биологических, технологических и т.д.) может быть представлено в виде сетевых структур, вершинами которых являются элементы системы, а связи отражают различные взаимоотношения между ними. Поскольку структура взаимосвязей изменяется во времени, одной из важнейших задач анализа сложных систем является изучение критически важных элементов, влияющих на функционирование всей системы. Одним из решений данной задачи является применение индексов центральности. На текущий момент известно более 400 моделей определения наиболее важных элементов сети. Наиболее известные модели центральности основаны на подсчете числа взаимосвязей у каждого элемента сети (степенная центральность/degree centrality, [643]), степени посредничества каждой вершины (центральность по посредничеству/betweenness centrality) или их близости к другим вершинам (центральность по близости/closeness centrality, [644]), важности вершины с учетом важности соседних вершин (центральность по собственному вектору/eigenvector centrality) [645], вероятности посещения вершины при случайных блужданиях в графе (PageRank, [646]), а также учете индивидуальных атрибутов вершин и возможности их непрямого и/или группового влияния (SRIC, LRIC, [647]). Особую роль данные модели приобретают в условиях глубокой неопределенности и роста вероятности возникновения слабopредсказуемых событий.

К сожалению, информация о структуре многих реальных систем является неполной или может содержать ряд ошибок. Например, авторы исследовали криминальные сети, которые, в силу природы самих сетей, содержали неполную или некорректную

информацию о ее структуре [648]. Была проанализирована сеть взаимоотношений между банками, которая содержала порядка 94% от общего числа банковских займов. [649]. Была рассмотрена сеть международной торговли в условиях асимметрии данных. Поскольку результаты известных моделей центральности могут сильно зависеть от имеющейся информации о структуре сети, возникает необходимость в исследовании устойчивости данных моделей [650].

Особую актуальность эта задача приобретает при анализе возможных частичных разрушений сетевых структур в результате, например, санкционных действий, последствий стихийных бедствий и т.д.

В рамках данного исследования проводится изучение степени чувствительности существующих моделей центральности на примере сети международной торговли.

7.1.3.2.2 Устойчивость моделей центральности в сети международной торговли

Рассмотрим граф $G = (V, E, W)$, где $V = \{1, \dots, n\}$ — множество вершин, $|V| = n$, $E \subseteq V \times V$ — множество ребер, а $W = \{w_{ij}\}$ — множество весов — действительных чисел, соответствующих каждому ребру $(i, j) \in E$. Граф G называется ненаправленным, если $\forall i, j \in V: (i, j) \in E \Rightarrow (j, i) \in E$ и направленным в противном случае. Граф G является невзвешенным, если $\forall i, j, k, l \in V: (i, j) \in E \& (k, l) \in E \Rightarrow w_{ij} = w_{kl}$. В рамках данного направления рассматривается направленный взвешенный граф, характеризующий сеть международной торговли за 2020 год. Для построения сети международной торговли была использована база данных World Integrated Trade Solution Database (WITS Comtrade) [651]. Вершинами данного графа являются страны, а связи характеризуют объем торговли.

На данный момент существует большое количество индексов центральности, с помощью которых можно оценить влияние каждой вершины сети. Каждая из существующих моделей основана на различных интерпретациях того, какую именно вершину надо считать самой важной в сетевой структуре. В рамках данной работы исследуются следующие модели центральности:

- взвешенная степенная центральность по выходу (weighted out-degree centrality), характеризующая общий экспорт страны;
- взвешенная степенная центральность по входу (weighted in-degree centrality), характеризующая общий импорт страны;
- взвешенная степенная центральность (weighted degree centrality), характеризующая общий объем торговли каждой страны;

- разность взвешенных степенных центральностей по выходу и входу (weighted DegreeDiff), характеризующая чистый экспорт каждой страны;
- центральность по PageRank;
- центральность по HITS, которая оценивает степень авторитетности вершин (authorities), а также степень их посредничества (hubs);
- индекс дальних взаимодействий (LRIC).

Подробное описание рассматриваемых моделей центральности приведено в работах [652].

Поскольку данные о структуре сети международной торговли являются неполными, производится оценка чувствительности приведенных моделей центральности к различным изменениям в структуре сети (см. Таблица 18). Данные изменения позволяют учитывать как наличие неполной/некорректной информации о структуре сети, так и возможность возникновения слабопредсказуемых связей между странами. Стоит отметить, что значение параметра s выбрано на основе предположения о том, что в сети международной торговли отсутствует информация об 1% от общего объема торговли между странами.

Таблица 18 — Список модификаций в структуре сети международной торговли

№	Название	Описание
1	RCE	Изменение веса ребер (объема торговли между странами) в диапазоне от –5% до 5%
2	RAE	Добавление случайным образом ребер, имеющих общий вес s
3	DAE	Добавление ребер, имеющих общий вес s , с вероятностью, которая зависит от общего объема экспорта и импорта каждой страны

Оценка чувствительности индексов центральности определялась с помощью коэффициента ранговой корреляции Кендалла, которая была оценена между значениями центральности в исходной и измененной сетях. Кроме того, был проведен сравнительный анализ наиболее центральных (ТОП-1, ТОП-5, ТОП-10) вершин.

Результаты проведенного анализа приведены в Таблице 19. Наиболее устойчивые модели центральности отмечены цветом. Стоит отметить, что наименее устойчивыми индексами центральности являются weighted in-degree, PageRank и Authorities, наиболее устойчивыми — weighted out-degree, weighted degree, weighted DegreeDiff и LRIC.

Таблица 19 — Ранжирование индексов центральности по степени их чувствительности к изменению структуры сети международной торговли

Критерий		Weighted out-degree	Weighted in-degree	Weighted degree	Weighted DegreeDiff	PageRank	Hubs	Authorities	LRIC
RCE	Корреляция	2	4	1	8	3	6	7	5
	ТОП-1	1-7	1-7	1-7	8	1-7	1-7	1-7	1-7
	ТОП-5	1-5	8	1-5	1-5	6	1-5	1-5	7
	ТОП-10	1-6	7	1-6	1-6	1-6	1-6	1-6	8
RAE	Корреляция	4	7	3	5	8	1	6	2
	ТОП-1	1-4	8	1-4	1-4	7	1-4	6	5
	ТОП-5	2	7	5	1	8	3	6	4
	ТОП-10	1	7	5	3	8	4	6	2
DAE	Корреляция	1	6	4	8	5	2	7	3
	ТОП-1	5	8	4	3	7	2	6	1
	ТОП-5	2	8	4	1	6	3	7	5
	ТОП-10	1	8	4	2	6	3	7	5

7.1.3.2.3 Резюме

В рамках данного исследования было проведено изучение устойчивости существующих моделей центральности к различным изменениям в структуре сети международной торговли. Было показано, какие классические индексы центральности обладают наибольшей устойчивостью при наличии неполной информации о структуре сети, а также при возникновении слабопредсказуемых изменений в ее структуре. Полученные результаты имеют важное значение при анализе наиболее влиятельных элементов сети в условиях неопределенности и постоянно изменяющейся структуры сети.

7.1.4 Разработка моделей и методов принятия решений в условиях глубокой неопределенности с неточными экспертными данными

В этом пункте отчета приведены результаты разработки моделей и методов принятия решений с неточными экспертными данными. В отчете отражены результаты по:

- разработке метода нечеткого порогового агрегирования;

- применению интервальных методов оболочечного анализа данных для оценки эффективности карантинных мер.

7.1.4.1 Разработка метода нечеткого порогового агрегирования

В этом подпункте отчета приведены результаты по разработке метода нечеткого порогового агрегирования ранжирований, который может быть использован для принятия решений по информации от экспертов.

7.1.4.1.1 Актуальность

В теории коллективного выбора рассматриваются и исследуются правила агрегирования индивидуальных предпочтений [653]. Такие правила, в частности, используются в задаче ранжирования альтернатив, каждая из которых оценивается по некоторому множеству критериев. В некоторых случаях правила агрегирования должны иметь некомпенсаторный характер. Это предполагает, что низкие оценки по одним критериям не могут быть скомпенсированы высокими оценками по другим. Например, при ранжировании природных явлений по степени их негативного воздействия, высокую оценку критерия опасности для жизни людей нельзя компенсировать оценками по другим критериям. Одним из популярных правил агрегирования, обладающих некомпенсаторным свойством, является так называемое пороговое правило [654].

В силу субъективности оценки от экспертов будут иметь неточный характер. В частности, такие неточные оценки могут быть промоделированы с помощью инструментария нечетких множеств [655]. Тогда возникает задача обобщения порогового правила агрегирования на случай нечетких данных. Ниже приведены основные результаты решения описанной задачи.

Применение предложенного обобщения порогового правила агрегирования на нечеткие данные проиллюстрировано на примере ранжирования статей по результатам (точечных) оценок рецензентов и с учетом степеней уверенности в своих оценках. Эти степени уверенности используются для размытия точечных оценок и получения нечетких данных. Рассматриваются также общие свойства таких размытий.

7.1.4.1.2 Неразмытая постановка задачи порогового агрегирования

Рассматривается задача ранжирования альтернатив некоторого множества X , оцениваемых по n критериям в трехградационной шкале. В этом случае можно считать, что альтернативы представлены n -мерными векторами: $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$, где $x_i \in \{1, 2, 3\}$. Требуется построить такое преобразование (оператор агрегирования) $\varphi_n = \varphi: X \rightarrow \mathbb{R}$, которое удовлетворяет условиям (аксиомам) [656]:

1) Парето-доминирование (Pareto-domination):

$$\text{если } \mathbf{x}, \mathbf{y} \in X \text{ и } x_i \geq y_i \quad \forall i, \exists s: x_s > y_s, \text{ то } \varphi(\mathbf{x}) > \varphi(\mathbf{y}); \quad (12)$$

2) попарная компенсируемость критериев (pairwise compensability of criteria):

$$\text{если } \mathbf{x}, \mathbf{y} \in X \text{ и } v_k(\mathbf{x}) = v_k(\mathbf{y}) \quad k = 1, 2, \text{ то } \varphi(\mathbf{x}) = \varphi(\mathbf{y}), \quad (13)$$

где $v_k(\mathbf{x}) = |\{i: x_i = k\}|$ — число оценок k в альтернативе $\mathbf{x}$, $k = 1, 2, 3$;

3) пороговая некомпенсируемость (threshold noncompensability):

$$\underbrace{\varphi(2, \dots, 2)}_n > \varphi(\mathbf{x}) \quad \forall \mathbf{x} \in X: \exists s: x_s = 1, \quad (14)$$

4) аксиома редукции (the reduction axiom):

$$\text{если } \forall \mathbf{x}, \mathbf{y} \in X \quad \exists s: x_s = y_s, \text{ то } \varphi_n(\mathbf{x}) > \varphi_n(\mathbf{y}) \Leftrightarrow \varphi_{n-1}(\mathbf{x}_{-s}) > \varphi_{n-1}(\mathbf{y}_{-s}), \quad (15)$$

где $\mathbf{x}_{-s} = (x_1, \dots, x_{s-1}, x_{s+1}, \dots, x_n)$.

Сформулированная задача была поставлена и исследована в [657]. Показано, что решением является лексикографическое правило агрегирования: $\varphi(\mathbf{x}) > \varphi(\mathbf{y}) \Leftrightarrow \exists j \in \{1, 2\}: v_j(\mathbf{x}) > v_j(\mathbf{y}) \quad \forall k \leq j \text{ и } v_{k+1}(\mathbf{x}) < v_{k+1}(\mathbf{y})$. В [658] эта задача была обобщена на случай m -градационных шкал, $m \geq 3$.

7.1.4.1.3 Нечеткая постановка и решение задачи порогового агрегирования

Предположим теперь, что альтернативы представлены n -мерными векторами нечетких чисел $\tilde{\mathbf{x}} = (\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n)$. Каждое нечеткое число принадлежит одному из трех классов: классу низких оценок L , классу средних оценок M или классу высоких оценок H . Распределение нечетких чисел по классам может быть либо известно заранее, либо

может быть определено методом ближайшего соседа относительно эталонных чисел L_0, M_0 и H_0 каждого класса: $\tilde{x}_i \in \operatorname{argmin}_{S \in \{L, M, H\}} d(\tilde{x}_i, S_0)$, где d — некоторая метрика (или псевдометрика) на множестве нечетких чисел [659].

Будем считать, что носители всех нечетких оценок класса L расположены на промежутке $[-a, 0]$, $a > 0$, носители всех нечетких оценок класса H расположены на промежутке $[0, a]$, $a > 0$, а носители «средних» оценок класса M — на промежутке $[-b, b]$, $0 < b < a$. Эталонными являются неразмытые числа $L_0 = -a$, $M_0 = 0$ и $H_0 = a$.

Для множества средних оценок M рассмотрим два подмножества: средних положительных оценок $M^+ = \{x \in M : d(x, M_0^+) \leq d(x, M_0^-)\}$ и средних отрицательных $M^- = \{x \in M : d(x, M_0^-) \leq d(x, M_0^+)\}$, где $M_0^- = -b$, $M_0^+ = b$ — эталонные оценки подклассов M^- и M^+ соответственно. Заметим, что те оценки, для которых выполняется равенство (и только они) $d(x, M_0^-) = d(x, M_0^+)$ попадут в оба подмножества.

Общая схема порогового нечеткого ранжирования.

Для каждой альтернативы $\tilde{x} = (\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n)$ и каждого класса $S \in \{L, M^-, M^+, H\}$ выполняются следующие действия.

1) определяются расстояния $d(\tilde{x}_i, S_0)$ между всеми оценками одного класса $\tilde{x}_i \in S$ и эталонным нечетким (или неразмытым) числом S_0 этого класса (для класса M вычисляются $d(\tilde{x}_i, M_0)$ и $d(\tilde{x}_i, M_0^\pm)$);

2) вычисляется нормированная функция близости оценки к эталонному числу класса $F_S(\tilde{x}_i) = \psi(d(\tilde{x}_i, S_0))$, где невозрастающая функция $\psi : [0, +\infty) \rightarrow [0, 1]$ удовлетворяет условию $\psi(0) = 1$. Значение $F_S(\tilde{x}_i)$ характеризует нормированную степень уверенности, что оценка $\tilde{x}_i \in S$. Её можно рассматривать как функцию принадлежности подмножеству S , определенную на множестве нечетких чисел;

3) для альтернативы $\tilde{x} = (\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n)$ и каждого класса $S \in \{L, M^-, M^+, H\}$ вычисляются значения

$$v_S(\tilde{x}) = \sum_{\tilde{x}_i \in S} F_S(\tilde{x}_i). \quad (16)$$

Величина $v_s(\mathbf{x})$ характеризует мощность множества нечетких оценок класса S ;

4) применяется лексикографическое правило агрегирования: $\varphi(\mathbf{x}) > \varphi(\mathbf{y}) \Leftrightarrow$
 $v_L(\mathbf{x}) < v_L(\mathbf{y})$ или $v_L(\mathbf{x}) = v_L(\mathbf{y})$, $v_{M^-}(\mathbf{x}) < v_{M^-}(\mathbf{y})$ или $v_L(\mathbf{x}) = v_L(\mathbf{y})$, $v_{M^-}(\mathbf{x}) = v_{M^-}(\mathbf{y})$,
 $v_{M^+}(\mathbf{x}) < v_{M^+}(\mathbf{y})$ или $v_L(\mathbf{x}) = v_L(\mathbf{y})$, $v_{M^-}(\mathbf{x}) = v_{M^-}(\mathbf{y})$, $v_{M^+}(\mathbf{x}) = v_{M^+}(\mathbf{y})$, $v_H(\mathbf{x}) < v_H(\mathbf{y})$.

Замечание 1. Если нечеткие оценки будут неразмытыми числами трехградационной шкалы $\{L_0, M_0, H_0\}$, то величины $v_s(\mathbf{x})$ совпадают с величиной $v_s(\mathbf{x}) = |\{i : x_i \in S\}|$, $S \in \{L, M^-, M^+, H\}$ ($M^- = M^+ = M$) и пороговое нечеткое агрегирование будет совпадать с неразмытым.

Замечание 2. На шаге 4 вместо указанного «жесткого» сравнения можно использовать устойчивое «мягкое» сравнение $<_\varepsilon$ и равенство $=_\varepsilon$ величин $v_s(\mathbf{x})$: $a <_\varepsilon b$, если $a < b - \varepsilon$ и $a =_\varepsilon b$, если $|a - b| \leq \varepsilon$, где $\varepsilon \geq 0$ (параметр устойчивости).

В качестве расстояния $d(A, B)$ между нечеткими числами A и B в этой работе будем рассматривать величину $d_\delta(A, B) = |Val(A) - Val(B)| + \delta |Am(A) - Am(B)|$, где $Val(A)$ и $Am(A)$ ожидаемое значение и мера неопределенности нечеткого числа A соответственно, коэффициент $\delta > 0$ регулирует приоритет важности между расхождением ожидаемых значений и неопределенностями. Ниже будем считать, что $\delta \leq \frac{1}{2}$. Если $A_\alpha = \{t : \mu_A(t) \geq \alpha\} = [l_A(\alpha), r_A(\alpha)]$ — α -срез нечеткого числа (μ_A — функция принадлежности), $\alpha \in (0, 1]$, то $Val(A) = \frac{1}{2} \int_0^1 (l_A(\alpha) + r_A(\alpha)) d\alpha$, $Am(A) = \int_0^1 (r_A(\alpha) - l_A(\alpha)) d\alpha$ [659].

В качестве функции ψ на шаге 2 порогового агрегирования будем использовать линейную функцию $\psi(t) = 1 - \frac{1}{t_0} t$, $t \in [0, t_0]$.

При указанных предположениях верны равенства

$$v_L(\tilde{\mathbf{x}}) = \frac{\delta}{1+\delta} |L(\tilde{\mathbf{x}})| - \frac{1}{a(1+\delta)} \sum_{\tilde{x}_i \in L} (Val(\tilde{x}_i) + \delta Am(\tilde{x}_i)),$$

$$\begin{aligned}
v_{M^-}(\tilde{x}) &= \frac{1+2\delta}{2(1+\delta)} |M^-(\tilde{x})| - \frac{1}{2b(1+\delta)} \sum_{\tilde{x}_i \in M^-} (Val(\tilde{x}_i) + \delta Am(\tilde{x}_i)), \\
v_{M^+}(\tilde{x}) &= \frac{1+2\delta}{2(1+\delta)} |M^+(\tilde{x})| + \frac{1}{2b(1+\delta)} \sum_{\tilde{x}_i \in M^+} (Val(\tilde{x}_i) - \delta Am(\tilde{x}_i)), \\
v_H(\tilde{x}) &= \frac{\delta}{1+\delta} |H(\tilde{x})| + \frac{1}{a(1+\delta)} \sum_{\tilde{x}_i \in H} (Val(\tilde{x}_i) - \delta Am(\tilde{x}_i)), \quad (17)
\end{aligned}$$

где $S(\tilde{x}) = \{\tilde{x}_i \in S\}$, $S \in \{L, M^-, M^+, H\}$.

7.1.4.1.4 Формирование нечетких оценок по точечным данным

Ниже будет рассмотрен пример порогового агрегирования результатов рецензирования докладов конференций. Эти результаты от каждого i -го рецензента представлены парой чисел — точечной оценкой качества статьи x_i (большее значение соответствует большему качеству) и степенью уверенности λ_i (confidence) в правильности своего решения (большее значение соответствует большей степени уверенности). Поэтому рассмотрим общую процедуру «размытия» точечных оценок по этой информации $\{(x_i, \lambda_i)\}_{i=1}^n$.

Без ограничения общности можно считать, что $x_i \in [-a, a]$. Информация о степени уверенности (confidence) в правильности своего решения может быть использована для размытия интервальных или точечных оценок. Чем ниже степень уверенности, тем больше должна быть степень размытия и мера неопределенности нечетких оценок. Можно считать, что для оценок с наивысшей степенью уверенности степень размытия должна быть нулевой. Кроме того, «крайние» оценки с низкой степенью уверенности не должны после размытия удалиться от нейтральной оценки. Это можно интерпретировать следующим образом: смещение оценки с низкой степенью уверенности к нейтральной оценке делает ее менее конфликтной с другими оценками, что соответствует парадигме «с незнанием нет конфликта».

Формально, зависимость размытия от степени уверенности можно моделировать с помощью модификатора $m_\lambda : [0, 1] \rightarrow [0, 1]$, $m_\lambda(0) = 0$, $m_\lambda(1) = 1$ по правилу: $\mu_{m_\lambda A}(t) = m_\lambda(\mu_A(t))$, где A — нечеткая оценка со степенью уверенности $\lambda \in [0, 1]$.

Параметрический модификатор m_λ должен удовлетворять условиям:

$$1) \ m_1 A = A;$$

2) $Fuz(m_\lambda A) \geq Fuz(m_\tau A)$, если $\lambda \leq \tau$, где Fuz — некоторая (фиксированная) степень нечеткости нечеткого числа;

3) $Am(m_\lambda A) \geq Am(m_\tau A)$, если $\lambda \leq \tau$, где Am — некоторая (фиксированная) мера неопределенности нечеткого числа;

4) $d(m_\lambda A, M_0) \leq d(m_\tau A, M_0)$, если $\lambda \leq \tau$ и A — «крайняя» нечеткая оценка, где d — некоторая метрика (или псевдометрика) на множестве нечетких чисел, M_0 — эталонное число класса средних оценок.

Например, если нечеткие оценки описываются трапециевидными нечеткими числами, то можно считать, что сама рекомендация определяет ядро соответствующего нечеткого числа, а степень уверенности — расхождение между ядром и носителем нечеткого числа. Чем меньше степень уверенности, тем больше должна быть величина расхождения. Для наивысшей степени уверенности ядро должно совпадать с носителем. В этом случае сама первоначальная оценка A будет представлено неразмытым нечетким числом — действительным числом или интервалом $[a_1, a_2]$, $a_1 \leq a_2$, которое можно считать также трапециевидным нечетким числом $A = (a_1, a_1, a_2, a_2)$. А модификатор должен удовлетворять условиям 1), 4) и:

2') $\ker(m_\lambda A) \subseteq \ker(m_\tau A)$ и $\text{supp}(m_\lambda A) \supseteq \text{supp}(m_\tau A)$, если $\lambda \leq \tau$;

3') $|\ker(m_\lambda A)| + |\text{supp}(m_\lambda A)| \geq |\ker(m_\tau A)| + |\text{supp}(m_\tau A)|$, если $\lambda \leq \tau$.

Если в качестве степени нечеткости и меры неопределенности трапециевидных нечетких чисел использовать индексы $Fuz(A) = |\text{supp } A \setminus \ker A|$, $Am(A) = \frac{1}{2}(|\text{supp } A| + |\ker A|)$,

где $|\cdot|$ — мера множества на числовой оси, то из условий 2') и 3') следуют условия 2) и 3).

Пример 7.1. Пусть неотрицательные невозрастающие функции $h_1(\lambda)$ и $h_2(\lambda)$ удовлетворяют условию $h_1(1) = h_2(1) = 0$. Тогда можно рассмотреть следующие модификаторы:

а) $m_\lambda A = (a_1 - h_1(\lambda), a_1, a_2, a_2 + h_2(\lambda))$ (внешнее размытие); в этом случае имеем $Fuz(m_\lambda A) = h_1(\lambda) + h_2(\lambda)$ и $Am(m_\lambda A) = a_2 - a_1 + \frac{1}{2}(h_1(\lambda) + h_2(\lambda))$;

б) $m_\lambda A = (a_1 - h_1(\lambda), a_1 + h_1(\lambda), a_2 - h_2(\lambda), a_2 + h_2(\lambda))$ (нейтральное размытие) при условии, что $h_1(\lambda) + h_2(\lambda) \leq a_2 - a_1$; в этом случае имеем $Fuz(m_\lambda A) = 2(h_1(\lambda) + h_2(\lambda))$ и $Am(m_\lambda A) = a_2 - a_1$.

в) $m_\lambda A = (a_1, a_1 + h_1(\lambda), a_2 - h_2(\lambda), a_2)$ (внутреннее размытие) при условии, что $h_1(\lambda) + h_2(\lambda) \leq a_2 - a_1$; в этом случае имеем $Fuz(m_\lambda A) = h_1(\lambda) + h_2(\lambda)$ и $Am(m_\lambda A) = a_2 - a_1 - \frac{1}{2}(h_1(\lambda) + h_2(\lambda))$.

Внешнее и нейтральное размытия удовлетворяют условиям 1)-3), внутреннее размытие не удовлетворяет условию 3).

Теорема 7.1. Модификатор внешнего размытия $m_\lambda A = (a_1 - h_1(\lambda), a_1, a_2, a_2 + h_2(\lambda))$ удовлетворяет условию 4) в метрике d_δ тогда и только тогда, когда $\forall 0 \leq \lambda \leq \tau \leq 1$ верно

$$\begin{aligned} (h_2(\lambda) - h_2(\tau))(1 - 2\delta) &\geq (h_1(\lambda) - h_1(\tau))(1 + 2\delta), \text{ если } m_\lambda A, m_\tau A \in L, \\ (h_2(\lambda) - h_2(\tau))(1 + 2\delta) &\leq (h_1(\lambda) - h_1(\tau))(1 - 2\delta), \text{ если } m_\lambda A, m_\tau A \in H. \end{aligned}$$

Следствие 7.1. Если модификатор внешнего размытия $m_\lambda A = (a_1 - h_1(\lambda), a_1, a_2, a_2 + h_2(\lambda))$ удовлетворяет условию 4), то $|\Delta h_2| \geq |\Delta h_1|$ для $m_\lambda A \in L$ и $|\Delta h_1| \geq |\Delta h_2|$ для $m_\lambda A \in H$.

Замечание 7.3. Для нейтрального размытия $Val(m_\lambda A) = \frac{1}{2}(a_1 + a_2)$, $Am(m_\lambda A) = a_2 - a_1$. Поэтому $d(m_\lambda A, M_0)$ не зависит от λ и условие 4) выполняется в виде равенства.

7.1.4.1.5 Численный пример

Рассмотрим пример ранжирования предложенным методом оценок статей/докладов конференций в системе управления конференциями EasyChair [660]. В этой системе используется семеричная система оценивания $x_i \in \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$, соответствующие рекомендациям “strong reject”, “reject”, “weak reject”, “borderline paper”, “weak accept”, “accept”, “strong accept”. Кроме того, рецензент дает оценку в пятиричной шкале (0.2 — “none”, 0.4 — “low”, 0.6 — “medium”, 0.8 — “high”, 1 — “expert”) о степени уверенности (confidence) в правильности своего решения: $\lambda_i \in \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1\}$.

Точечные данные $\{(x_i^{(k)}, \lambda_i^{(k)})\}_{i=1}^5$ $n=5$ рецензентов относительно 4-х статей представлены в Таблице 20 (i — индекс рецензента, k — индекс статьи, $k=1, \dots, 4$), где $\mathbf{x}^{(k)} = (x_{i_1}^{(k)}, \dots, x_{i_5}^{(k)})$ — упорядоченный по возрастанию вектор оценок всех рецензентов относительно k -й статьи, $\mathbf{t}^{(k)} = (t_{i_1}^{(k)}, \dots, t_{i_5}^{(k)})$ — этот же вектор в трехградационной шкале $\{L, M, H\}$, $L = \{-3, -2, -1\}$, $M = \{0\}$, $H = \{1, 2, 3\}$.

Таблица 20 — Исходные данные об оценках рецензентов

	статья 1	статья 2	статья 3	статья 4
рецензент 1	(2, 0.8)	(2, 1)	(1, 0.8)	(0, 0.6)
рецензент 2	(1, 1)	(2, 0.8)	(2, 0.6)	(1, 0.4)
рецензент 3	(0, 0.8)	(0, 0.6)	(-1, 0.6)	(1, 1)
рецензент 4	(3, 0.4)	(-1, 0.4)	(0, 0.6)	(2, 0.2)
рецензент 5	(2, 0.6)	(1, 0.6)	(1, 1)	(2, 1)
$\mathbf{x}^{(k)}$	(0, 1, 2, 2, 3)	(-1, 0, 1, 2, 2)	(-1, 0, 1, 1, 2)	(0, 1, 1, 2, 2)
$\mathbf{t}^{(k)}$	(M, H, H, H, H)	(L, M, H, H, H)	(L, M, H, H, H)	(M, H, H, H, H)

Заметим, что если принимать во внимание только трехградационные рекомендации рецензентов ($L = \{-3, -2, -1\}$, $M = \{0\}$, $H = \{1, 2, 3\}$) и не учитывать степени уверенности, то получим следующие векторы оценок $\mathbf{v}(\mathbf{x}^{(k)}) = (v_L(\mathbf{x}^{(k)}), v_M(\mathbf{x}^{(k)}), v_H(\mathbf{x}^{(k)}))$ для каждой k -й статьи, $k = 1, \dots, 4$ и ранжирование этих статей (см. Таблицу 21).

Таблица 21 — Результаты неразмытых и нечеткого пороговых агрегирований

	статья 1	статья 2	статья 3	статья 4	ранжирование
$\mathbf{v}(\mathbf{x}^{(k)})$	(0, 1, 4)	(1, 1, 3)	(1, 1, 3)	(0, 1, 4)	$\varphi(\mathbf{x}^{(1)}) = \varphi(\mathbf{x}^{(4)}) > \varphi(\mathbf{x}^{(3)}) = \varphi(\mathbf{x}^{(2)})$
$\mathbf{v}_{\text{exp}}(\mathbf{x}^{(k)})$	(0, 1, 4)	(0, 3, 2)	(0, 2, 3)	(0, 2, 3)	$\varphi(\mathbf{x}^{(1)}) > \varphi(\mathbf{x}^{(4)}) = \varphi(\mathbf{x}^{(3)}) > \varphi(\mathbf{x}^{(2)})$
$\mathbf{v}(\mathbf{x}^{(k)})$	(0, 0.5, 0.5, 2.59)	(0, 1.33, 1.33, 1.3)	(0, 1.33, 0.5, 1.57)	(0, 0.5, 1.33, 1.75)	$\varphi(\mathbf{x}^{(1)}) > \varphi(\mathbf{x}^{(4)}) > \varphi(\mathbf{x}^{(3)}) > \varphi(\mathbf{x}^{(2)})$

Если же близкие к средним оценки ± 1 с низкой степенью уверенности $\lambda \leq 0.6$ относить к классу M , то получим следующие (расширенные) векторы оценок $\mathbf{v}_{\text{exp}}(\mathbf{x}^{(k)})$, $k = 1, \dots, 4$ и ранжирование (см. Таблицу 21).

Рассмотрим теперь нечеткое размытие точечных оценок с помощью трапециевидных нечетких чисел, используя описанную выше методику.

Поставим каждой точечной оценке $x \in \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ в соответствие отрезок: $[0.75(x-1), 0.75x]$, если $x \in \{-3, -2, -1\}$; $[0.75x, 0.75(x+1)]$, если $x \in \{1, 2, 3\}$; $[-0.75, 0.75]$,

если $x = 0$. Этот отрезок будет ядром $\ker(x)$ трапецевидного нечеткого числа x .

Например, если $x = 2$ (“weak ассерт”), то $\ker(x) = [1.5, 2.25]$.

Будем использовать модификатор внешнего размытия $m_\lambda A = (a_1 - h_1(\lambda), a_1, a_2, a_2 + h_2(\lambda))$ отрезка-ядра $A = [a_1, a_2]$, где функции размытия $h_1(\lambda)$,

$h_2(\lambda)$ выберем следующими: $h_1(\lambda) = 0$, $h_2(\lambda) = \frac{1-\lambda}{5+\lambda}$, если $A \in L$; $h_1(\lambda) = \frac{1-\lambda}{5+\lambda}$, $h_2(\lambda) = 0$,

если $A \in H$; $h_1(\lambda) = h_2(\lambda) = \frac{1-\lambda}{5+\lambda}$, если $A \in M$. Такой модификатор удовлетворяет всем

условиям 1) — 4) пункта 4.

Далее вычислим векторы нечетких оценок

$\mathbf{v}(\mathbf{x}^{(k)}) = \left(v_L(\mathbf{x}^{(k)}), v_{M^-}(\mathbf{x}^{(k)}), v_{M^+}(\mathbf{x}^{(k)}), v_H(\mathbf{x}^{(k)}) \right)$ по формулам (7.2) ($a = 3$, $b = 1.5$, $\delta = 0.3$) и

найдем их ранжирование (см. Таблицу 21).

Приведенный пример показывает, что нечеткое пороговое агрегирование является более чувствительным к ранжированию по сравнению с неразмытым правилом. Некоторые альтернативы, которые были неразличимы относительно неразмытого порогового правила, стали различаться относительно нечеткого правила.

7.1.4.1.6 Выводы

В этой части отчета приведены результаты по разработке процедуры порогового ранжирования альтернатив, представленных векторами нечетких чисел. Процедура описана для случая трехградационной шкалы нечетких оценок, но может быть обобщена на произвольный случай m -градационных шкал, $m \geq 3$.

Кроме того, предложена и исследована процедура размытия точечных экспертных данных по информации о степени уверенности экспертов в своих оценках. Изучены как общие свойства таких оценок, так и свойства применительно к конкретным моделям размытия.

Указанные процедуры нечеткого порогового агрегирования и размытия продемонстрированы на примере ранжирования статей по оценкам рецензентов и степеням их уверенности в своих оценках. Но аналогичная процедура может быть использована для

ранжирования любых экспертных оценок, как изначально нечетких (или интервальных), так и точечных после применения процедуры размытия.

В перспективе дальнейших исследований интерес представляет разработка аксиоматики нечеткого порогового агрегирования.

Результаты исследований этой части проекта отражены в работе [661].

7.1.4.2 Применение интервальных методов оболочечного анализа данных для оценки эффективности карантинных мер

7.1.4.2.1 Актуальность

COVID-19 — глобальная пандемия коронавирусной инфекции COVID-19, вызываемой коронавирусом SARS-CoV-2. В марте 2020 года Всемирная организация здравоохранения объявила вспышку коронавируса COVID-19 пандемией. Чтобы сдержать распространение неизученного вируса, были приняты беспрецедентные меры: страны закрыли границы, прекратили воздушное и морское пассажирское сообщение и были вынуждены ввести тотальные карантины — закрыть магазины, бары, рестораны, музеи, театры, места отдыха, остановить транспорт, перевести сотрудников на удаленную работу и серьезно ограничить передвижение в городах.

Однако разные стратегии введения ограничений привели к разным последствиям. Кроме того, на скорость дальнейшего распространения коронавируса могли влиять некоторые локальные факторы.

Например, хорошо известно, что карантин в Швеции был гораздо более мягким, чем в других странах. Такой подход имеет свои преимущества и недостатки. Экономические потери, вызванные закрытием бизнеса в стране, были очень низкими. С другой стороны, утверждается, что на определенный период 2020 года в Швеции был самый высокий уровень смертности в Европе [662].

В свою очередь, Китай активно отреагировал на угрозу и оперативно ввел очень строгие карантинные меры. Суровое наказание, вплоть до смертной казни, грозило тем, кто был признан виновным в производстве и распространении поддельных лекарств, злонамеренном заражении других людей коронавирусом и причинении серьезного вреда врачам во время вспышки коронавируса. Это дало шанс остановить распространение коронавируса (к 15 июня 2021 года в Китае насчитывалось около 105 000 инфицированных и менее 5000 смертей [663]). Однако это привело к серьезным экономическим потерям — экономика Китая сократилась на 6,8% в первом квартале 2020 года [664].

Для оценки эффективности и дальнейшего сравнения различных стратегий введения карантинных мер в разных странах мира было решено использовать методы оболочечного анализа данных, часто используемые в похожих задачах [665].

В оболочечном анализе данных все исследуемые объекты характеризуются двумя векторами параметров — входных (имеющих смысл используемых ресурсов, которые надо минимизировать) и выходных (имеющих смысл достигаемых результатов, которые надо максимизировать). В свою очередь эффективность объекта вычисляется как отношение взвешенных сумм выходных и входных параметров. В результате получается следующая оптимизационная задача:

$$\begin{aligned} \max_{u_i, v_j} \left(e_k = \frac{\sum_{i=1}^M u_i y_{ik}}{\sum_{j=1}^N v_j x_{jk}} \right), \\ \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^M u_i y_{il}}{\sum_{j=1}^N v_j x_{jl}} \leq 1 & l \in \{1, \dots, L\} \\ u_i \geq 0 & i \in \{1, \dots, M\} \\ v_j \geq 0 & j \in \{1, \dots, N\} \end{cases} \end{aligned} \quad (18)$$

где e_k — эффективность k -го объекта, x_{jk} и y_{ik} — значения j -го входного и i -го выходного параметров k -го объекта, v_j и u_i — весовые коэффициенты, показывающие важность j -го входного и i -го выходного параметров, L — общее число исследуемых объектов, M и N — количество выходных и входных параметров соответственно.

7.1.4.2.2 Основная часть

Однако эта методология требует точных данных. Между тем статистика, учитывающая случаи заражения COVID-19 и смерти от коронавируса, не столь точна из-за ряда факторов, таких как не тотальное тестирование населения, хранение и агрегирование данных из разных регионов.

Поэтому было предложено использовать интервальную модификацию оболочечного анализа данных — best tube IDEA (интервальный оболочечный анализ данных с оптимальной трубкой), предложенный в работе [666]. В соответствии с этой модификацией значения параметров преобразуются в интервалы параметров, добавляя и вычитая определенный процент от значения (пара (y_{ik}^-, y_{ik}^+) вместо y_{ik}). Этот процент зависит от достоверности наших данных и является параметром модели (на практике его значение фиксируется после общения со специалистом в исследуемой области).

После предварительной обработки данных строится граница 100%-ной эффективности с помощью классического оболочечного анализа данных, используя центры этих интервалов параметров. Но теперь, наилучшая оценка эффективности (100%) присваивается не только объектам на границе, но и объектам, несравнимым с ними (если выполняются оба неравенства $y_{ik}^+ > y_{il}^-$ и $y_{il}^+ > y_{ik}^-$, интервалы (y_{ik}^-, y_{ik}^+) и (y_{il}^-, y_{il}^+) пересекаются, а объекты k и l называются несравнимыми друг с другом). Более того, объекты, оптимистичная версия которых (наибольшие выходные данные и наименьшие входные данные внутри интервалов параметров) превышает границу эффективности, также получают 100%-ную эффективность.

Для практической части исследования использовались данные из Оксфордского правительственного трекера реагирования на COVID-19 (далее — OхCGRT) [667]. OхCGRT систематически собирал информацию по основным типам ограничений, которые правительства вводили в ответ на пандемию, и располагает данными из более чем 170 стран.

Вот список всех имеющихся параметров, которые в дальнейшем были использованы в качестве входных параметров:

- закрытие предприятий;
- закрытие школ;
- отмена публичных мероприятий;
- ограничения международных путешествий;
- ограничения внутренних путешествий;
- комендантский час;
- приостановка работы общественного транспорта;
- ограничения на встречи в общественных местах.

В качестве выходных параметров было решено использовать количество новых инфицированных. Однако было бы некорректно сравнивать 100 новых заболевших для стран с населением 3 миллиона и 300 миллионов человек. Поэтому использовалось количество новых случаев по отношению к населению страны, а не в абсолютных значениях. Более того, увеличение числа инфицированных со 100 до 200 и с 10100 до 10200 человек не являются равнозначными с точки зрения эффективности карантинных мер. Следовательно, соотношение новых случаев к общему числу инфицированных людей было включено в качестве еще одного выходного параметра.

Кроме того, важно подчеркнуть, что влияние карантинных мер на количество новых заболевших не является моментальным. Поэтому для оценки эффективности

использовались карантинные мероприятия на определенную дату и количество новых случаев через две недели после этой даты.

Чтобы отбросить все выбросы, также применялись фильтры к данным. Сначала были исключены все страны с населением менее 10 миллионов человек. Это было сделано для исключения небольших стран, для которых число новых инфицированных, равное 100, может быть равно 1 проценту населения. В результате осталось 40 крупных стран.

Кроме того, важно указать период анализируемого периода времени. Во-первых, не использовались данные за январь и февраль 2020 года, поскольку в начале 2020 года распространение коронавируса было более медленным. Во-вторых, для анализа именно стратегий, направленных на то, чтобы остановить распространение коронавируса, временной интервал был ограничен 1 годом.

В результате были получены временные ряды оценок эффективности для всех исследуемых стран (по 24 значения в каждом временном ряду), что позволило проанализировать основные тенденции в эффективности карантинных мероприятий.

Используя эти временные ряды, все страны были разделены на 5 основных групп в зависимости от количества и особенностей (длины, высоты) волн коронавируса. Полное деление на группы приведено в Таблице 22.

Таблица 22 — Разбиение стран на группы на основе трендов в оценке эффективности введенных карантинных мер

Страны с поздним началом пандемии COVID-19	Ангола, Непал, Нигерия, Сирия
Страны-ориентиры с высокой эффективностью карантинных мер за весь период исследования	Китай, Вьетнам
Страны, в которых наблюдается только одна волна пандемии COVID-19	Австралия, Азербайджан, Узбекистан, Саудовская Аравия
Страны со «второй волной» пандемии COVID-19	Бельгия, Канада, Египет, Франция, Германия, Италия, Япония, Казахстан, Нидерланды, Польша, РФ, ЮАР, Южная Корея, Испания, Шри-Ланка, Швеция, Турция, Украина, Великобритания
Страны с низкой эффективностью карантинных мер за весь период исследования	Алжир, Аргентина, Бразилия, Чили, Чехия, Греция, Индия, Иран, Мексика, Румыния, США

7.1.4.2.3 Резюме

Применение интервального метода оболочечного анализа данных с оптимальной трубкой позволила разделить все страны на пять групп, основывая на сходстве поведения

кривой эффективности введенных в странах ограничений. Если формирование групп почти всех европейских стран было предсказуемым, то было удивительно узнать, что Соединенные Штаты находятся в одной группе с Мексикой, Алжиром и Бразилией (странами с низкой эффективностью карантинных мер на протяжении всего периода исследования). Однако дополнительное исследование статистических данных подтвердил это разделение, поскольку был изучен период времени с начала 2020 года по февраль 2021 года, и заметные успехи в предотвращении дальнейшего распространения коронавируса в США появились только весной 2021 года.

Таким образом, полученное разделение поддается толкованию и является достаточно обоснованным. При этом, учтён фактор возможных погрешностей в данных. Следовательно, можно утверждать, что данная модификация оболочечного анализа данных может быть эффективно применена на практике в ситуациях с неточными данными.

Результаты проведенных исследований нашли отражение в [668].

7.1.5 Разработка прототипа программного комплекса системы поддержки принятия решений при возможных частичных разрушениях сетевых структур

Разработана программа, написанная на языке программирования Python для проведения имитационного моделирования и выявления наиболее уязвимых стран в сетях продовольствий на основе новых индексов центральности. Язык программирования Python выбран в силу наличия специальных встроенных библиотек для работы с данными и сетями (Pandas, NetworkX соответственно), а также в силу простоты использования.

Данная программа выявляет наиболее уязвимые страны в сети экспорта/импорта продовольствий с использованием новых индексов центральности. Алгоритм работы программы можно описать с помощью двух блоков: обработка данных, вычисление индексов центральности.

Первый блок — обработка данных. В качестве входных данных программы используются численности населения стран, величины экспорта/импорта и производства зерновых культур за определенный год.

Данные о производстве должны содержать информацию о названии страны и величине производства. На рисунке 62 представлен пример фрагмента файла с данными о производстве пшеницы за 2020 год. В столбце «Area» расположены названия стран, в столбце «Value» — величины производства пшеницы соответствующих стран в килограммах.

Area	Value
Afghanistan	5185000000
Albania	233430000
Algeria	3106754000

Рисунок 62 — Пример данных о производстве пшеницы за 2020 год

Данные об экспорте/импорте продовольствия стран содержат информацию о стране-экспортере, стране-импортере, величине экспорта/импорта, год. На рисунке 63 представлен пример фрагмента файла с данными об экспорте/импорте пшеницы за 2018 год. В столбце «Year» указывается год, в «From» страна-экспортер, в «To» страна-импортер, в «Value» величина экспорта/импорта в килограммах. Например, в 2018 году Афганистан поставил в Пакистан 2 тонны пшеницы.

	Year	From	To	Value
0	2018	Afghanistan	Pakistan	2000.0
1	2018	Albania	North Macedonia	27000.0
2	2018	Albania	United Arab Emirates	966.0

Рисунок 63 — Пример данных об экспорте/импорте пшеницы за 2018 год

На основе полученных данных о суммарном экспорте/импорте по злаковым культурам в углеводах строится сеть экспорта/импорта.

Алгоритм работы первого блока программы «Обработка данных» можно представить в виде следующей схемы, представленной на Рисунке 64.



Рисунок 64 — Схема блока «Обработка данных»

Второй блок — вычисление индексов центральности. Для того чтобы вычислить индексы центральности стран необходимо определить расстояние влияния d . В случае, когда необходимо учесть не прямое влияние (значение $d > 1$), строится новая сеть экспорта/импорта зерновых культур (в углеводах), отражающая не прямое влияние стран друг на друга.

На основе полученной сети экспорта/импорта углеводов вычисляются для сравнения классические индексы центральности In-degree, PageRank, новые индексы центральности — индекс группового влияния, ключевого участника, общего влияния, а также величина дефицита потребления.

Новые индексы центральности задаются двумя параметрами — максимальным количеством стран k , способных оказывать групповое влияние (мы предполагаем, что $k = 5$), а также величиной минимального рекомендуемого потребления углеводов в год на человека q ($q = 47.45$ кг/чел.).

Для того, чтобы учесть величину населения стран при вычислении индексов центральности, необходимо рассматривать импорт и производство углеводов каждой страны на душу населения.

На рисунке 65 представлен пример фрагмента файла с данными о населении. В столбце «Area» расположены названия стран, в столбцах годов — величины населения соответствующих стран в рассматриваемый год. Например, население Афганистана в 2020 году составляло почти 39 миллионов человек, тогда производство пшеницы на душу населения в Афганистане за 2020 год составило 133,04 кг/чел.

	Area	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0	Afghanistan	34636208	35643418	36686784	37769499	38972231	40099462	41128771
1	Albania	2881063	2879355	2877013	2873884	2866849	2854710	2842321
2	Algeria	40339329	41136546	41927007	42705369	43451666	44177969	44903225
3	American Samoa	50448	49463	48424	47321	46189	45035	44273
4	Andorra	72541	73837	75014	76343	77700	79034	79824

Рисунок 65 — Пример данных о населении

Алгоритм работы второго блока программы можно представить в виде схемы на рисунке 66. В зависимости от параметра d строится сеть экспорта/импорта злаковых культур (в углеводах). На основе данных о численности населения, параметров k , q вычисляются величины импорта, производства злаковых культур на душу населения. Из полученных значений импорта производства злаковых культур (в углеводах) на душу населения формируются значения индексов центральности, значения дефицита потребления.

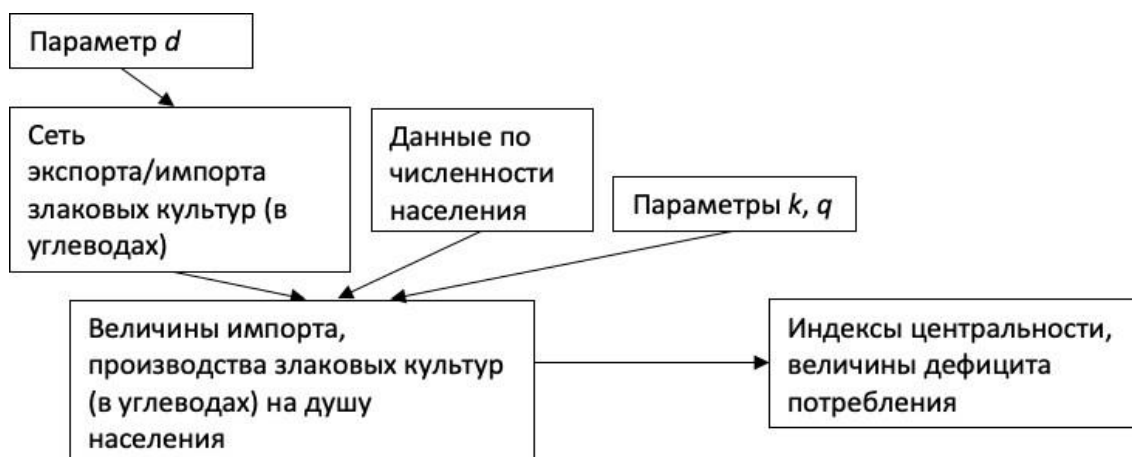


Рисунок 66 — Схема блока «Вычисление мер центральности»

Ключевыми блоками программы являются блок создания сети и блоки вычисления новых индексов центральности. Блок создания графа представлен в коде с 537 строки кода по 567 строку (см. рисунок 67).

```

537 def calculation~(country):
538     s = 0
539     if d > 0:
540         while s < d:
541             d2 = []
542             for k in country:
543                 g = 0
544                 while g < len(way(k)[0]):
545                     n = 0
546                     while n < len(way(k)[1][g]):
547                         dkn = []
548                         dkn.append(k)
549                         dkn.append(way(k)[1][g][n])
550                         dkn.append(min(cost(k, way(k)[0][g]), cost(way(k)[0][g], way(k)[1][g][n])))
551                         d2.append(tuple(dkn))
552                         n = n + 1
553                     g = g + 1
554             importing = d2
555             G = nx.DiGraph()
556             G.add_weighted_edges_from(d2)
557             s = s + 1
558     if d == 0:
559         d2 = []
560         for kc in country:
561             for lcs in way(kc):
562                 d2c = []
563                 d2c.append(lcs[0])
564                 d2c.append(lcs[1])
565                 d2c.append(cost(lcs[0], lcs[1]))
566                 d2.append(d2c)
567     return d2

```

Рисунок 67 — Блок создания графа

В данном блоке, если $d > 0$ реализуется транзитивное замыкание сети по следующему правилу: для того, чтобы определить влияние страны j на i длины d рассматриваются всевозможные цепи поставок из j в i длины d . Затем, для каждой цепи определяется наименьшее величина экспорта среди стран цепи и выбирается наибольшее значение среди всех цепей. Затем создается новый граф.

Блок вычисления индекса группового влияния (Bundle) представлен в коде с 734 по 759 строку (см. рисунок 68).

```

734 def bundle(gr):
735     bundle = []
736     for j in countries:
737         if j in countries_prod:
738             cj = []
739             cjs = []
740             cjc = 0
741             for i in gr:
742                 if i[0] == j:
743                     cj.append(i[2])
744             c = 1
745             while c <= xw:
746                 for elem in combinations(cj, c):
747                     cjs.append(elem)
748                 c = c + 1
749             for m in cjs:
750                 scs = []
751                 for w in m:
752                     scs.append(w)
753                 if sum(scs) >= deficitdict[j]*dictpop[j]:
754                     cjc = cjc + 1
755             bundlecountry = []
756             bundlecountry.append(j)
757             bundlecountry.append(cjc)
758             bundle.append(bundlecountry)
759     return bundle
760
761 #B = bundle(dT)

```

Рисунок 68 — Блок вычисления индекса группового влияния

Блок вычисления индекса ключевого участника (Pivotal) представлен в коде с 774 по 800 строку (см. рисунок 69).

```

774 def pivotal(gr):
775     pivotal = []
776     for j in countries:
777         if j in countries_prod:
778             cj = []
779             cjs = []
780             cjc = 0
781             for i in gr:
782                 if i[0] == j:
783                     cj.append(i[2])
784             c = 1
785             while c <= xw:
786                 for elem in combinations(cj, c):
787                     cjs.append(elem)
788                 c = c + 1
789             for m in cjs:
790                 scs = []
791                 for w in m:
792                     scs.append(w)
793                 for l in scs:
794                     if sum(scs) - 1 < deficitdict[j]*dictpop[j] and sum(scs) >= deficitdict[j]*dictpop[j]:
795                         cjc = cjc + len(scs)
796             pivotalcountry = []
797             pivotalcountry.append(j)
798             pivotalcountry.append(cjc)
799             pivotal.append(pivotalcountry)
800     return pivotal
801
802 P = pivotal(dI)

```

Рисунок 69 — Блок вычисления индекса ключевого участника

7.2 Исследование возможности применения методов суперпозиции данных при решении задач предсказания природных катастроф (на примере одного из видов таких катастроф)

7.2.1 Аналитический обзор методов предсказания природных катастроф, типов прогнозов природных катастроф

7.2.1.1 Актуальность

Актуальность темы исследований обусловлена тем, что на данный момент существующие методы не в состоянии точно спрогнозировать время начала вулканического извержения, а также его мощность. В случаях прогнозирования последствий опасных природных явлений результаты просчетов могут оказаться особенно тяжелыми, т.к. это может привести не только к разрушениям инфраструктуры и прямым экономическим убыткам, но и не восполняемым потерям человеческих жизней. В задачах принятия решений в условиях глубокой неопределенности парадигма смещается с предсказания будущего на адаптацию к нему с течением времени по мере накопления новых знаний. Данная парадигма явно признает факт невозможности предсказания будущего в отношении неопределенных событий и подчеркивает необходимость учета этой глубокой неопределенности.

Задачей исследования является разработка концепции системы поддержки принятия решений для обеспечения безопасности в случае чрезвычайных ситуаций, связанных с вулканической активностью

Научная новизна работы заключается в выявлении причинно-следственных связей между поражающими факторами вулканической активности, а также в предложении концепции имитационной модели вулканического извержений.

7.2.1.2 Перечень поражающих факторов, сопровождающих вулканические извержения

Вулканический пепел [669] состоит из мелкозернистых фрагментов горных пород, минералов и осколков вулканического стекла. Зерна пепла обычно покрыты кислотой. Пепел образуется в результате фрагментации пенистой магмы (после декомпрессии), скальной породы (при быстром расширении пара) и от взрывного смешивания магмы с водой. Форма и размеры осколков зависят от формы и размера пузырьков газа в магме непосредственно перед извержением. Размеры частиц варьируются от нескольких метров в поперечнике, до микронных и субмикронных размеров. Облака пепла вдали от вулкана обычно составляют частицы размером менее 0,5 мм. Такие облака очень опасны для авиAPERелетов, т. к. в случае попадания внутрь двигателей, выводят их из строя. Опасность усугубляется тем, что они не обнаруживаемы самолетными радарам. Только полное избегание пепловых облаков, является гарантией безопасности полетов.

Вулканические облака [669] могут содержать пепел, водяной пар, диоксид серы (SO_2) и соляную кислоту (HCl). Водяной пар и растворимые газообразные компоненты конденсируются при понижении температуры в верхней тропосфере и выпадают осадками ещё до того, как облако достигнет стратосферы. Пепел может оставаться в стратосфере в течение нескольких месяцев, прежде чем осядет из-за своего относительно большого размера. Диоксид серы окисляется в течение примерно месяца с образованием серной кислоты, которая вместе с окружающим водяным паром ответственна за образование и рост стратосферного сульфатного аэрозоля. В зависимости от широты и высоты первоначального выброса, уровень стратосферного аэрозоля может оставаться повышенным в течение нескольких лет после извержения. Вулканический аэрозоль может охлаждать поверхность Земли, отражая дополнительное солнечное излучение, и может нагревать стратосферу, поглощая инфракрасное излучение поверхности и тропосферы. Осаждение и атмосферная циркуляция в итоге переносят аэрозоль в тропосферу, где он может быть поглощен облаками или дождем. Этот эффект отлично иллюстрируется последствиями извержения вулкана Тамборы в 1815 г. [670] в южном полушарии, после которого в северной Америке и западной Европе среднегодовая температура упала на столько, что 1816 г. был прозван на тех территориях «годом без лета».

Пирокластические потоки [671] содержат массивные смеси горячих лавовых блоков, пепла, пемзы и вулканического газа, спускающихся по склонам вулканов с очень высокой скоростью. Движимые силой тяжести, потоки стремятся к низким участкам вулкана и, как правило, направляются в долины. Крупномасштабные пирокластические потоки образующие кальдеры, могут перемещаться на расстояния более 100 км. Расстояние во многом зависит от массы, выброшенной из источника, и высоты, с которой поток начинает опускаться. Высокоомобильные потоки могут быть насыщены вулканическими газами, выделяющимися из недр лавовых блоков и частиц, или расширяющимся нагретым воздухом, что способствует снижению трения между потоком и землей. Крупномасштабные потоки иногда проходили по поверхности моря на расстояния в несколько десятков километров. Это означает, что по крайней мере верхние их части были менее плотными, чем морская вода. Прямые измерения температуры, давления и скорости потоков выполняются путем размещения соответствующих датчиков на ожидаемом пути их прохождения. Скорости потоков обычно превышают 10 м/с, а иногда доходят и до 100 м/с. Температура же лежит в пределах от 100°C до 1100°C.

Лавовые потоки [671] представляют собой расплавленную породу, вытекающую из отверстий и трещин вулкана. Они сжигают посевы, лесные массивы и хозяйственные постройки близлежащих деревень и городов. Большинство лавовых потоков продвигаются достаточно медленно, что позволяет людям избежать опасности, но все, что остается позади них, может быть повреждено или разрушено, а земля, покрытая лавой, становится непригодной для жизни или сельского хозяйства на годы, десятилетия или даже столетия. Подавляющее большинство лавовых потоков состоят из силикатных пород. Поля потоков формируются последовательностью отдельных потоков, извергающихся с течением времени, которые в совокупности создают более крупный и плотный объект. Общий сток такого поля, может составлять несколько кубических километров. В геологической летописи известны случаи огромных полей лавовых потоков, объем которых составлял сотни и даже тысячи кубических километров [672]. В большинстве случаев длина отдельных потоков обычно колеблется от нескольких десятков метров до нескольких километров, а в зависимости от свойств лавы, толщина так же может меняться от нескольких сантиметров до десятков метров. Продолжительность потоков по историческим наблюдениям может составлять от нескольких минут до нескольких десятилетий, хотя в большинстве случаев колеблется от нескольких дней до нескольких лет.

Лахары [673] представляют собой шквал воды, смешанный с большим количеством вулканических обломков, которые с ревом быстро спускаются со склонов вулкана в окружающие равнины. Обычно термин используется для обозначения процесса, а не оставленных вследствие него отложений. Большинство лахаров состоит в основном из песка и более грубых материалов. Лахары приносят даже бóльшие разрушения, чем пирокластические потоки, т.к. они стекают дальше вниз по вулканическим склонам к более густонаселенным равнинам. Для их образования требуется всего лишь обильное количество воды, смешанной с рыхлым и легко размываемым мусором со склонов вулкана. Таким образом, они происходят чаще и на гораздо большем количестве вулканов, чем пирокластические потоки. Для образования лахаров не требуется извержения, они могут быть вызваны обычными муссонными дождями, тайфунами или ураганами. Особую опасность лахары представляют в бедных странах субтропического пояса, где теплый и влажный климат превращает свежие отложения лахара в плодородные почвы. Население предпочитает использовать эти территории для ведения сельского хозяйства, подвергая себя тем самым большому риску из-за постоянного проживания в непосредственной близости от источника опасности.

Вулканический газ [673]. Даже вулканы, находящиеся в состоянии покоя, фактически не извергающие лаву и не проявляющие сейсмической активности, способны непрерывно дегазироваться. Извержения могут приводить к образованию смертельных количеств токсичных газов, но длительное воздействие более низких дозировок так же представляет значительную опасность. Наиболее распространенными вулканическими газами в порядке их распространенности являются водяной пар (H_2O , 30-90 моль %), углекислый газ (CO_2 , 5-40 моль %), диоксид серы (SO_2 , 5-50 моль %), водород (H_2 , 2 моль %), сероводород (H_2S , 2 моль %) и монооксид углерода (CO , 0,5 моль %). Некоторые из них, вступают в реакцию в атмосфере или вулканическом шлейфе с образованием аэрозолей, наиболее важными из которых являются соляная кислота (HCl), плавиковая кислота (HF) и серная кислота (H_2SO_4). Долгосрочные последствия вулканических газов для здоровья плохо изучены, но они могут способствовать эпидемическим заболеваниям из-за их угнетающего действия на зрительную, дыхательную и пищеварительную системы. С точки зрения токсичности, наиболее опасными газами являются CO_2 , SO_2 , Rn , H_2S , HCl , HF и H_2SO_4 . Воздействие именно этих веществ стало причиной большинства смертельных случаев, связанных с вулканическим газом.

Вулканические цунами [673] представляют собой высокие волны или выбросы воды, вызванные различными вулканическими процессами. Волны возникают, когда часть огромного количества энергии, высвобождающейся во время извержений вулканов, переносится в океанскую воду или близлежащие большие озера. Энергия может передаваться на большие расстояния, вызывая гораздо большие разрушительные последствия, чем в результате непосредственного воздействия одного только извержения вулкана. Вулканические цунами сравнимы с обычными, вызванными крупнейшими известными землетрясениями. Волны, достигающие в высоту от 1 м до 30 м, затапливают низменные прибрежные районы на расстоянии в десятки или даже сотни километров от источника.

Самое разрушительное из известных вулканических цунами, было вызвано извержением вулкана Кракатау в 1883 году, в результате которого погибло более 36 000 человек, некоторые из которых находились на расстоянии до 800 км от места извержения. Высота волн вулканического цунами сильно зависит от морфологии береговой линии, на которую они обрушиваются. В некоторых случаях высота волн может увеличиваться более чем в два раза, когда энергия волн фокусируется и усиливается в заливах и бухтах. Скорость вулканических цунами прямо пропорциональна глубине воды, достигая типичных скоростей от 10-100 км/час в мелководных прибрежных районах и до 800 км/час при пересечении более глубоких вод.

Вулканические землетрясения [673] происходят на вулканах или вблизи них в пределах 10 км, и связаны с происходящими внутри них процессами. Т.к. в вулканах сосредоточено тепло и подвижные жидкости, то количество землетрясений значительно выше, чем в местах с нормальной земной корой. Такие землетрясения происходят на меньших глубинах (1-9 км) и группами, в отличие от тектонических (глубиной от 15 км в земной коре до 600 км в зонах субдукции), для которых характерны последовательности постепенно затухающих толчков-афтершоков. Процессы, вызывающие различные типы вулканических землетрясений, схожи, хотя извержения и различаются по результатам. Механизмы возникновения некоторых вулканических землетрясений до сих пор не изучены. Т.к. почти каждому известному извержению вулкана предшествовала сейсмическая активность, то сейсмология стала одним из наиболее полезных инструментов для прогнозирования и мониторинга извержений.

Выбросы породы [673] могут происходить вследствие расширения пара в водоносных слоях вулкана, разбрасывая камни из фумарол или кратеров на большие

расстояния. Так же взрывы могут происходить в лавовых куполах или закупоренных жерлах. Большинство извержений не вызывают взрывной волны, так как высвобождение энергии происходит слишком медленно, но при некоторых извержениях начальные ударные скорости могут превышать звуковые, которые, в свою очередь, приобретает выбрасываемая из жерла порода. Ударные волны, способные причинить вред конструкции зданий и привести к внутренним повреждениям органов человека или животных, регистрируются лишь изредка, на некотором расстоянии от эпицентров. Баллистические выбросы породы, сопровождающие взрывы, представляют собой значительно большую опасность. Линейные размеры обломков породы при таких взрывах начинаются от 15-20 см. Это нижний предел, при котором переданный при взрыве импульс позволит обломкам преодолевать сопротивление воздуха. Подобные объекты представляют смертельную опасность для людей, оказавшихся в зоне поражения, т.к. кроме разрушений, связанных с прямым попаданием, так же могут быть причиной пожаров. Максимальная зарегистрированная дальность для таких объектов составляет около 5 км от кратера.

Выпадение тефры [673] из пепловых шлейфов опасно тем, что, накапливаясь на элементах сооружений, может создавать на конструкции значительные нагрузки, усугубляющиеся проливными дождями (приблизительно 200 кг/м^2 при толщине слоя в 15 см). Такие эффекты могут наблюдаться на удалении от эпицентра (30-40 км), т. е. уже за пределами радиусов эвакуации. Обрушение элементов крыш может привести к различным травмам, а в худшем случае к удушению человека, заваленного обломками. Пепел так же оказывает воздействие на дыхательные пути, т. к. при вдыхании частиц диаметром 5-10 мкм в достаточном количестве, может вызывать раздражение легких, а случае содержания в нем кристоболита (высокотемпературная модификация кварца) — силикоз (потенциально смертельное заболевание легких, обычно встречающееся у шахтеров).

7.2.1.3 Модели оценки рисков последствий и опасностей от поражающих факторов, сопровождающих вулканические извержения

7.2.1.3.1 Модель оценка рисков последствий лахаров и наводнений

В [674] была проведена оценка рисков лахаров (селевых потоков) и наводнений в населенных пунктах, расположенных вдоль реки Комбейма (Río Combeima), истоком которой служит ледник, расположенный на вершине вулкана Толима (Nevado del Tolima) [“вулкан Толима,” n.d.] в Колумбии [675].

На основе цифровой модели рельефа по данным SRTM [676], уточненной во время полевых испытаний, и 4-х сценариев предполагаемого объема растаявшего снега,

питающего водосброс, посредством программных пакетов LAHARZ [677] и HEC-RAS [678], определялись районы подверженные опасности лахаров и наводнений (см. Рисунок 70).



Рисунок 70 — Визуализация сценариев опасности (р. Комбейма, г. Ибаге)

7.2.1.3.2 Модель оценки опасности баллистических ударов выбрасываемой породы

В [679] была проведена оценка опасности, возникающей вследствие выбрасывания горной породы во время гидротермальных и вулканических извержений из фумарол Сяйокенг горы Чихшин в районе группы вулканов Татун (о. Тайвань) [680].

Оценка проводилась с помощью баллистических уравнений движения, выбрасываемых из жерла вулкана фрагментов горных пород. В основе модели, описываемой дифференциальными уравнениями первого порядка, лежит второй закон Ньютона, с учетом того, что на каждую частицу действует сила тяжести и сопротивление атмосферы (т.к. частицы движутся на околосвуковых скоростях). Модель учитывает изменение плотности атмосферного воздуха в зависимости от высоты (воздух представляется идеальным газом).

При гидротермальном извержении в качестве коэффициента лобового сопротивления фрагментов горных пород использовались значения для куба, обращенного к потоку одним из своих углов. Энергия, переданная массе горной породы, рассчитывается исходя из энергии пара, возникающего вследствие внезапной декомпрессии (оползня) поверхностных слоев (от 20 м до 50 м) перегретой воды (от 118°C до 218°C) в вулкане (предполагается, что давление падает до атмосферного). Объем выбрасываемой горной

опасных зон вокруг фумаролы. На картах видны объекты инфраструктуры, которым может быть нанесен ущерб (см. Рисунок 71).

7.2.1.3.3 Модель отслеживания распространения вулканических облаков

В [682] описывается математическая модель (PUFF), имитирующая движение пепловых шлейфов, образовавшихся вследствие вулканических извержений. Модель предназначена для прогнозирования поведения первичных облаков пепла, возрастом не более 48 часов, так как именно они содержат максимальную концентрацию частиц, представляющих высокую опасность для воздушных судов (в случае столкновения) и населенных пунктов (при выпадении частиц в виде осадков).

Модель представляет собой программный пакет, предназначенный для использования в чрезвычайных ситуациях вулканических извержений, чтобы быстро спрогнозировать траекторию облака пепла в течение некоторого промежутка времени в ближайшем будущем. Модель инициализирует дискретное количество частиц пепла, и на основе данных о ветре, рассчитывает для каждой частицы перенос, турбулентное рассеивание и выпадение.

Перенос вычисляется путем интерполяции четырехмерных данных о ветре (которые берутся из прогноза метеорологических данных) из начального положения частицы в положение на следующем временном шаге, и интегрированием полученных таким образом данных о скоростях частицы для вычисления её траектории. Турбулентное рассеивание моделируется случайным процессом, имитирующим мелкомасштабные флуктуации поля скоростей ветра. Выпадение пепла вычисляется через закон Стокса, в котором скорость выпадения является функцией размера частицы.

Выходные данные модели содержат трехмерное местоположение, размер и возраст каждой моделируемой частицы пепла. Данные собраны в файлы, по одному файлу на каждый прогнозируемый интервал после даты извержения. Формат файлов совместим с пакетами программного обеспечения для визуализации, что позволяет представить результаты наглядно на web-сайте.

Так как на ранних стадиях извержения некоторая информация может быть недоступна, большая часть входных данных задана значениями по умолчанию (например, продолжительность извержения, количество частиц, высота столба пепла, распределение частиц в столбе и т.п.) с возможностью их переопределения при необходимости. Поэтому пользователю достаточно указать лишь местоположение вулкана и время извержения.

Результаты моделирования хорошо согласуются с данными наблюдений, что подтверждается моделированием извержений вулкана Сперр на Аляске в 1992 году, вулкана Ключевской на полуострове Камчатка и кальдеры Рабаул в Новая Гвинея в 1994 году.

7.2.1.3.4 Модель переноса и осаждения вулканического пепла

В [683] рассматривается трехмерная Эйлерова модель (FALL3D), основанная на уравнении адвекции — диффузии-седиментации. Для оценки метеорологических полей используется модель ограниченной площади (LAM) [684], позволяющая получать результат с высоким разрешением на локальную область, затратив значительно меньше вычислительных ресурсов, чем при использовании глобального климатического моделирования. Для описания эруптивного столба используется теория плавучего шлейфа. Такой подход приводит к более реалистичному анализу переноса вулканического пепла с использованием краткосрочного метеорологического прогноза. Потенциально позволяет отслеживать эволюцию концентрации частиц в ходе извержения.

Моделирование посредством FALL3D извержения Этны (Etna) [685] в Италии 2001 года, показало способность модели воспроизводить реалистичные полевые данные и структуры шлейфа, наблюдаемые со спутников, без использования каких-либо специально подобранных параметров.

7.2.1.3.5 Моделирование пирокластических потоков

Современные модели не могут охватить все аспекты динамики пирокластических потоков, в связи с чем, они остаются сравнительно плохо изученными. Но в [686], при оценке ряда потенциальных будущих взрывных извержений и связанных с ними опасностей вулканического комплекса Миджер (Mount Meager) в Канаде [687], для прогнозирования пирокластического потока, предлагается использовать модель энергетического конуса [688].

Это эмпирическая модель, основанная на статистическом анализе. В модели используются данные о максимальной разнице высот истечения и отложения потока, а также о горизонтальной длине его биения. Этот метод позволяет отобразить протяженность потока в виде энергетических линий (или охватывающего конуса) и включает как разреженные, так и концентрированные сегменты его плотности. Этот метод по своей сути не моделирует сток или направленность потока, а скорее обозначает пространство в пределах энергетического конуса (которое может быть или не быть заполнено пирокластическим потоком или выбросами облаков пепла в случае обрушения купола).

Модель энергетического конуса реализована в программном пакте LANARZ как «Ближайшая граница опасной зоны» (Proximal Hazard Zone Boundary) [689].

7.2.1.3.6 Моделирование лавовых потоков

В [690] рассматривается моделирование лавовых потоков с использованием подхода клеточных автоматов. Лава рассматривается как динамическая система, за ростом которой возможно следить посредством локальных взаимодействий на дискретных временных и пространственных интервалах. В пространстве потоки представлены ячейками. Каждая ячейка характеризуется конкретными значениями выбранных физических параметров, включая высоту потока, его толщину и температур. Текучесть лавы рассматривается косвенно, через влияние на толщину потока. Граничными значениями при моделировании являются высота рельефа, скорость выброса лавы, температура и реология её потока при извержении и при солидусе.

Модель клеточных автоматов была протестирована на данных о полях лавовых потоков вулкана Этна (Etna) [691] во время извержения 1986-1987 годов. Несмотря на неоднородность набора данных, смоделированные и реальные поля потоков продемонстрировали поразительно схожие закономерности роста, что подчеркивает гибкость подхода клеточных автоматов.

7.2.1.3.7 Моделирование рассеивания вулканического газа

В [692] оценивается способность модифицированной модели DISGAS-2.0 [693] воспроизводить распределение концентрации CO_2 и H_2S , выделяемых из трех основных фумарольных источников вулкана Суффриер, расположенного на острове Сент-Винсент в Карибском море [694]. При оценивании использовалась метеорологическая информация, а также данные измерений непрерывных концентраций, собранных в период с марта по апрель 2017 г. Рассеивание газа в модели зависит от локальных полей ветра и атмосферной турбулентности, в связи с чем информация о кратковременных метеорологических явлениях является одним из наиболее значимых факторов в определении качества результатов. Результаты моделирования воспроизвели статистическую изменчивость среднесуточных наблюдаемых данных за исследуемый период в допустимых пределах, что указывает на потенциальную полезность DISGAS-2.0 в качестве инструмента для воспроизведения наблюдаемой фумарольной дегазации и для количественной оценки газовой опасности.

7.2.1.3.8 Моделирование вулканических цунами

В [695] моделируется взрывное подводное извержение вулкана в озере Таупо (Тауро), Новая Зеландия [696]. Подводное извержение — это динамичное и сложное событие, включающее резкую фрагментацию, изменение объема и многочисленные высокоэнергетические взаимодействия между находящейся под давлением магмой, летучими веществами и водой. Возмущения воды при взрыве возникают в результате образования и быстрого расширения газового пузыря, который, взаимодействуя с поверхностью, образует кратероподобную полость. Пустота быстро заполняется под действием силы тяжести, образуя крупную струю. После чего возмущение колеблется до тех пор, пока не успокоится, вызывая волны уменьшающейся амплитуды. Глубинный взрыв или взрыв малой мощности приводит к тому, что пузырь передает большую часть своей энергии окружающей воде посредством быстрых колебаний, что значительно снижает эффективность образования волн.

Моделирование с применением негидростатической многослойной схемы, производилось на основе параметров, представляющих размер начальной полости взрыва, являющихся функциями выхода взрывчатого вещества — его глубины, максимальной глубины нарушенного равновесия и её радиуса, а также глубины воды и характеристик слоя, для которых производится калибровка с использованием эмпирических данных.

7.2.1.3.9 Моделирование условий окружающей среды

Поражающие факторы, сопровождающие вулканическое извержение, взаимодействуют с окружающей средой. Окружающая среда может, как усугубить поражающее воздействие вулканического извержения, послужив проводником между факторами (например, вулканический газ может среагировать с водяным паром и превратиться в кислоту, которая выпадет в виде дождя), так и наоборот ослабить его (газ рассеется при сильном ветре).

Основным источником информации об условиях окружающей среды, в настоящее время, выступают данные дистанционного зондирования Земли. Такие данные носят глобальный характер и имеют достаточно продолжительные временные ряды наблюдений (снимки LANDSAT 5 в открытом доступе датируются 1984 годом [697]), что позволяет строить на их основе сопоставимые наборы информационных продуктов.

Классифицируем существующие информационные продукты, в основе которых лежат данные дистанционного зондирования Земли, по условиям окружающей среды, информацию о которых данные продукты позволяют получить:

- метеорология. Согласно стандарту всемирной метеорологической организации, информационный продукт, позволяющий хранить краткосрочные прогнозы и данные реанализа (исторические данные, привязанные к узлам регулярной сетки) распространяются в формате GRIB [698]. Содержит информацию о таких параметрах как температура, влажность, осадки, атмосферное давление, направление и сила ветра и т.п. Обычно распространяется свободно крупными государственными структурами, такими как Гидрометцентр [699] в Российской Федерации, Национальный центр атмосферных исследований (NCAR) [700] в США, Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) [701] и т.п.;
- рельеф. Цифровая модель рельефа SRTM [702] содержит данные топографической съемки о высотах в метрах, большей части земной поверхности (за исключением областей ниже 54° ю.ш., и выше 60° с.ш.) с разрешением в 1" (около 30 м). Свободно распространяется Геологической службой США (USGS) [703] в формате geoTIFF мозаикой 5°x5°;
- урбанизированные территории. Оперативно обновляемые интернет-сообществом данные в формате pbf из некоммерческого проекта OpenStreetMap [704], позволяют получить информацию об административном делении, дорогах и строениях по всему миру. Программное обеспечение Osm2pgsql [705], облегчает загрузку данного формата в базу данных PostgreSQL [706], предоставляющую широкий инструментарий для работы с геоданными;
- растительный покров. Временные ряды карт растительного покрова [707] по данным приборов MODIS спутников AQUA и TERRA. Содержат ежегодную информацию о 23 классах (леса (7 классов), редины, луга, пахотные земли, степи, кустарники (2 класса), тундра (3 класса), гари, болота, прибрежная растительность, водные объекты, снега и льды, выходы горных пород, урбанизированные территории) растительности, с разрешением 230 м, произрастающей на территории Российской Федерации. Карты строятся ежегодно, начиная с 2001 года;
- подповерхностные условия. Для полноты картины отметим существование условий, скрытых от спутников дистанционного зондирования, в силу глубокого залегания. К таким данным относятся различные урбанизированные (например, системы тоннелей) и природные (например, водоносные слои или карстовые пещеры) объекты. Глобальной информации, приведенной к единому формату, о таких объектах нет, но при её наличии в определенной местности, она так же может быть включена в модель.

7.2.1.4 Сценарный анализ в условиях глубокой неопределенности

На данный момент не существует моделей, позволяющих предсказать время и место вулканического извержения. Всё, на что мы можем полагаться в этом вопросе, это сценарный анализ, основанный не на предсказаниях будущего, а направленный на подготовку и адаптацию к нему по мере накопления знаний, позволяющих реализовать долгосрочные стратегии в условиях глубокой неопределенности [708]. Одним из аналитических подходов к такому анализу является так называемое «Надежное принятие решений» (RDM, Robust Decisionmaking): набор концепций, процессов и вспомогательных инструментов, которые используют вычисления не для получения лучших прогнозов, а для принятия лучших решений в условиях глубокой неопределенности [709]. Подход предлагает анализировать различные виды будущего без приписывания им определенных вероятностей. В начале определяются ключевые факторы: цели, спектр действий для достижения этих целей, неопределённости, влияющие на действия и их последствия, а также взаимосвязи между ними. На основе имитационных моделей оцениваются предполагаемые стратегии в каждом из многих вариантов будущих миров, вследствие чего генерируется большая база данных результатов моделирования. На основе полученных результатов производится поиск возможных уязвимостей в стратегиях с целью выявить наиболее надежные из них или их комбинаций, обеспечивающих лучшие компромиссы, чем остальные существующие альтернативы.

7.2.1.4.1 Имитационная модель поражающих факторов вулканического извержения

Все поражающие факторы вулканической активности представляют собой воздействия различных форм энергии:

- механической (лахары, баллистические выбросы, выпадение тефры);
- термической (пирокластические и лавовые потоки);
- химической (газ и аэрозоли);
- электрической (молнии);
- ионизирующей (газообразный радон).

В нашей работе остановимся на первых трех из них. Классифицируем описанные выше поражающие факторы по формам воздействий, источниками которых, они являются, а также акцентируем внимание на причинах их возникновения, и возможных производных, образующихся вследствие взаимодействия факторов с условиями окружающей среды:

- вулканический пепел (механическая). Выпадая крупными фракциями (тефрой) из облаков — увеличивает нагрузку на строения; поднимаясь мелкими фракциями в стратосферу — приводит к выходу из строя самолетов;
- вулканические облака. Образуются вследствие взрывного извержения. Кроме описанного выше пепла (механическая), содержат так же различные газы, которые при взаимодействии с достаточным количеством водяного пара, выпадают в виде кислотных дождей (химическая), а поднимаясь в стратосферу, образуют аэрозоль, который может отражать часть солнечного излучения, тем самым влияя на климат;
- пирокластические потоки. Образуются вследствие взрывного извержения. Имеют высокую температуру (термическое) и скорость (механическое), являются источником вулканического газа (химическое). Могут привести к пожарам;
- лавовые потоки. Могут образовываться вследствие извержений малой интенсивности. Имеют низкую скорость (все равно механическое, т.к. выводят из строя неподвижные объекты инфраструктуры и меняют рельеф) и высокую температуру (термическое). Могут привести к пожарам;
- лахары (механическое). Могут возникать вследствие обильных осадков и тепловых аномалий, из-за которых могут подтаивать ледники на высоких вулканах. Имеют высокую скорость;
- вулканический газ (химическое). Источником может быть не обязательно взрывное извержение, описанное в пункте про облака, но и просто расщелины (существующие или образовавшиеся вследствие землетрясений). Сам по себе газ в больших количествах накапливаясь в низинах может проникать в дома и быть причиной смерти людей и домашних животных;
- вулканические цунами (механическое). Образуются вследствие взрывных извержений;
- вулканические землетрясения (механическое). Может быть причиной оползней, разрушений построек вблизи эпицентра, а также приводить к уже описанным выше извержениям (механическое) и выходам газа (химическое);
- выбросы породы (механическое). Происходят как во время взрывного извержения, так и вследствие выбросов пара из ослабленных склонов, оголяющихся при оползнях и в связи с действиями других механических факторов.

Отметим, что несмотря на то, что влияние атмосферного аэрозоля, по сути, сводится к химическому воздействию, его масштаб имеет глобальные последствия, поэтому выделим

его в отдельный вид воздействия — климатический. Сведем причинно-следственные связи всех факторов в Таблицу 23.

Таблица 23 — Систематизация причинно-следственных связей, основных поражающих факторов

Фактор причины	Фактор	Фактор следствия
Вулканическое облако	Выпадение тefры	Механические повреждения объектов подстилающей поверхности
	Мелкий пепел в атмосфере	Механическое повреждение самолетов
	Вулканический газ	Химическое воздействие осадками (кислотные дожди)
		Аэрозоль, влияющая на климат
Извержение	Ударная волна	Механические повреждения в эпицентре
	Вулканическое облако	<i>Описано в факторах</i>
	Пирокластический поток	Механические и термические повреждения объектов на пути следования, источник вулканического газа
	Вулканическое цунами	Механическое повреждение объектов прибрежной инфраструктуры
	Лавовые потоки	Механические и термические повреждения объектов на пути следования
Тепловые аномалии	Лахары	Механические повреждения объектов на пути следования
Осадки		
Расщелины	Вулканический газ	Химическое повреждение людей и животных (удушьe)
Землетрясение	Механические повреждения в эпицентре, оползни, извержения, расщелины	<i>Описано в факторах</i>
Оползни	Механические повреждения, выбросы породы	Механические повреждения объектов в зоне поражения
Высокотемпературные воздействия	пожары	Термические повреждения
Механическое воздействие высокой энергии	Оползни	<i>Описано в факторах</i>

На основе выявленных связей можно построить причинно-следственный граф поражающих факторов.

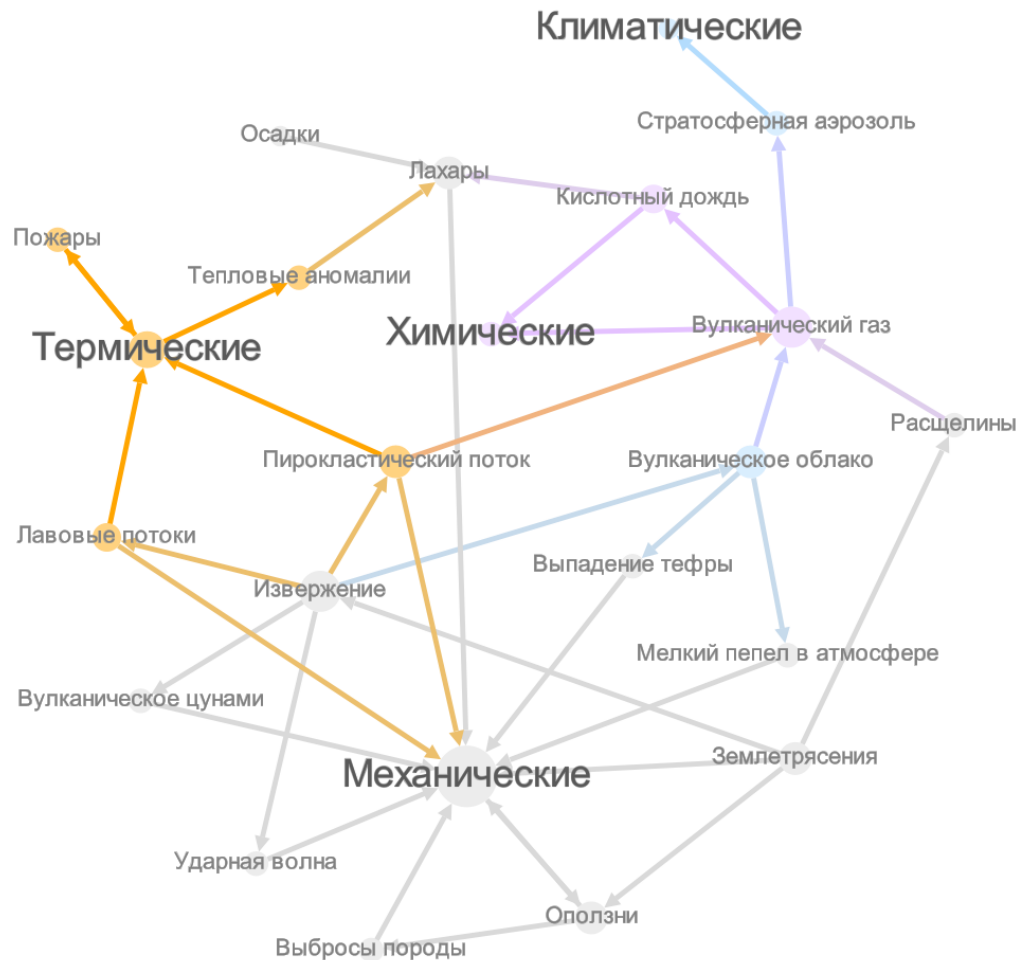


Рисунок 72 — Граф причинно-следственных связей поражающих факторов, сведенных к четырем видам воздействий (механическому, химическому, термическому и климатическому)

Как было показано выше, каждый поражающий фактор вулканического извержения в той или иной степени поддается математическому моделированию. Сведем их все в имитационную модель вулканического извержения (Рисунок 73).

На вход имитационной модели подаются начальные значения характеристик окружающей среды (сила и направление ветра, высоты рельефа, показатели влажность и т.п.) и факторов моделируемого вулканического извержения (место взрыва, мощность, количество выброшенной тефры и т.п.) в момент времени t_0 .

Для заданного состава факторов имитационная модель определяет изменение их влияния, рассчитывая значение их характеристик в следующий момент времени t_1 . В зависимости от состава полученного в результате вычислений набора характеристик, а

также учитывая причинно-следственные связи между поражающими факторами, для следующего этапа моделирования состав факторов может быть скорректирован (одни факторы сохраняют своё действие, вторы становятся причиной возникновения других, а третьи угасают и больше не оказывают ни какого воздействия). Получившиеся наборы характеристик используются на входе моделирования на следующем шаге (при расчете характеристик в момент t_2 и так далее).

На любом этапе моделирования t_k , характеристики окружающей среды и факторы вулканического извержения могут быть скорректированы (например, при получении свежих наблюдений) и учтены в расчетах.

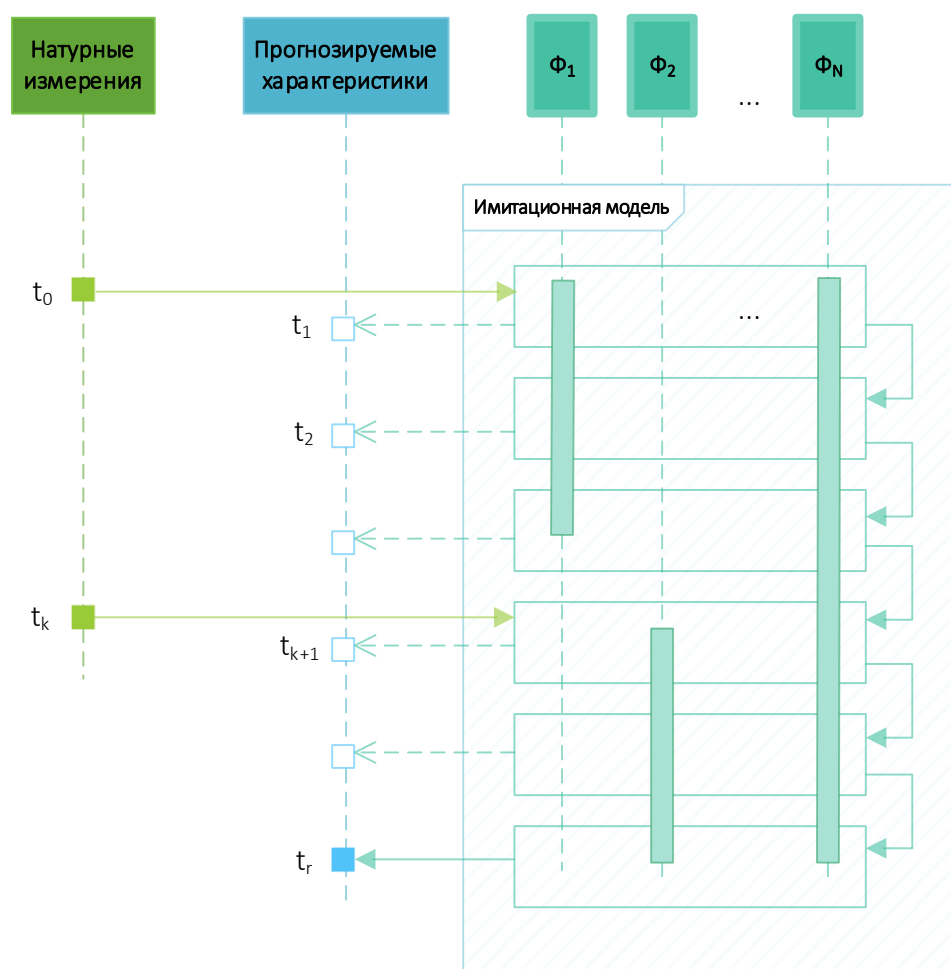


Рисунок 73 — Блок схема расчета прогнозируемых характеристик вулканического извержения на момент времени t_r посредством имитационной модели ($\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$ — модели отдельных поражающих факторов)

На основе каждого полученного в результате моделирования набора характеристик, на момент времени t_r , могут быть рассчитаны пространственные распределения

интенсивностей механического, химического, термического и климатического воздействий поражающих факторов на окружающую среду и объекты, находящиеся в ней.

7.2.1.4.2 Концепция сценарного анализа с использованием имитационной модели

Так как необходимые данные и модели, способные прогнозировать сам факт извержения, на данный момент отсутствуют, то единственным выходом является анализ различных сценариев их возможных прохождений.

Модели, лежащие в основе такого анализа, не должны быть слишком громоздкими для вычислений, так как в случае реального извержения, у органов, принимающих решения, может не быть мощных вычислительных средств, а также времени на детальные расчеты. При этом они будут остро нуждаться в динамически адаптивном, заранее созданном плане действий, обеспечивающим им поиск адекватного алгоритма реагирования на конкретную ситуацию. Такой алгоритм в случае получения новых данных должен иметь возможность незамедлительно подстроиться и обеспечить необходимой информацией для принятия решений органы власти. Что и обеспечивает предложенная выше имитационная модель.

Проведя моделирование во всем диапазоне возможных начальных условий и определив множество соответствующих им будущих миров, аналитики смогут оценить в каждом из них степень успешности стратегий, предлагаемых для противостояния поражающим факторам. Предпочтение следует отдавать не тем стратегиям, которые дают наилучшие результаты в ограниченном количестве миров, а тем, которые дают приемлемые результаты в подавляющем их большинстве.

Кроме инструментария для принятия решений в условиях глубокой неопределенности, имитационная модель может так же может быть использована для прогноза опасности поражающих факторов уже произошедшего извержения. Уточнив диапазон начальных условий моделирования на основе имеющийся информации (данные дистанционного зондирования, видео материалы очевидцев, местного прогноза погоды и т.п.) возможно получить достаточно надежный прогноз будущего мира в краткосрочной перспективе и значительно сузить количество возможных будущих миров в долгосрочной. Постоянно уточняя условия моделирования на основе поступающей информации, возможно поддерживать актуальность прогноза, что позволит специалистам оперативно адаптировать тактику и стратегию противостояния катастрофе.

7.2.1.5 Выводы

В ходе проведенных исследований, был проведен анализ научных работ, на предмет поиска возможных математических моделей различных поражающих факторов

вулканической активности (вулканический пепел [710], вулканические облака [711], пирокластические потоки [712], лавовые потоки [713], лахары [714], вулканический газ [715], вулканические цунами [716], выбросы породы [717]). Все поражающие факторы вулканической активности были классифицированы по видам воздействий: механическому, химическому, термическому и климатическому. Между факторами были установлены причинно-следственные связи, результат представлен в виде графа. Была предложена имитационная модель поражающих факторов вулканического извержения.

Работа содержит широкий сектор структурированных теоретических материалов, на основе которых возможно приступить непосредственно к имитационному моделированию различных сценариев прохождения конкретного вулканического извержения.

Результаты проведенных исследований нашли отражение в [718].

7.2.2 Анализ существующих баз данных, которые могут быть использованы для предсказания природных катастроф

7.2.2.1 Актуальность

В современном мире масштаб и частота катастроф и чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера увеличиваются с каждым годом за счет глобального потепления и большего использования передовых технологий, безопасность которых может быть не полностью изучена, поэтому необходимость учета этих стихийных бедствий продолжает сохраняться. Кроме того, такие базы данных представляют собой инструмент первостепенной важности для различных учреждений и организаций в управлении процессами по предупреждению, предотвращению и реагированию на чрезвычайные ситуации. В данном отчете рассмотрены некоторые базы данных, которые могут быть использованы для решения задач этой области.

7.2.2.2 Основные базы данных для предсказания природных катастроф

Набор данных EM-DAT: The International Disaster Database

В базе данных по чрезвычайным ситуациям EM-DAT [719] содержится информация примерно о 21000 фактов природных и техногенных катастроф и их последствиях по всему миру за более чем столетний период наблюдений (с 1900 года по настоящий день). По каждой катастрофе в наборе данных содержится около 40 признаков (тип катастрофы, локация, продолжительность, количество смертей, количество пострадавших, убытки и другие).

Чтобы быть зарегистрированным в EM-DAT как катастрофа или стихийное бедствие, событие должно соответствовать, по крайней мере, одному из следующих критериев:

- 10 и более человек погибших;
- 100 или более человек пострадавших;
- объявление о чрезвычайном положении;
- обращение за международной помощью.

В данных критериях число погибших суммируется с пропавшими без вести, а число пострадавших складывается из людей, получивших физические повреждения, заболевания, людей, нуждающихся в немедленной помощи, а также людей чей дом был разрушен.

EM-DAT различает две общие категории бедствий: природные и техногенные.

Природные:

- биологические: эпидемии, несчастные случаи с животными, нашествие насекомых-вредителей;
- внеземные: воздействие, космическая погода;
- климатические: засуха, лесные пожары;
- метеорологические: шторм, экстремальные температуры, туман;
- гидрологические: наводнения, оползни, волновое воздействие;
- геофизические: землетрясения, вулканическая активность.
- Техногенные:
- промышленные аварии: химический выброс, разрушения, пожар, утечка газа, отравление, разлив нефти;
- транспортные происшествия: воздушные, дорожные, водные, ж/д;
- несчастные случаи: крушение, взрыв, пожар.

Для данной базы данных существует EDA (Разведочный анализ данных) [720].

Набор данных HumAID (Human-Annotated Disaster Incidents Data)

Социальные сети широко используются для обмена информацией, особенно во время таких событий, как стихийные бедствия. Контент социальных сетей зачастую слишком зашумлен для прямого использования, поэтому важно фильтровать, классифицировать и кратко обобщать доступный контент, чтобы облегчить принятие решений.

Набор данных HumAID [721] состоит из 77 тысяч твитов, аннотированных вручную, которые были собраны во время 19 крупных стихийных бедствий, включая землетрясения,

ураганы, лесные пожары и наводнения, которые произошли с 2016 по 2019 годы в разных частях мира. Набор данных состоит только из твитов на английском языке, подробное его описание можно найти в [722]. Данный набор данных заинтересовал исследователей и на его основе написано ряд работ [723]. Аннотации в представленных наборах данных состоят из следующих категорий:

- гуманитарные категории;
- предостережения и советы;
- перемещенные люди и эвакуация;
- «не знаю, не могу судить»;
- ущерб инфраструктуре;
- раненые или мертвые люди;
- пропавшие без вести или найденные люди;
- не гуманитарные вопросы;
- другая важная информация;
- запросы или срочные потребности;
- спасательное волонтерство или пожертвование;
- сочувствие и поддержка.

7.2.2.3 Прочие наборы данных

IRI/LDEO Climate Data Library [724]

Библиотека данных IRI — это свободно доступное онлайн-хранилище данных и инструмент анализа, который позволяет пользователю просматривать, анализировать и загружать сотни терабайт данных, связанных с климатом. Данный инструмент предлагает пользователю следующий функционал бесплатно:

- доступ к данным;
- доступ к функционалу для анализа данных (от простого усреднения до более сложного EOF анализа);
- отслеживание текущих климатических условий с помощью карт и анализа в Maproom;
- создание визуального представления данных, включая анимацию;
- загрузка данных в различных широко используемых форматах.

DATA.GOV: Data Catalog [725]

DATA.GOV — доступная для поиска совокупность тысяч наборов данных правительства США по различным темам, включая сельское хозяйство, экосистемы, климат и океан.

Socioeconomic Data and Applications Center: Hazards and Disaster Risk Datasets External [726]

Предоставляет десятки наборов данных о стихийных бедствиях и катастрофах, а также карты и другие ресурсы.

National Centers for Environmental Information: Severe Weather Data Provides information through the Storm Events Database, Severe [727]

Предоставляет информацию через базу данных штормовых событий, реестр данных о суровой погоде и данные об ударах молний.

National Hurricane Center Data Archive [728]

Обеспечивает доступ к отчетам, рекомендациям, картам и истории штормов.

National Oceanic and Atmospheric Administration [729]

Галерея наборов данных, обеспечивает доступ к десяткам наборов данных, курируемых NOAA, о погоде в прошлом, средних температурах и суровых погодных условиях.

7.2.2.4 Резюме

Несмотря на то, что не все описанные базы данных подойдут для использования в РФ. Например, из-за различной методологии подсчета пострадавших [730] или «твитов» на иностранном языке описанные наборы данных могут подходить для корректировки оценки ущерба. Для предсказаний в мировом масштабе представленные выше наборы данных активно используются на практике.

7.2.3 Разработка и исследование методов предсказания природных катастроф на основе модели суперпозиции процедур многокритериального выбора

7.2.3.1 Актуальность

Джокеры представляют собой события, резко меняющие параметры системы и приводящие ее, по сути, в другой режим функционирования. На данных это отражается в смене характера временных рядов, описывающих функционирование системы, когда меняется тренд, волатильность или сама модель описания процесса. На длинных временных рядах появление джокеров, имеющих временный характер влияния на систему, часто отражается как гетероскедастичность ряда, когда изменение значений ряда (волатильность) имеет разный масштаб на разных временных промежутках и в данных видна тенденция к

кластеризации отклонений от средних значений. Пример такого временного ряда приведен на рисунке 74 — это сейсмограмма землетрясения на озере Эри магнитудой 4,0, произошедшего 10 июня 2019 года, записанная на сеймостанции Мичиганского университета в Энн-Арборе [731].

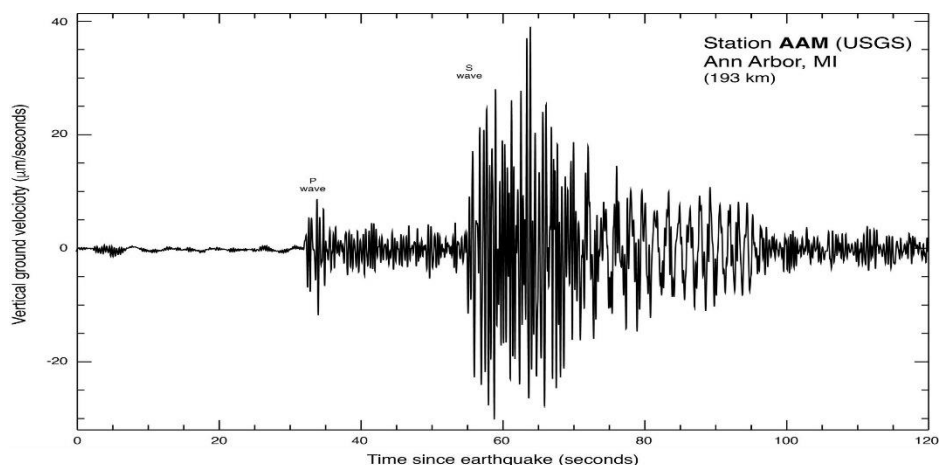


Рисунок 74 — Пример временного ряда с кластерной структурой

Здесь отчетливо видно, как наступление землетрясения резко меняет поведение ряда (показаний датчиков), однако с течением времени ситуация стабилизируется и показатели временного ряда вновь становятся мало волатильными и в целом похожими на показатели ряда до появления джокера.

Применительно к сейсмическим явлениям (но и не только к ним) наряду с традиционными методами анализа временных рядов с помощью эконометрических моделей широко используется также модель процессов Хоукса, которые естественным образом описывают свойство так называемого «самовозбуждения», когда произошедшее событие оказывает влияние на будущее поведение процесса и увеличивает появление еще одного события. Интенсивность процесса Хоукса зависит как от функции базовой интенсивности, носящей в классической модели Хоукса неслучайный характер и моделирующей влияние на процесс экзогенных факторов (системный риск появления джокера), так и от функции ядра, в котором реализована зависимость появления новых событий от предыстории, формирующая эндогенный характер возможного появления джокера.

Тем не менее, приведенный пример с сейсмическим процессом (на рисунке 74) показывает, что во временном ряде могут быть периоды разного поведения системы, в которых сама базовая интенсивность явным образом меняется, что формирует разные периоды временного ряда с похожей внутренней структурой внутри каждого периода —

когда есть кризисные периоды с высокой волатильностью системы и периоды более спокойного поведения системы (с наличием, тем не менее, отдельных отклонений и возможно появлением джокеров малого масштаба). Поэтому для моделирования подобных временных рядов предложена модификация процессов Хоукса, в которых базовая интенсивность является случайной величиной с двумя возможными значениями, управляемой дискретной цепью Маркова. Вероятности нахождения цепи в том или ином состоянии будут оцениваться с помощью фильтра Гамильтона [732].

7.2.3.2 Основная часть

7.2.3.2.1 Процессы Хоукса

Пусть $(\Omega, \mathcal{F}, P)$ — вероятностное пространство, моменты времени $\{t_i: 0 = t_0 < t_1 < t_2 < \dots\}$ составляют точечный процесс и обозначают моменты наступления событий (это могут быть как сами джокеры, так и моменты изменения состояния системы в ответ на появление джокеров). Процесс $N(t) = N_t = \sum_{i \in N^*} 1_{\{t_i \leq t\}}$, показывающий сколько событий наступило к моменту времени t , называется считающим процессом.

Интенсивность процесса описывает среднее число событий в единицу времени

$$\lambda(t|\mathcal{F}_t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} E \left[\frac{N(t + \Delta t) - N(t)}{\Delta t} | \mathcal{F}_t \right] \quad (19)$$

или, эквивалентным образом, вероятность появления события

$$\lambda(t|\mathcal{F}_t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P[N(t + \Delta t) - N(t) > 0 | \mathcal{F}_t]}{\Delta t}. \quad (20)$$

В процессах Хоукса функция интенсивности процесса записывается следующим образом:

$$\lambda(t) = \lambda_0(t) + \sum_{t_i < t} v(t - t_i), \quad (21)$$

где $\lambda_0: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}_+$ обозначает детерминированную «базовую» интенсивность, а функция $v: \mathbb{R}_+ \rightarrow \mathbb{R}_+$ отражает влияние произошедших событий в моменты времени t_i на текущее значение интенсивности.

В пионерской работе Хоукса [733], предложившего эту модель случайного процесса, в качестве ядра используется следующая функция

$$v(t) = \sum_{j=1}^P \alpha_j e^{-\beta_j t}. \quad (22)$$

В наиболее простом случае, когда есть только одна составляющая влияния прошлых событий на будущие и есть только постоянный системный риск (базовая интенсивность), интенсивность процесса Хоукса задается как

$$\lambda(t) = \lambda_0 + \sum_{t_i < t} \alpha e^{-\beta(t-t_i)}. \quad (23)$$

Здесь параметр α задает «скачок» интенсивности вероятности появления последующих событий при появлении очередного события, а параметр β определяет скорость снижения интенсивности обратно к базовому уровню с течением времени.

Процессы Хоукса широко используются в предсказании землетрясений [734, 735, 736].

7.2.3.2.2 Марковские цепи

Рассмотрим случайные процессы с дискретным временем и дискретным пространством возможных состояний в каждый момент времени.

Цепи Маркова служат одним из основных инструментов моделирования сложных систем, когда изучаемая система θ_t в момент времени t может находиться в одном из состояний из множества возможных состояний $s_t \in S = \{1, \dots, N\}$, а ее функционирование определяется последовательными случайными переходами между состояниями, причем вероятность выбора определенного состояния зависит только от текущего состояния цепи, но не от ее предыдущей истории:

$$\Pr[\theta_{t+1} = s_{t+1} | \theta_0 = s_0, \theta_1 = s_1, \dots, \theta_t = s_t] = \Pr[\theta_{t+1} = s_{t+1} | \theta_t = s_t]. \quad (24)$$

Это свойство называется свойством отсутствия памяти или марковским свойством.

Пусть матрица $P \in M_{NN}$ обозначает матрицу переходов между N состояниями в цепи Маркова и p_{ij} — это вероятность перехода из состояния i в состояние j . Ограничимся простым случаем, когда цепь Маркова однородна, то есть вероятности перехода не зависят от времени и являются константами. Благодаря марковскому свойству динамику системы

описывать достаточно просто, если известны начальное распределение вероятностей p_0 состояния системы (в момент времени t_0) и матрица переходов:

$$\Pr[\theta_{t+1} = s_{t+1}] = \sum_{s_t \in S} \Pr[\theta_t = s_t] Pr[\theta_{t+1} = s_{t+1} | \theta_t = s_t] = \sum_{s_t \in S} p_i(s_t) p_{ij}. \quad (25)$$

Марковская цепь называется эргодической, если возможно перейти из любого состояния системы в любое другое ее состояние за $t > 0$ шагов, так что $p_{ij}^t > 0$. При этом марковская цепь называется регулярной, если существует число k , такое что переход из любого состояния в любое другое состояние может быть совершен за k шагов. В этом случае при любом начальном распределении вероятностей p^0 существует предел распределения вероятностей между значениями цепи $\lim_{t \rightarrow \infty} p_{ij}^t$, который равен $\lim_{t \rightarrow \infty} p_{ij}^t = w$, такой что $w = wP$. То есть существует стационарное распределение, которое не меняется с течением времени и не зависит от исходных параметров.

Пусть изучаемые процессы могут быть описаны двумя возможными состояниями системы $S = \{Low, High\}$, которые отражают низкий и высокий уровень системного риска вследствие каких-либо внешних факторов. Такая модель соответствует наличию двух уровней базовой интенсивности в модели Хоукса: состояния λ_L и состояния λ_H , которые будут описывать функционирование системы в периоды отсутствия джокера и после его появления (аналогично поведению сейсмических датчиков при отсутствии землетрясения и после его начала). Логично предположить, что для соответствия поведения процесса реальным данным требуется иметь малые значения вероятностей переключения между этими состояниями, поскольку периоды кризисных, высоких значений системного риска не должны быть частыми и не должны слишком быстро заканчиваться.

7.2.3.2.3 Оценка параметров процесса Хоукса с базовой интенсивностью, управляемой марковской цепью

Для оценки параметров процесса Хоукса используется оптимизация функции правдоподобия с предварительной фильтрацией Гамильтона для предсказания режима функционирования системы, то есть уровня базовой интенсивности. Пусть $O_j, j = 1, \dots, l$ обозначают моменты наступления событий (резкие скачки показателей сейсмографа, например).

Обозначим как Θ набор параметров процесса Хоукса и цепи Маркова, которые мы хотим определить, то есть $\Theta = \{\lambda_L, \lambda_H, \alpha, \beta\}$. Пусть $f(O_k | \Theta, O_1, \dots, O_{k-1})$ — Обозначим как Θ набор параметров процесса, которые мы хотим определить, $f(t_k | \Theta, t_1, \dots, t_{k-1})$ — это

функция плотности вероятности наступления события t_k при заданных параметрах Θ и предыстории процесса, т.е. моментов наступления прошлых событий $O_1, \dots, O_{k-1}$. Тогда логарифм функции правдоподобия будет равен

$$\log L = \log f(O_1|\Theta) + \log f(O_2|\Theta, O_1) + \log f(O_3|\Theta, O_1, O_2) + \dots + \log f(O_n|\Theta, O_1, \dots, O_{n-1}). \quad (26)$$

В фильтре Гамильтона условная вероятность новых событий по формуле Байеса равна

$$\begin{aligned} f(O_k|\Theta, O_1, \dots, O_{k-1}) \\ = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l p_i(t_{k-1}|\Theta, O_1, \dots, O_{k-1}) p_{ij}(t_{k-1}, t_k|\Theta) \\ \times f(O_k|\Theta, \theta_{k-1} = i, \theta_k = j), \end{aligned} \quad (27)$$

где $p_i(t_{k-1}|\Theta, O_1, \dots, O_{k-1})$ — это вероятность нахождения в состоянии i в момент времени t_{k-1} , при условии предыстории, $p_{ij}(t_{k-1}, t_k|\Theta)$ — это вероятность перехода из состояния i в момент t_{k-1} в состояние j в момент времени t_k при заданных параметрах Θ .

Вероятности $p_i(t_{k-1}|\Theta, O_1, \dots, O_{k-1})$ могут быть найдены рекурсивно из $f(O_{k-1}|\Theta, O_1, \dots, O_{k-2})$ по правилу:

$$\begin{aligned} p_i(t_{k-1}|\Theta, O_1, \dots, O_{k-1}) \\ = \frac{\sum_{j=1}^N p_j(t_{k-2}|\Theta, O_1, \dots, O_{k-2}) p_{ji}(t_{k-2}, t_{k-1}|\Theta) f(O_{k-1}|\Theta, \theta_{k-1})}{f(O_{k-1}|\Theta, O_1, \dots, O_{k-2})}. \end{aligned} \quad (28)$$

Для начала рекурсивного определения вероятностей нам необходимо задать $f(O_1|\Theta)$. Воспользуемся наличием стационарного состояния цепи Маркова и определим $f(O_1|\Theta)$ следующим образом

$$f(O_1|\Theta) = \sum_{i=1}^N p_i(\Theta) f(O_1|\Theta, \theta_1 = i), \quad (29)$$

где $p_i(\Theta)$ являются вероятностями стационарного распределения марковской цепи.

Предложенная модель и процедура оценки ее параметров с помощью фильтра Гамильтона была реализована в среде R и проведены расчеты для различных реализаций и наборов параметров системы.

Приведем далее результаты нескольких реализаций процесса Хоукса, управляемого цепью Маркова и оценки его параметров. Везде был симулирован процесс на 500 шагов, базовая вероятность принимала два возможных значения $\{\lambda_H = 5, \lambda_L = 1\}$ с матрицей перехода между состояниями $P = \begin{pmatrix} 0.95 & 0.05 \\ 0.01 & 0.99 \end{pmatrix}$. Параметр ядра процесса Хоукса были равны $\alpha = 0.5, \beta = 0.7$.

На рисунке 75 приведен пример одной реализации процесса, когда система дважды на достаточно длительное время переключалась в состояние с повышенной базовой интенсивностью.

В верхней части рисунка ступенчатой функцией отмечены моменты изменения базовой интенсивности процесса Хоукса вследствие переключения в цепи Маркова между состояниями L и H, а также приведен сам процесс (по вертикальной оси частота наступления событий в день) — хорошо видно, как в периоды высокой λ_H базовой интенсивности частота появления событий в симулированном процессе с такими характеристиками намного выше, чем в периоды низкой λ_L базовой интенсивности, при этом всегда (и в периоды с высокой, и в периоды с низкой λ_0) наблюдается кластерная структура событий, когда есть «всплески» из-за наличия функции ядра в процессе Хоукса, повышающего вероятность появления нового события при появлении очередного события — только в периоды с λ_H такие кластеры становятся более концентрированными и случается больше событий. В нижней части рисунка приведены вновь моменты переключения базовой интенсивности процесса Хоукса между состояниями и вероятность перехода от состояния λ_L к состоянию λ_H , оцененная фильтром Гамильтона.

Видно, что хотя в периоды низкой базовой интенсивности при наступлении небольшого числа событий вследствие самовозбуждающейся природы процесса Хоукса фильтр периодически ошибается, повышая вероятность перехода в состояние системы с λ_H вместо λ_L , но все же быстро возвращается к корректному прогнозу состояния и в целом неплохо предсказывает поведение временного ряда и параметры системы — оценки параметров этой реализации равны $\hat{\lambda}_H = 6.74, \hat{\lambda}_L = 1.46, \hat{\alpha} = 0.44, \hat{\beta} = 0.69$ при истинных параметрах $\lambda_H = 5, \lambda_L = 1, \alpha = 0.5, \beta = 0.7$.

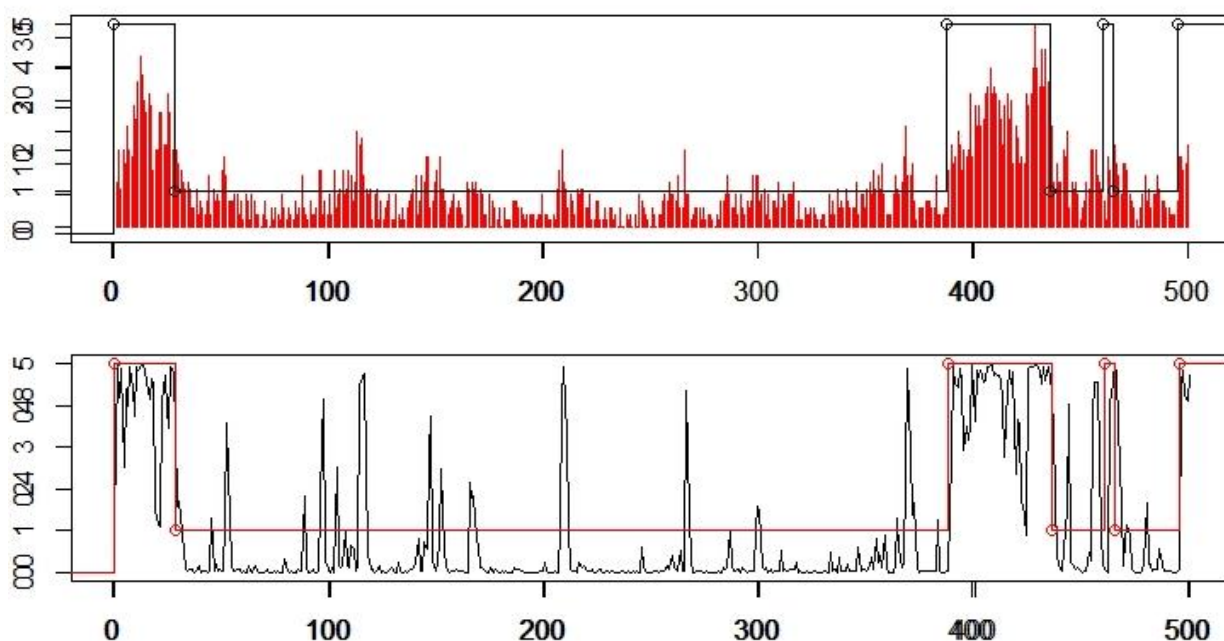


Рисунок 75 — Первый пример реализации процесса Хоукса с переменной базовой интенсивностью, управляемой цепью Маркова

К сожалению, если цепь Маркова переключается из состояния λ_L в состояние с λ_H на достаточно короткие периоды времени, то алгоритм оценки параметров работает нестабильно. На рисунке 76 приведен пример другой реализации процесса, когда система переключалась в состояние с повышенной базовой интенсивностью на более короткие промежутки времени. Аналогично первому рисунку сверху приведены моменты переключения цепи между режимами λ_L и λ_H , а также сам процесс, снизу — вновь моменты переключения цепи и оценки фильтром Гамильтона вероятности перехода от λ_L к λ_H . Видно, что фильтр Гамильтона в этой ситуации часто неверно оценивает состояние системы — в периоды низкой базовой интенсивности, когда кластеры событий возможны вследствие ядра как внутреннего механизма процессов Хоукса к генерациям новых событий из-за предыстории, фильтр почти сразу значительно повышает вероятность переключения на режим с высоким базовым уровнем интенсивности, хотя почти моментально возвращает свою оценку к базовому уровню. При этом такое поведение фильтра наблюдается даже в периоды действительного переключения цепи и в результате фильтр Гамильтона оказался практически неспособен различить реальные моменты смены базовой интенсивности и периода системы в кризисный режим. Хотя в целом в этом примере программа неплохо предсказывает параметры самого процесса Хоукса: оценки параметров этой реализации равны $\hat{\lambda}_H = 5.61, \hat{\lambda}_L = 0.64, \hat{\alpha} = 0.6, \hat{\beta} = 0.69$ при истинных

параметрах

$$\lambda_H = 5, \lambda_L = 1, \alpha = 0.5, \beta = 0.7.$$

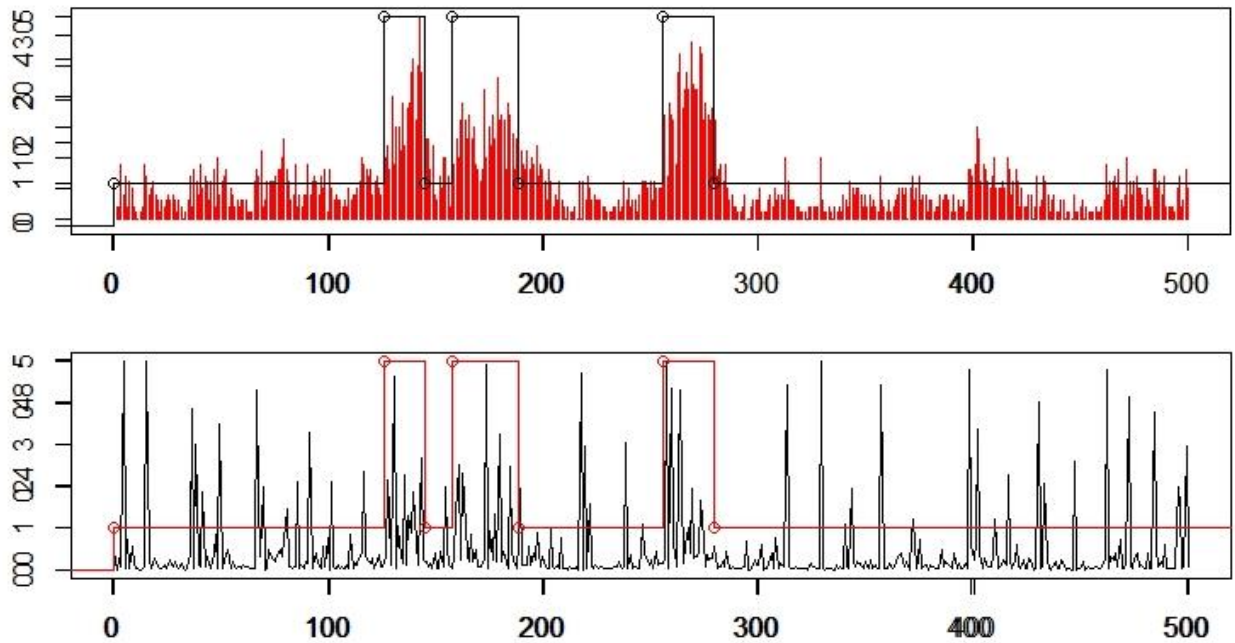


Рисунок 76 — Второй пример реализации процесса Хоукса с переменной базовой интенсивностью, управляемой цепью Маркова

Также, если цепь Маркова переключается в состояние с λ_H на достаточно короткие периоды времени, то при неплохом распознавании фильтром Гамильтона состояния цепи Маркова могут быть хуже оценки самого процесса Хоукса. На рисунке 77 приведен пример еще одной реализации процесса, когда при достаточно корректной оценке состояния цепи, управляющей процессом переключения базовой интенсивности оценки параметров процесса $\hat{\lambda}_H = 7.28, \hat{\lambda}_L = 1.21, \hat{\alpha} = 0.48, \hat{\beta} = 0.67$ хуже, чем в первых двух реализациях (при $\lambda_H = 5, \lambda_L = 1, \alpha = 0.5, \beta = 0.7$). Несмотря на сравнительно неплохие оценки параметров ядра процесса Хоукса, все же программа сильно завышает оценки значений базовой интенсивности, что может привести к некорректному прогнозу по модели.

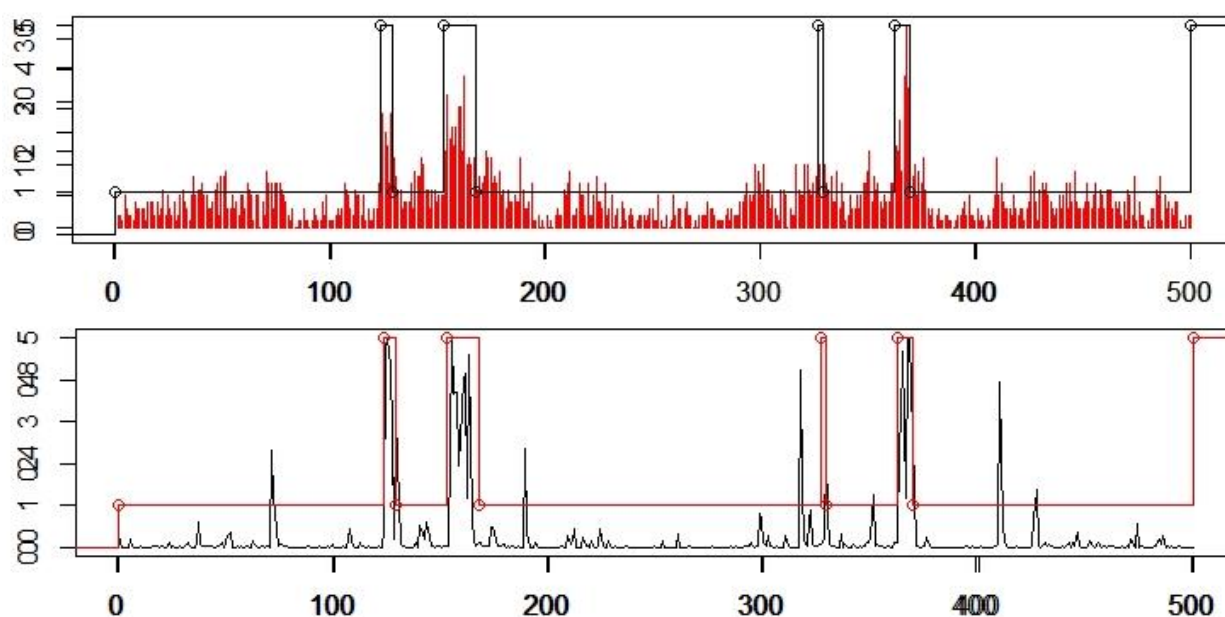


Рисунок 77 — Третий пример реализации процесса Хоукса с переменной базовой интенсивностью, управляемой цепью Маркова

Таким образом, предложенная модель процесса Хоукса с переменной базовой интенсивностью, управляемой цепью Маркова, в целом неплохо описывает поведение системы, функционирующей в разных режимах, и алгоритм оценки параметров такой модели способен определять моменты переключения режимов и параметры самого процесса при определенных условиях, когда в данных есть достаточно много долгих периодов в режиме повышенной базовой интенсивности.

7.2.3.3 Выводы

В данной части отчета была рассмотрена модель временного ряда с кластерной структурой для моделирования появления джокеров и оценки степени их влияния. Процессы Хоукса позволяют моделировать сложный характер процесса, когда будущие значения временного ряда могут зависеть от прошлых значений. Эта модель дополнена переменной базовой интенсивностью, управляемой дискретной цепью Маркова для описания разного характера данных при наступлении джокера и в обычном состоянии системы. Предложен алгоритм оценки параметров такого процесса с помощью фильтра Гамильтона.

Результаты проведенных исследований нашли отражение в [737].

7.2.4. Ретроспективный анализ разработанных суперпозиционных методов прогнозирования на примере одного из видов природных катастроф

В данной части отчета приведен анализ методов (в том числе и суперпозиционных моделей) к прогнозированию торнадо.

Суперпозиционный подход к прогнозированию торнадо был описан в [738]. Этот подход состоит в использовании методов анализа данных для выявления смерчевых вихрей по совокупности наблюдений. Точнее: методами анализа данных находятся основные закономерности между различными характеристиками параметров вихря и по этим закономерностям выявляются среди вихрей вихри-торнадо. Переменные, принятые для прогнозирования возникновения торнадо анализируются с использованием модели, основанной на суперпозиции нескольких процедур выбора. Построенная модель тестируется на базе данных смерчевых (вихревых) событий в атмосфере.

Существует множество процедур, позволяющих выбирать альтернативы из исходного набора данных, заданных вектором параметров. Такие процедуры имеют различную вычислительную сложность. Смысл применения суперпозиции процедур выбора состоит в том, что на большом (исходном) наборе данных применяются простые с вычислительной точки зрения процедуры, а затем, более сложные процедуры применяются на сокращенном наборе данных.

Суперпозиционная процедура выбора состоит в следующем. Из исходного набора объектов, описанных вектором параметров, отбираются события, отнесенные к выбранным суперпозиции нескольких функций выбора. Использование суперпозиции позволяет уменьшить сложность за счет применения методов с низкой вычислительной сложностью на начальных этапах и более точных методов на конечных этапах. Такие модели можно применять к большим наборам данных. Кроме того, суперпозиционный подход позволяет комбинировать разные модели выбора, используя одновременно несколько (разных) показателей на каждом шаге.

Проведено сравнение результатов предсказания торнадо по показателю Critical Success Index (CSI) с помощью суперпозиции надпороговых процедур с одной стороны, и с помощью ряда известных методов: SVM, logit перцепция, Random Forest Method (RANF), Rotation Forest Method (ROTF), с другой стороны. Здесь показатель CSI, являющийся отношением правильных предсказаний (true positive) к сумме всех остальных вариантов предсказаний, был посчитан на наборах данных 50/50 (обучающая/тестовая выборки).

Предложенный метод показал превышение в проценте распознавания, по сравнению с известными методами, на 4% (до 61%).

Из других подходов к прогнозированию торнадо можно выделить следующие.

В [739] авторами предложено использовать модель Support Vector Machines (SVM) для прогнозирования торнадо. В предложенной модели алгоритм строит гиперплоскость, которая разделяет набор элементов на два класса (например, торнадо и не-торнадо). Определяющая функция представлена, как скалярное произведение двух векторов. Первый из векторов представляет собой вектор предикторов, таких как скорость ветра, температура, давление воздуха на поверхности, относительная влажность на разных высотах, и т. д. В свою очередь, второй вектор состоит из весовых коэффициентов, которые показывают важность каждого из параметров, характеризующих торнадо, для процесса прогнозирования. Один из методов представляет собой усовершенствование вышеупомянутого метода Support Vector Machines с устранением обратных признаков (SVM-RFE). Согласно такому подходу, вычисления производятся в два этапа. На первом этапе необходимо реализовать стандартный алгоритм SVM и получить весовые коэффициенты для атрибутов (признаков) торнадо. После этого, на втором этапе, из списка признаков исключается атрибут, имеющий наименьшее значение весового коэффициента. Далее алгоритм итеративно продолжается до тех пор, пока не останется только один параметр.

В итоге, в результате осуществления такого процесса исключения параметров, полученная последовательность исключаемых атрибутов преобразуется в ранжирование параметров по следующему правилу. Номер (ранг) атрибута в рейтинге определяется, как количество итераций (назад), от конца процесса исключения, до того шага, на котором атрибут был исключен. Однако ранжирование — не единственная цель этого метода. Так как некоторые предикторы могут не помочь отличить торнадо от случаев, не связанных с торнадо, и, возможно, привести к ухудшению способности метода к обнаружению торнадо. Например, это может выражаться в росте ошибок первого или второго рода (росту числа не распознанных торнадо в первом случае, или росту числа ложных тревог, т.е. прогнозирования вихрей, как торнадо, в тех случаях, когда они торнадо не являются). Поэтому на последнем шаге алгоритма SVM-RFE производится отбор количества предикторов, и самих предикторов, которые используются для обнаружения торнадо. Для этого оценивается точность метода, в зависимости от количества используемых

предикторов (важно отметить, что алгоритм использует только атрибуты с наивысшим рангом).

Другой метод [740], предложенный для прогнозирования торнадо — это подход с использованием нейронных сетей. Основная идея заключается в построении нелинейной функции, которая отображает входные действительные переменные в числа от 0 до 1. В наиболее популярной версии нейронной сети используется трехслойная сеть персептрона. Такая нейронная сеть имеет один скрытый слой нейронов.

Метод случайного леса (RANF), разработанный в [741] и широко используемый в различных прикладных областях, был применен к задаче прогнозирования торнадо. Метод представляет собой групповой классификатор с несколькими деревьями решений, в котором каждое дерево обучается на своей части атрибутов, выбранных случайным образом. Таким образом, прогнозы по всем деревьям агрегируются по классификации, основанной на большинстве голосов по всем классификаторам. Другой предложенный алгоритм — это метод ротационного леса (ROTF), использованный в работе. Этот метод производит анализ главных компонент (PCA) для выделения атрибутов, которые используются для построения леса решений. Такой лес состоит из деревьев решений, которые обучаются на всем наборе данных во вращаемом (вокруг осей) пространстве признаков. Набор параметров случайным образом разделен на k групп. Алгоритм PCA выполняется одновременно в каждой группе. В результате генерируются k классификаторов, составляющих один классификационный инструмент. Этот инструмент работает так же, как RANF: классификация основана на большинстве голосов по всем деревьям. Важно отметить, что все вышеупомянутые методы имеют не очень высокую точность, а именно, рассмотренные методы обнаруживают лишь часть торнадо (более 25% всех торнадо не распознаются, как торнадо). Кроме того, значительная часть сигналов о наличии торнадо (около 20%) является ложной тревогой, что также учитывается в индексах оценки качества прогноза. Таким образом, общая точность этих методов (от 51% до 57%) недостаточно высока для полезного применения в реальных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние годы наблюдается быстрый рост числа слабопредсказуемых угроз (событий-джокеров) (пандемия COVID-19, геополитическая напряженность, скачок развития новых технологий и т.д.). Джокеры и их комбинации оказывают значительное влияние на экономику, политику, социальную сферу, экологию и др. Наряду с джокерами техногенного и природного характера для России сегодня особую актуальность приобретают джокеры, связанные с санкционным давлением со стороны зарубежных стран.

Актуальность решения указанных проблем обусловлена необходимостью поиска инструментов для раннего предупреждения возможности наступления событий чрезвычайного характера и выработки мер по снижению возможных издержек (в том числе экономических) на страновом и глобальном уровнях, а также влиянием таких событий на глобальные экономические процессы. Особое значение данные проблемы приобрели из-за возникновения нового типа чрезвычайных ситуаций, связанных с применением санкционных ограничений.

В результате исследования были реализованы следующие ключевые задачи. Был проведен системный анализ причин возникновения слабопредсказуемых событий различных типов. Были исследованы взаимосвязи между джокерами и комбинациями джокеров. Проведена приоритизация слабопредсказуемых событий с учетом различных типов джокеров и возникающих эффектов в случае их реализации (с помощью проведения экспертного опроса). Была сформирована обширная база данных джокеров (более 150 джокеров, описанных по шаблону с указанием классификационных признаков).

Был сделан обзор отдельных, наиболее релевантных моделей и методов принятия решений по предупреждению и противодействию джокерам в зависимости от типов джокеров. Проведены анализ применимости отдельных типов моделей и методов принятия решений к определенным типам джокеров, а также пилотирование платформенных моделей и методов принятия решений для оценки и прогнозирования джокеров различных типов, в том числе: разработаны новые модели и методы по выявлению критических рёбер (путей, подграфов) сетевых структур; исследованы возможности применения методов суперпозиции данных при решении задач предсказания природных катастроф (на примере одного из видов таких катастроф).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Wilkinson A., Eidinow E. Evolving Practices in Environmental Scenarios: A New Scenario Typology // *Environmental Research Letters*. – 2008. – Vol. 3. – P. 1–11. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/3/4/045017/pdf>.
2. ван Рай В. Зарождающиеся тенденции и «джокеры» как инструменты формирования и изменения будущего // *Форсайт*. – 2012. – Т. 6. – №. 1. – С. 60–73. – URL: <https://foresight-journal.hse.ru/data/2013/03/29/1294347383/6-vanRij-60-73.pdf>.
3. Taleb N.N. (2007) *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable*, Penguin Books Ltd, London.
4. Berger R. (2023) *Foresight 2023*. – URL: https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/RB_Foresight_2023_EN.pdf.
5. ETUI (2023) *Strategic Foresight Using The ‘ETUI Future Scenarios for 2050’ To Respond More Effectively to Multiple Crises* – URL: https://www.etui.org/sites/default/files/2023-06/Strategic%20foresight-Using%20the%20ETUI%20future%20scenarios%20for%202050%20to%20respond%20more%20effectively%20to%20multiple%20crises_2023.pdf.
6. CSIS (2023) *Global Foresight: Preparing for Future Trends*. – URL: <https://www.csis.org/executive-education/courses/global-foresight-preparing-future-trends>.
7. Future Today Institute (2022) *2022 Tech Trends Report*. – URL: <https://futuretodayinstitute.com/trends>.
8. Sornette D., *Dragon-Kings, Black Swans and the Prediction of Crises* // *International Journal of Terraspace Science and Engineering*. – 2009. – 18 p.: R.G. Geller, D.D. Jackson, Y.Y. Kagan and F. Mulargia, *Earthquakes Cannot Be Predicted*, *Science* 275 (5306) (1997). – P. 1616–1617.
9. Toffler Associates (2023) *Tabletop Exercises: Assessing Risks and Identifying Opportunities*. – URL: <https://tofflerassociates.com/vanishing-point/tabletop-exercises-assessing-risk-and-identifying-opportunities>.
10. Qazi A., Al-Mhdawi M.K.S. *Exploring Dependencies Among Global Environmental, Socioeconomic, And Technological Risks* // *Environmental Impact Assessment Review*. – 2023. – Vol. 98. – ISSN 0195-9255. DOI: 10.1016/j.eiar.2022.106912.
11. The Interpreter (2023) *Existential Risk Is a Whole-Of-Society Challenge*. – URL: <https://www.lowyinstitute.org/the-interpreter/existential-risk-whole-society-challenge>.

12. Stanford University Existential Risks Initiative (2023) Third Annual Stanford Existential Risks Conference. – URL: <https://seri.stanford.edu/news/third-annual-stanford-existential-risks-conference-april-20-22-2023>.
13. House of Lords. Select Committee on Risk Assessment and Risk Planning (2021) Preparing for Extreme Risks: Building a Resilient Society. – URL: <https://publications.parliament.uk/pa/ld5802/ldselect/ldrisk/110/110.pdf>.
14. Policy Horizons Canada (2023) Global Existential Risks. – URL: <https://horizons.gc.ca/en/2023/05/16/global-existential-risks>.
15. Лукьянов Ф.А. (2023) Почему у нас не получится «отрезвить Запад» с помощью ядерной бомбы // Российский совет по международным делам. – URL: <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/comments/pochemu-u-nas-ne-poluchitsya-otrezvit-zapad-s-pomoshchyu-yadernoy-bomby>.
16. Орд Т. На краю пропасти. Экзистенциальный риск и будущее человечества. Corpus, 2023; Centre for the Study of Existential Risk. – URL: <https://www.cser.ac.uk>; Future of Humanity Institute. – URL: <https://www.fhi.ox.ac.uk>.
17. Policy Horizons Canada (2023) Global Existential Risks. – URL: <https://horizons.gc.ca/en/2023/05/16/global-existential-risks>.
18. Lawrence M., Janzwood S., Homer-Dixon T. What is a Global Polycrisis? Version 2.0. Discussion Paper 2022-4. Cascade Institute. – 2023. – URL: <https://cascadeinstitute.org/wp-content/uploads/2022/04/What-is-a-global-polycrisis-v2.pdf>.
19. НИУ ВШЭ (2011) Искусство долгосрочного прогнозирования в крупных организациях. – URL: <https://issek.hse.ru/news/37428610.html>.
20. Toffler Associates (2023) Strategic Planning in a Highly Uncertain World. – URL: <https://tofflerassociates.com/vanishing-point/strategic-planning-in-a-highly-uncertain-world>.
21. Toffler A. Future Shock, Bantam; Reissue edition (June 1, 1984). – 576 p.
22. Stauffer et al. (2023) Existential Risk and Rapid Technological Change: Advancing Risk-informed Development, United Nations Office for Disaster Risk Reduction. – URL: <https://www.undrr.org/media/86500/download?startDownload=true>.
23. RAND Corporation (2023) Tackling the Existential Threats from Artificial Intelligence. – URL: <https://www.rand.org/blog/2023/07/tackling-the-existential-threats-from-artificial-intelligence.html>.

24. Stauffer et al. (2023) Existential Risk and Rapid Technological Change: Advancing Risk-informed Development, United Nations Office for Disaster Risk Reduction. – URL: <https://www.undrr.org/media/86500/download?startDownload=true>.
25. WEF (2022) Bridging the Digital Divide between Developing and Developed Nations. – URL: <https://www.weforum.org/agenda/2022/11/bridging-the-digital-divide-to-accelerate-development>.
26. BCG (2022) A Human Approach to Closing the Digital Divide. – URL: <https://www.bcg.com/publications/2022/how-to-close-digital-divide-with-human-approach>.
27. Heeks R. Digital Inequality Beyond the Digital Divide: Conceptualizing Adverse Digital Incorporation in the Global South // Information Technology for Development. – 2022. – Vol. 28, No. 4, P. 688–704. DOI: 10.1080/02681102.2022.2068492.
28. The Edvocate (2022) Will Artificial Intelligence Replace Educators? – URL: <https://www.theedadvocate.org/will-artificial-intelligence-replace-educators>.
29. UNESCO Institute for Statistics (2016) The World Needs Almost 69 Million New Teachers to Reach the 2030 Education Goals. – URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000246124>.
30. Forbes (2021) Record One in Six Teachers in England Quit After Just a Year in the Classroom. – URL: <https://www.forbes.com/sites/nickmorrison/2021/06/17/record-one-in-six-teachers-quit-after-just-a-year-in-the-classroom>.
31. Global Partnership for Education (2022) The Shortage of Teachers Is a Global Crisis: How Can We Curb It? – URL: <https://www.globalpartnership.org/blog/shortage-teachers-global-crisis-how-can-we-curb-it>.
32. The Edvocate (2022) Will Artificial Intelligence Replace Educators? – URL: <https://www.theedadvocate.org/will-artificial-intelligence-replace-educators>.
33. European Commission (2022) The Commission Publishes Guidelines to Help Teachers Address Misconceptions about Artificial Intelligence and Promote Its Ethical Use. – URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6338.
34. Futurism (2017) The Solution to Our Education Crisis Might be AI. – URL: <https://futurism.com/ai-teachers-education-crisis>.
35. International Islamic University Malaysia (2022) Is Your Smartphone Ruining Your Memory? A Special Report on the Rise of ‘Digital Amnesia’. – URL: <https://newsroom.iiu.edu.my/index.php/2022/07/05/is-your-smartphone-ruining-your-memory-a-special-report-on-the-rise-of-digital-amnesia>.

36. Kang E. Easily Accessible but Easily Forgettable: How Ease of Access to Information Online Affects Cognitive Miserliness. *Journal of Experimental Psychology: Applied*. Advance Online Publication. – 2022. DOI: 10.1037/xap0000412.
37. Harvard Business Review (2015) Conquering Digital Distraction. – URL: <https://hbr.org/2015/06/conquering-digital-distraction>.
38. Fast Company (2008) Worker, Interrupted: The Cost of Task Switching. – URL: <https://www.fastcompany.com/944128/worker-interrupted-cost-task-switching>.
39. Kaspersky Lab (2016) From Digital Amnesia to the Augmented Mind. – URL: <https://media.kaspersky.com/pdf/Kaspersky-Digital-Amnesia-Evolution-report-17-08-16.pdf>.
40. Daily Mail (2022) Digital Amnesia: 'Google Effect' Means You Are More Likely to Forget Information You Read Online. – URL: <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-10634967/Googling-information-makes-likely-forget-things-study-finds.html>.
41. Kaspersky Lab (2016) From Digital Amnesia to the Augmented Mind. – URL: <https://media.kaspersky.com/pdf/Kaspersky-Digital-Amnesia-Evolution-report-17-08-16.pdf>.
42. WEF (2022) The Global Risks Report 2022. – URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2022.pdf.
43. ООН (2021) За последние 50 лет число международных мигрантов выросло в три раза. – URL: <https://news.un.org/ru/story/2021/12/1414772>.
44. World Bank (2021) Climate Change Could Force 216 Million People to Migrate Within Their Own Countries by 2050. – URL: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2021/09/13/climate-change-could-force-216-million-people-to-migrate-within-their-own-countries-by-2050>.
45. Zurich (2022) There Could Be 1.2 Billion Climate Refugees by 2050. Here's What You Need to Know. – URL: <https://www.zurich.com/en/media/magazine/2022/there-could-be-1-2-billion-climate-refugees-by-2050-here-s-what-you-need-to-know>.
46. ООН (2020) Замкнутый круг: борьба за ресурсы приводит к конфликтам, которые уничтожают природу. – URL: <https://news.un.org/ru/story/2020/09/1386042>.
47. New Scientist (2019) AI Can Predict If You'll Die Soon – But We've No Idea How It Works. – URL: <https://www.newscientist.com/article/2222907-ai-can-predict-if-youll-die-soon-but-weve-no-idea-how-it-works>.
48. Tomašev N., Glorot X., Rae J.W. et al. A Clinically Applicable Approach to Continuous Prediction of Future Acute Kidney Injury // *Nature*. – 2019. – Vol. 572. – P. 116–119. DOI: 10.1038/s41586-019-1390-1.

49. Analytics Insight (2022) AI Could Predict Death. – URL: <https://www.analyticsinsight.net/ai-could-predict-death>.
50. Zdrav.Expert (2022) Мировой рынок ИИ-систем для медицинской диагностики оценен в \$1,22 млрд. – URL: https://zdrav.expert/index.php/Статья:Искусственный_интеллект_в_медицине.
51. Brookings (2022) Risks and Remedies for Artificial Intelligence in Health Care. – URL: <https://www.brookings.edu/research/risks-and-remedies-for-artificial-intelligence-in-health-care>.
52. Joan Palmiter Bajorek (2019) Voice Recognition Still Has Significant Race and Gender Biases, Harvard Bus. Rev. – URL: <https://hbr.org/2019/05/voice-recognition-still-has-significant-race-and-gender-biases>.
53. Inc. Russia (2021) Энтони Левандовски закрыл созданную им церковь искусственного интеллекта. – URL: <https://incrussia.ru/news/levandowski-church-of-ai>.
54. Wired (2017) Inside the First Church of Artificial Intelligence. – URL: <https://www.wired.com/story/anthony-levandowski-artificial-intelligence-religion>.
55. TechCrunch (2021) Anthony Levandowski Closes His Church of AI. – URL: <https://techcrunch.com/2021/02/18/anthony-levandowski-closes-his-church-of-ai>.
56. CNBC (2018) How Artificial Intelligence Is Shaping Religion in The 21st Century. – URL: <https://www.cnbc.com/2018/05/11/how-artificial-intelligence-is-shaping-religion-in-the-21st-century.html>.
57. Малышкин А.В. Интегрирование искусственного интеллекта в общественную жизнь: некоторые этические и правовые проблемы // Вестник СПбГУ. Серия 14. Право. – 2019. – №3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/integrirovanie-iskusstvennogo-intellekta-v-obshchestvennuyu-zhizn-nekotorye-eticheskie-i-pravovye-problemy>.
58. Карпов В.Э., Готовцев П.М., Ройзензон Г.В. К вопросу об этике и системах искусственного интеллекта // Философия и общество. – 2018. – № 2. – С. 84–105.
59. Civriz M., Öz S. (2022) Opportunities and Threats Analysis of Industry 4.0 under the Concept: Neo-Ludism // Journal of International Trade, Logistics and Law. – 2022. – Vol. 8 (2). – P. 108–124. – URL: <http://www.jital.org/index.php/jital/article/view/307>.
60. Емелин В.А. От неолуддизма к трансгуманизму: сингулярность и вертикальный прогресс или утрата идентичности? // Философия науки и техники. – 2018. – №1 (23). – С. 103–115. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ot-neoluddizma-k-transgumanizmu-singulyarnost-i-vertikalnyy-progress-ili-utrata-identichnosti>.

61. Chapman University (2015) America's Top Fears 2015. – URL: <https://blogs.chapman.edu/wilkinson/2015/10/13/americas-top-fears-2015>.
62. АНО «Цифровая экономика» (2019) Исследование: более трети россиян опасаются развития современных технологий. – URL: <https://data-economy.ru/26082019>.
63. The Conversation (2021) I'm a Luddite. You Should Be One Too. – URL: <https://theconversation.com/im-a-luddite-you-should-be-one-too-163172>.
64. Емелин В.А. От неолуддизма к трансгуманизму: сингулярность и вертикальный прогресс или утрата идентичности? // Философия науки и техники. – 2018. – № 1 (23). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ot-neoluddizma-k-transgumanizmu-singulyarnost-i-vertikalnyy-progress-ili-utrata-identichnosti>.
65. Stiglitz J.E. (2014) Unemployment and Innovation // National Bureau of Economic Research. – URL: <https://www.nber.org/papers/w20670>.
66. History (2018) Unabomber (Ted Kaczynski). – URL: <https://www.history.com/topics/crime/unabomber-ted-kaczynski>.
67. OneSpan (2023) Поведенческая биометрия. – URL: <https://www.onespan.com/ru/topics/povedenceskaja-biometrija>.
68. Hyperverge (2023) Everything you Need to Know about the Future of Biometrics. – URL: <https://www.hyperverge.co/blog/future-of-biometrics>.
69. Transparency Market Research (2022) Biometrics Market Size Worth \$136.18 Billion by 2031. – URL: <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2022/08/02/2490352/0/en/Biometrics-Market-Size-worth-136-18-Billion-by-2031-CAGR-13-3-Notes-TMR-Study.html>.
70. 1Kosmos (2022) What Is the Future of Biometric Technology? Trends to Watch. – URL: <https://www.1kosmos.com/biometric-authentication/future-of-biometrics>.
71. Cnet (2020) How China Uses Facial Recognition to Control Human Behavior. – URL: <https://www.cnet.com/news/politics/in-china-facial-recognition-public-shaming-and-control-go-hand-in-hand>.
72. Bernard Marr (2021) Facial Recognition Technology: Here Are the Important Pros and Cons. – URL: <https://bernardmarr.com/facial-recognition-technology-here-are-the-important-pros-and-cons>.
73. Deloitte (2022) Earning Digital Trust: Where to Invest Today and Tomorrow. – URL: <https://www.deloitte.com/global/en/our-thinking/insights/topics/digital-transformation/digital-trust-solutions.html>.

74. РБК Тренды (2023) Как работает распознавание лиц и можно ли обмануть эту систему. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/6050ac809a794712e5ef39b7>.
75. Training Industry (2020) Microchipping Employees: A Rising Trend in the Future of Work? – URL: <https://trainingindustry.com/articles/learning-technologies/microchipping-employees-a-rising-trend-in-the-future-of-work>.
76. CEO Insight (2020) Can Chips Improve your Health? – URL: <https://ceo-insight.com/innovation/can-chips-improve-your-health>.
77. Science Daily (2021) Tiny, Wireless, Injectable Chips Use Ultrasound to Monitor Body Processes. – URL: <https://www.sciencedaily.com/releases/2021/05/210511174133.html>.
78. Training Industry (2020) Microchipping Employees: A Rising Trend in the Future of Work? – URL: <https://trainingindustry.com/articles/learning-technologies/microchipping-employees-a-rising-trend-in-the-future-of-work>.
79. Institute for Security and Technology (2022) Digitally Influenced Cognition: What Is It, and What Does It Mean for Democracy? – URL: <https://securityandtechnology.org/blog/digitally-influenced-cognition-what-is-it-and-what-does-it-mean-for-democracy>.
80. РБК Тренды (2021) Синтетические медиа: как нейросеть помогает создавать контент. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/education/619210689a7947dd7ac3d795>.
81. Johns Hopkins University Press (2022) Digital Propaganda: The Power of Influencers. – URL: <https://muse.jhu.edu/article/860232>.
82. Institute for Peace Research and Security Policy at the University of Hamburg (2022) Negative Multiplicity: Forecasting the Future Impact of Emerging Technologies on International Stability and Human Security. – URL: https://ifsh.de/file/publication/Research_Report/010/Research_Report_010.pdf.
83. Bruegel (2022) The Dark Side of Artificial Intelligence: Manipulation of Human Behavior. – URL: <https://www.bruegel.org/blog-post/dark-side-artificial-intelligence-manipulation-human-behaviour>.
84. РБК (2021) Зачем становиться вегетарианцем и как сделать это с пользой для организма. – URL: <https://style.rbc.ru/health/5be2b3cc9a79478137833276#p1>.
85. Yahoo (2012) World May Be Forced to Go Vegetarian by 2050, Scientists Say. – URL: <https://news.yahoo.com/blogs/lookout/vegetarian-2050-190426669.html>.

86. The Times of India (2021) Food Choice in Crisis: Forced Vegetarianism in Gurugram. – URL: <https://timesofindia.indiatimes.com/blogs/sarkari-thoughts/food-choice-in-crisis-forced-vegetarianism-in-gurugram>.
87. Vegan Society (2010) Explore Why Veganism Is Kinder to Animals, to People and to Our Planet's Future. – URL: <https://www.vegansociety.com/go-vegan/why-go-vegan>.
88. IISD (2021) Vegetarianism: Should We Rethink its Role in Sustainability? – URL: <https://sdg.iisd.org/commentary/generation-2030/vegetarianism-should-we-rethink-its-role-in-sustainability>.
89. Steakholder Foods (2022) What Does the Future of Food Look Like in 2050? – URL: <https://steakholderfoods.com/the-does-the-future-of-food-look-like-in-2050>.
90. Ведомости (2023) Сделано в космосе. Производство на орбите Земли набирает обороты. – URL: https://www.vedomosti.ru/technologies/new_technologies/articles/2023/07/06/983971-sdelano-v-kosmose.
91. Varda Space Industries. – URL: <https://varda.com>.
92. Nanoracks. – URL: <https://nanoracks.com>.
93. TechCrunch (2023) Orbital Composites Lands New Government Contracts to Advance In-Space Manufacturing. – URL: <https://techcrunch.com/2023/08/25/orbital-composites-lands-new-government-contracts-to-advance-in-space-manufacturing>.
94. Ведомости (2023) Сделано в космосе. Производство на орбите Земли набирает обороты. – URL: https://www.vedomosti.ru/technologies/new_technologies/articles/2023/07/06/983971-sdelano-v-kosmose.
95. Business Insider (2021) Jeff Bezos Wants to Move 'All Polluting Industry' Into Space to Keep Earth Clean. – URL: <https://www.businessinsider.com/jeff-bezos-move-all-polluting-industry-into-space-blue-origin-2021-7>.
96. Ведомости (2023) Сделано в космосе. Производство на орбите Земли набирает обороты. – URL: https://www.vedomosti.ru/technologies/new_technologies/articles/2023/07/06/983971-sdelano-v-kosmose.
97. New Atlas (2011) Synthetic Brain Comes a Step Closer with Creation of Artificial Synapse. – URL: <https://newatlas.com/researchers-create-artificial-synapse/18482>.

98. Popular Science (2011) Synthetic Brain Comes a Step Closer With Creation Of Artificial Synapse. – URL: <https://www.popsci.com/science/article/2011-04/synthetic-synapse-constructed-carbon-nanotubes>.
99. Eurek Alert (2011) Researchers Create Functioning Synapse Using Carbon Nanotubes. – URL: <https://www.eurekalert.org/news-releases/890015>.
100. Российский научный фонд (2022) Новый материал из углеродных нанотрубок увеличит надежность искусственных клапанов сердца. – URL: <https://rscf.ru/news/presidential-program/novyuy-material-iz-uglerodnykh-nanotrubok>.
101. New Atlas (2011) Synthetic Brain Comes a Step Closer with Creation of Artificial Synapse. – URL: <https://newatlas.com/researchers-create-artificial-synapse/18482>.
102. Jstor Daily (2015) How Synthetic Brains Can Advance Robotics. – URL: <https://daily.jstor.org/how-synthetic-brains-can-advance-robotics>.
103. Chemical & Engineering News (2023) Podcast: Mining Metals and Minerals from Seawater. – URL: <https://cen.acs.org/environment/water/Podcast-Mining-metals-minerals-seawater/101/web/2023/07>.
104. Кафедра акустики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Общая характеристика Мирового океана. – URL: <https://acoustics.phys.msu.ru/sites/default/files/docs/courses/physics-of-ocean/1-1.pdf>.
105. Chemical & Engineering News (2023) Podcast: Mining Metals and Minerals from Seawater. – URL: <https://cen.acs.org/environment/water/Podcast-Mining-metals-minerals-seawater/101/web/2023/07>.
106. Коммерсантъ (2020) Неприкосновенный золотой запас океана. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4441866>.
107. European Commission (2020) Development of Radical Innovations to Recover Minerals and Metals from Seawater Desalination Brines. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/869703>.
108. Chemical & Engineering News (2023) Podcast: Mining Metals and Minerals from Seawater. – URL: <https://cen.acs.org/environment/water/Podcast-Mining-metals-minerals-seawater/101/web/2023/07>.
109. ТАСС (2022) Ученые РФ разработали способ фиксации углерода с помощью генно-модифицированных водорослей. – URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/15123315>.
110. Гардинер В. (2011) Польза от водорослей. – URL: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000190686_rus.

- 111.Facepla.net (2017) Генномодифицированные водоросли удваивают производство биотоплива. – URL: <https://facepla.net/the-news/5619-гмо-водоросли.html>.
- 112.GlobeNewswire (2022) Algae Biofuel Market Size Is Projected to Reach USD 15.39 Billion by 2030, Growing at A CAGR of 8.76%: Straits Research. – URL: <https://www.globenewswire.com/news-release/2022/07/26/2486263/0/en/Algae-Biofuel-Market-Size-is-projected-to-reach-USD-15-39-billion-by-2030-growing-at-a-CAGR-of-8-76-Straits-Research.html>.
- 113.Дейнеко Е.В. Генетически модифицированные растения продуценты рекомбинантных белков медицинского назначения // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. – 2012. – № 2 (18). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geneticheski-modifitsirovannye-rasteniya-produtsenty-rekombinantnyh-belkov-meditinskogo-naznacheniya>.
- 114.The Fish Site (2023) Why The Seaweed Sector Should Move Beyond Red and Brown and Start Thinking Green. – URL: <https://thefishsite.com/articles/why-the-seaweed-sector-should-move-beyond-red-and-brown-and-start-thinking-green>.
- 115.Loureiro R., Gachon C.M.M., Rebours C. Seaweed Cultivation: Potential and Challenges of Crop Domestication at an Unprecedented Pace // New Phytol. – 2015. – Vol. 206. – P. 489–492. DOI: 10.1111/nph.13278.
- 116.Pullin R., White P. Climate Change and Aquatic Genetic Resources for Food and Agriculture: State of Knowledge, Risks and Opportunities // Background Study Paper. – 2011. – No. 55. Rome: FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture.
- 117.Bawadi A. et al. (2019) Fourth Generation Biofuel: A Review on Risks and Mitigation Strategies. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403211930111X>.
- 118.Vernor Vinge (2003) Technological Singularity. – URL: http://cmm.cenart.gob.mx/delanda/textos/tech_sing.pdf.
- 119.РБК Тренды (2022) Что нужно знать о сингулярности. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/623d72299a7947459d2f2634>.
- 120.TechInsider (2022) Как выжить в технологической сингулярности? – URL: <https://www.techinsider.ru/technologies/250202-kak-vyzhit-v-tekhnologicheskoy-singulyarnosti>.
- 121.Futurism (2017) Kurzweil Claims That the Singularity Will Happen by 2045. – URL: <https://futurism.com/kurzweil-claims-that-the-singularity-will-happen-by-2045>.
- 122.Futurism (2017) Softbank CEO: The Singularity Will Happen by 2047. – URL: <https://futurism.com/softbank-ceo-the-singularity-will-happen-by-2047>.

123.IQ.HSE (2020) «Мы живем в замедляющемся мире». Андрей Коротаев – о том, что прогресс технологий перестает ускоряться и надо к этому привыкать. – URL: <https://iq.hse.ru/news/352552613.html>.

124.Карелов С.В. (2020) Техносингулярность становится технорелигией. Где и в чем ошибается «кремниевый пророк» Рэй Курцвейл // Новая газета. – URL: https://www.ng.ru/nauka/2020-04-21/9_7849_singularity.html.

125.Панов А.Д. Технологическая сингулярность, теорема Пенроуза об искусственном интеллекте и квантовая природа сознания // Информационные технологии. – 2014. – № 5. – URL: <http://alpha.sinp.msu.ru/~panov/AI-2014.pdf>.

126.Bostrom N. (2014) Superintelligence. Paths, Dangers, Strategies // Oxford University Press, Great Clarendon Street, Oxford, OX2 6DP, United Kingdom. – URL: <https://dorshon.com/wp-content/uploads/2017/05/superintelligence-paths-dangers-strategies-by-nick-bostrom.pdf>.

127.Кордейро Х. Энергетическая сингулярность: от ограниченности к изобилию // Форсайт. – 2013. – № 1 (7). – С. 72–80. – URL: <https://foresight-journal.hse.ru/2013-7-1/78484214.html>.

128.Research and Markets (2023) Global Energy Storage System Market: Analysis by Technology, By End User, By Region Size & Forecast with Impact Analysis of COVID-19 and Forecast up to 2028. – URL: <https://www.researchandmarkets.com/report/energy-storage-systems>.

129.Digital Enterprise Show (2023) Accelerating Towards The ‘Energularity’: The ‘Energy Singularity’ Revolution. – URL: <https://www.des-show.com/agenda-sessions/accelerating-towards-the-energularity-the-energy-singularity-revolution-20230613>.

130.Motovilov K.A., Savinov M., Zhukova E.S. Observation of Dielectric Universalities in Albumin, Cytochrome C and Shewanella Oneidensis MR-1 Extracellular Matrix // Sci. Rep. – 2017. – Vol. 7, 15731. DOI: 10.1038/s41598-017-15693-y.

131.Bombelli P. et al. (2022) Powering A Microprocessor by Photosynthesis // Energy Environ. Sci. – 2022. – Vol. 15. – P. 2529–2536. DOI: 10.1039/D2EE00233G.

132.Industry Tap (2022) Algae-Filled Solar Panels to Provide Power and Oxygen While Absorbing CO₂. – URL: <https://www.industrytap.com/algae-filled-solar-panels-to-provide-power-and-oxygen-while-absorbing-co2/63258>.

- 133.Mercom (2022) Researchers Convert Algae into Functional Perovskites with Tunable Properties. – URL: <https://www.mercomindia.com/researchers-perovskites-with-tunable-properties>.
- 134.The Guardian (2023) Big Oil Firms Touted Algae as Climate Solution. Now All Have Pulled Funding. – URL: <https://www.theguardian.com/environment/2023/mar/17/big-oil-algae-biofuel-funding-cut-exxonmobil>.
- 135.U.S. Department of Energy (2023) 2022-2023 U.S. Department of Energy AlgaePrize Competition Winners! – URL: <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/articles/2022-2023-us-department-energy-algaeprize-competition-winners>.
- 136.Gartner (2022) The Big Wipe – A Potential Black Swan. – URL: <https://blogs.gartner.com/mark-mcdonald/2022/04/07/the-big-wipe-a-potential-black-swan>.
- 137.Pacific Domes (2021) Terraforma – Global Biosphere Projects Demonstrating Sustainable & Regenerative Solutions. – URL: <https://pacificdomes.com/terraforma-global-biosphere-projects-demonstrating-sustainable-regenerative-solutions-part-1>.
- 138.Future Cities and Environment (2022) A Review of Domed Cities and Architecture: Past, Present and Future. – URL: <https://futurecitiesandenvironment.com/articles/10.5334/fce.154>.
- 139.Bernard Marr (2022) The 5 Technologies That Will Change the Future of the Human Race. – URL: <https://bernardmarr.com/the-5-technologies-that-will-change-the-future-of-the-human-race>.
- 140.Forbes (2020) What Living to 150 Might Look Like. – URL: <https://www.forbes.com/sites/robinseatonjefferson/2020/01/30/what-living-to-150-might-look-like>.
- 141.WHO (2021) WHO Issues New Recommendations On Human Genome Editing for The Advancement of Public Health. – URL: <https://www.who.int/news/item/12-07-2021-who-issues-new-recommendations-on-human-genome-editing-for-the-advancement-of-public-health>.
- 142.SenNet. – URL: <https://sennetconsortium.org>.
- 143.Smithsonian Magazine (2022) Could Getting Rid of Old Cells Help People Live Disease-Free for Longer? – URL: <https://www.smithsonianmag.com/innovation/could-getting-rid-of-old-cells-help-people-live-disease-free-for-longer-180981361>.
- 144.РИА Новости (2021) Японские ученые нашли лекарство для остановки старения. – URL: <https://ria.ru/20210218/starenie-1597941154.html>.

145. The National Institute on Aging (2020) The National Institute on Aging: Strategic Directions for Research, 2020-2025. – URL: <https://www.nia.nih.gov/about/aging-strategic-directions-research/goal-society-policy>.
146. Statista (2022) Volume of Data/Information Created, Captured, Copied, And Consumed Worldwide from 2010 To 2020, With Forecasts from 2021 To 2025 (In Zettabytes). – URL: <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created>.
147. Church G.M., Gao Y., Kosuri S. Next-Generation Digital Information Storage in DNA // Science. – 2012. – Vol. 337 (6102). DOI: 10.1126/science.1226355.
148. Exance A. How DNA Could Store All the World's Data // Nature. – 2016. – Vol. 537. – P. 22–24. DOI: <https://doi.org/10.1038/537022a>.
149. Wyss Institute. Harvard (2012) Writing the Book in DNA. – URL: <https://wyss.harvard.edu/news/writing-the-book-in-dna>.
150. MIT Technology Review (2017) Scientists Used CRISPR to Put a GIF inside a Living Organism's DNA. – URL: <https://www.technologyreview.com/2017/07/12/150497/scientists-used-crispr-to-put-a-gif-inside-living-dna>.
151. TechTarget (2021) A Primer on DNA Data Storage and Its Potential Uses. – URL: <https://www.techtarget.com/searchstorage/feature/A-primer-on-DNA-data-storage-and-its-potential-uses>.
152. Takahashi C.N., Nguyen B.H., Strauss K. et al. Demonstration of End-to-End Automation of DNA Data Storage // Sci. Rep. – 2019. – Vol. 9. P. 49–98. DOI: 10.1038/s41598-019-41228-8.
153. TechCrunch (2022) Synthetic DNA Startup Catalog Partners with Seagate for Its DNA-Based Data Storage Platform. – URL: <https://techcrunch.com/2022/09/08/synthetic-dna-startup-catalog-partners-with-seagate-for-its-dna-based-data-storage-platform>.
154. Doricchi A., Platnich C.M., Gimpel A. Emerging Approaches to DNA Data Storage: Challenges and Prospects // ACS Nano. – 2022. – Vol. 16 (11). – P. 17552–17571. DOI: 10.1021/acsnano.2c06748.
155. Femto Engineering. – URL: <https://www.femto-engineering.fr>.
156. FEMTO-ST Institute (2022) Annual Report. – URL: https://www.femto-st.fr/sites/default/files/annual_report_2022_pour_le_site.pdf.
157. Future Market Insights (2023) Biogas Market Outlook. – URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/biogas-market>.

- 158.Data Intelo (2022) Global Bio-Oil Market by Type. – URL: <https://dataintelo.com/report/bio-oil-market>.
- 159.Национальная ассоциация нефтегазового сервиса (2019) Бионефть. – URL: <https://nangs.org/news/renewables/bio/bionefty>.
- 160.Национальная ассоциация нефтегазового сервиса (2019) СМИ: в Австрии из картофельной кожуры производят биогаз для отопления домов. – URL: <https://nangs.org/news/renewables/bio/smi-v-avstrie-iz-kartofelnoy-kozhury-proizvodyat-biogaz-dlya-otopleniya-domov>.
- 161.РБК Тренды (2022) Гиббернация, криосон, анабиоз: как и зачем погружать астронавтов в спячку. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/621682f29a7947300f26b7f1>.
- 162.4PDA (2019) Исследователи показали концепт капсул для гибернации космонавтов. – URL: <https://4pda.to/2019/11/24/364574>.
- 163.N+1 (2019) Человека впервые ввели в состояние искусственной спячки. – URL: <https://nplus1.ru/news/2019/11/21/hibernating-patient>.
- 164.The European Space Agency (2022) Hibernate for A Trip to Mars, The Bear Way. – URL: https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Hibernate_for_a_trip_to_Mars_the_bear_way.
- 165.Universe Today (2022) Could Astronauts Hibernate on Long Space Voyages? – URL: <https://www.universetoday.com/154382/could-astronauts-hibernate-on-long-space-voyages>.
- 166.CBC (2022) Study Takes One Small Step Towards Human Hibernation for Long Space Flights. – URL: <https://www.cbc.ca/radio/quirks/bobs-blog-hibernation-space-travel-1.6656270>.
- 167.Secretmag.ru (2017) Как блокчейн и искусственный интеллект будут управлять городами. – URL: <https://secretmag.ru/opinions/kak-blokchein-i-iskusstvennyi-intellekt-budut-upravlyat-gorodami.htm>.
- 168.Центр2М. Умный город – что это, как и где применяется. – URL: <https://center2m.ru/smart-city-about>.
- 169.McKinsey Global Institute (2018) Smart Cities: Digital Solutions for A More Livable Future. – URL: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights>

/smart%20cities%20digital%20solutions%20for%20a%20more%20livable%20future/mgi-smart-cities-full-report.pdf.

170.Marvin S., While A., Chen B., Kovacic M. Urban AI in China: Social Control or Hyper-Capitalist Development in the Post-Smart City? // *Frontiers in Sustainable Cities*. – 2022. – Vol. 4. DOI: 10.3389/frsc.2022.1030318.

171.WEF (2020) 'I Know Your Favourite Drink': Chinese Smart City to Put AI in Charge. – URL: <https://www.weforum.org/agenda/2020/12/china-ai-technology-city>.

172.Deloitte Suomi (2021) City Operations through AI. – URL: <https://www2.deloitte.com/fi/fi/pages/public-sector/articles/urban-future-with-a-purpose/city-operations-through-ai.html>.

173.National Geographic (2022) Tidal Energy. – URL: <https://education.nationalgeographic.org/resource/tidal-energy>.

174.Weforum (2022) Wave Energy: Can Ocean Power Solve the Global Energy Crisis? – URL: <https://www.weforum.org/agenda/2022/03/wave-energy-ocean-electricity-renewables>.

175.Just Energy (2020) Tidal Energy: Can It Be Used to Generate Electricity? – URL: <https://justenergy.com/blog/tidal-energy-electricity>.

176.The Future of Things (2021) New Technologies Generate Energy from Sea Tide. – URL: <https://thefutureofthings.com/3384-new-technologies-generate-energy-from-sea-tide>.

177.Just Energy (2020) Tidal Energy: Can It Be Used to Generate Electricity? – URL: <https://justenergy.com/blog/tidal-energy-electricity>.

178.PNAS (2019) Widespread Soil Bacterium That Oxidizes Atmospheric Methane. – URL: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1817812116>.

179.РИА Новости (2022) Не с тем газом боролись. Метан ведет планету к катастрофе. – URL: <https://ria.ru/20221123/metan-1833156864.html>.

180.ТАСС Наука (2020) Бактерии помешали выбросам метана со дна сибирского озера попасть в атмосферу. – URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/8794509>.

181.Nature (2022) Borgs Are Giant Genetic Elements with Potential to Expand Metabolic Capacity. – URL: <https://www.nature.com/articles/s41586-022-05256-1>.

182.Российская академия наук (2022) Ученые проанализировали способы «усовершенствования» метанотрофных бактерий. – URL: <https://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=d4c3d5f8-4d4d-4f2b-8b86-e496c90aaed6>.

183.Nature (2022) Borgs Are Giant Genetic Elements with Potential to Expand Metabolic Capacity. – URL: <https://www.nature.com/articles/s41586-022-05256-1>.

- 184.Хайтек (2022) Бактерии поглотили микробов, чтобы усваивать метан из атмосферы и почвы. – URL: <https://hightech.fm/2022/10/20/methan-borgs>.
- 185.The What If Show (2021) What If Every Satellite Fell to Earth? – URL: <https://whatifshow.com/what-if-every-satellite-fell-to-earth>.
- 186.Chatham House (2021) Satellites: Space, the Final War Zone. – URL: <https://www.chathamhouse.org/publications/the-world-today/2021-08/satellites-space-final-war-zone>.
- 187.Хайтек (2021) Что такое эффект Кesslera, а также когда и к чему приведет столкновение спутников на орбите. – URL: <https://hightech.fm/2021/08/13/kessler-syndrome>.
- 188.The Washington Post (2022) Loss of 38 Satellites Prompts Call for Better Space Weather Forecasts. – URL: <https://www.washingtonpost.com/science/2022/11/19/space-weather-forecasting>.
- 189.Space.com (2022) Solar Storms Can Destroy Satellites with Ease – A Space Weather Expert Explains the Science. – URL: <https://www.space.com/solar-storms-destroy-satellites>.
- 190.Gizmodo (2015) What Would Happen If All Our Satellites Were Suddenly Destroyed? – URL: <https://gizmodo.com/what-would-happen-if-all-our-satellites-were-suddenly-d-1709006681>.
- 191.The What If Show (2021) What If Every Satellite Fell to Earth? – URL: <https://whatifshow.com/what-if-every-satellite-fell-to-earth>.
- 192.Gizmodo (2015) What Would Happen If All Our Satellites Were Suddenly Destroyed? – URL: <https://gizmodo.com/what-would-happen-if-all-our-satellites-were-suddenly-d-1709006681>.
- 193.Хайтек (2021) Что такое эффект Кesslera, а также когда и к чему приведет столкновение спутников на орбите. – URL: <https://hightech.fm/2021/08/13/kessler-syndrome>.
- 194.Gizmodo (2013) How to Clean Up Deadly Space Junk Before Disaster Strikes. – URL: <https://gizmodo.com/how-to-clean-up-deadly-space-junk-before-disaster-strik-1443463338>.
- 195.Euronews (2022) A Massive Floating Solar Farm Orbiting in Space Could Soon Be Reality. Here's How It Would Work. – URL: <https://www.euronews.com/green/2022/10/13/scientists-dream-up-a-massive-floating-solar-farm-in-space-heres-how-it-would-work>.
- 196.California Institute of Technology (2023) Caltech to Launch Space Solar Power Technology Demo into Orbit in January. – URL: <https://www.caltech.edu/about/news/caltech-to-launch-space-solar-power-technology-demo-into-orbit-in-january>.

- 197.UK Space Agency (2022) Space Based Solar Power Innovation. Guidance Document. – URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1105645/space_based_solar_power_innovation_guidance_document.pdf.
- 198.U.S. Department of Energy. Space-Based Solar Power. – URL: <https://www.energy.gov/space-based-solar-power>.
- 199.South China Morning Post (2022) China’s Space Station Will Run High-Energy Beam Experiment for Controversial Solar Power Plant: Chief Scientist. – URL: <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3200819/chinas-space-station-will-run-high-energy-beam-experiment-controversial-solar-power-plant-chief>.
- 200.Wellspring (2022) Why the EU, UK, US, and Japan are Exploring Space-Based Solar Power. – URL: <https://www.wellspring.com/blog/exploring-space-based-solar-power>.
- 201.Inverse (2023) This Bold New Mission Will Try Beaming Solar Power down from Space. – URL: <https://www.inverse.com/science/beaming-power-from-space>.
- 202.Space Energy Initiative. – URL: <https://spaceenergyinitiative.org.uk>.
- 203.WEF (2022) How Solar Farms in Space Might Beam Electricity to Earth. – URL: <https://www.weforum.org/agenda/2022/11/solar-farms-in-space-electricity-to-earth-energy-climate-change>.
- 204.U.S. Department of Energy. Space-Based Solar Power. – URL: <https://www.energy.gov/space-based-solar-power>.
- 205.Physics world (2022) Space-Based Solar Power: Could Beaming Sunlight Back to Earth Meet Our Energy Needs? – URL: <https://physicsworld.com/a/space-based-solar-power-could-beaming-sunlight-back-to-earth-meet-our-energy-needs>.
- 206.Rosenberg L. (2022) Identity Crisis: Artificial Intelligence and the Flawed Logic of 'Mind Uploading'. – Venturebeat. – URL: <https://venturebeat.com/virtual/identity-crisis-artificial-intelligence-and-the-flawed-logic-of-mind-uploading>.
- 207.Thierry G. (2022) When Will I Be Able to Upload My Brain to a Computer? The Conversation. – URL: <https://theconversation.com/when-will-i-be-able-to-upload-my-brain-to-a-computer-184130>.
- 208.Graziano M. (2019) What Happens If Your Mind Lives for Ever On the Internet? – URL: <https://www.theguardian.com/technology/2019/oct/20/mind-uploading-brain-live-for-ever-internet-virtual-reality>.

209.Иванченко М.А. Этика постгуманизма: преимущества и недостатки цифровизации сознания человека // Философские и социально-экономические проблемы исследования инновационных технологий и искусственного интеллекта: Сборник научных статей. – 2020. – С. 97–104.

210.Graziano, M. (2019). What Happens If Your Mind Lives for Ever On the Internet? – URL: <https://www.theguardian.com/technology/2019/oct/20/mind-uploading-brain-live-for-ever-internet-virtual-reality>.

211.Иванченко М.А. Этика постгуманизма: преимущества и недостатки цифровизации сознания человека // Философские и социально-экономические проблемы исследования инновационных технологий и искусственного интеллекта: Сборник научных статей. – 2020. – С. 97–104.

212.Gizdomo (2022) We're not Prepared for Contamination Between Worlds. – URL: <https://gizmodo.com/we-re-not-prepared-for-contamination-between-worlds-1848557352>.

213.Gizdomo (2020) NASA Requests Funding for Audacious Plan to Bring Martian Soil to Earth. – URL: <https://gizmodo.com/nasa-requests-funding-for-audacious-plan-to-bring-marti-1841608360>.

214.Dragonfly. – URL: <https://dragonfly.jhuapl.edu>.

215.Europa Clipper. – URL: <https://europa.nasa.gov>.

216.NASA (2020) NASA Updates Planetary Protection Policies for Robotic and Human Missions to Earth's Moon and Future Human Missions to Mars. – URL: <https://www.nasa.gov/feature/nasa-updates-planetary-protection-policies-for-robotic-and-human-missions-to-earth-s-moon>.

217.Vaishampayan P., Moissl-Eichinger C., Pukall R., Schumann P., Spröer C., Augustus A., Roberts A.H., Namba G., Cisneros J., Salmassi T., Venkateswaran K. Description of *Tersicoccus Phoenicis* Gen. Nov., Sp. Nov. Isolated from Spacecraft Assembly Clean Room Environments // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. – 2013. – Vol. 63 (7). – P. 2463–2471. DOI: 10.1099/ij.s.0.047134-0.

218.Cuthbert R.N., Diagne C., Hudgins E.J. et al. Biological Invasion Costs Reveal Insufficient Proactive Management Worldwide // Science of the Total Environment. – 2022. – Vol. 819. P. 153–404. DOI:10.2139/ssrn.3993359.

219.OpenGL. Перегрузки на сети и методы борьбы с ними. – URL: <https://opengl.org.ru/upravlenie-trafikom-i-kachestvo-obsluzhevaniya-v-seti/peregruzki-na-seti-i-metody-borby-s-nimi--to-takoe-peregruzka.html>.

220.Google Cloud Blog (2017) TCP BBR Congestion Control Comes to GCP – Your Internet Just Got Faster. – URL: <https://cloud.google.com/blog/products/networking/tcp-bbr-congestion-control-comes-to-gcp-your-internet-just-got-faster>.

221.Arun V., Alizadeh M., Balakrishnan H. (2022) Starvation in End-to-End Congestion Control. – MIT Computer Science and Artificial Intelligence Lab, Cambridge, MA. – URL: <http://people.csail.mit.edu/venkatar/cc-starvation.pdf>.

222.WEF (2021) Here's How COVID-19 Increased Internet Traffic – And What It Means for Global Emissions. – URL: <https://www.weforum.org/agenda/2021/01/online-life-pushing-up-global-emissions>.

223.TeleGeography (2022) Internet Traffic and Capacity Remain Brisk. – URL: <https://blog.telegeography.com/internet-traffic-and-capacity-remain-brisk>.

224.GSMA (2021) The Mobile Economy 2021. – URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf.

225.Insider Intelligence (2021) 2022 Predictions: Internet and Network Outages Will Continue to Get Worse Before They Get Better. – URL: <https://www.insiderintelligence.com/content/2022-predictions-internet-network-outages-will-continue-worse-before-they-better>.

226.Bloomberg (2022) Rogers Apologizes as Network Collapse Paralyzes Canada Business. – URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-07-08/banks-payments-hit-as-canada-s-rogers-suffers-network-failure>.

227.Centre for International Governance Innovation (2019) The Danger of Critical Infrastructure Interdependency. – URL: <https://www.cigionline.org/articles/danger-critical-infrastructure-interdependency>.

228.РБК Тренды (2021) Когда мы сможем печатать новые органы на 3D-принтере. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5ead4b279a79473a4ae7223b>.

229.Health Resources & Services Administration (2022) Organ Donation Statistics. – URL: <https://www.organdonor.gov/learn/organ-donation-statistics>.

230.РБК Тренды (2021) Когда мы сможем печатать новые органы на 3D-принтере. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5ead4b279a79473a4ae7223b>.

231.Rusbase (2019) Печать органов: как продвинулись технологии 3D-биопринтинга и что мешает их развитию. – URL: <https://rb.ru/longread/bioprinting>.

- 232.РБК Тренды (2021) Когда мы сможем печатать новые органы на 3D-принтере. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5ead4b279a79473a4ae7223b>.
- 233.Industry 3D (2021) НАСА хочет 3D-печатать человеческие органы в космосе и уже готово начать испытания. – URL: <https://industry3d.ru/at-news/nasa-hochet-3d-pechatat-chelovecheskie-organy-v-kosmose-i-uzhe-gotovo-nachat-ispytaniya>.
- 234.Rusbase (2019) Печать органов: как продвинулись технологии 3D-биопринтинга и что мешает их развитию. – URL: <https://rb.ru/longread/bioprinting>.
- 235.3D Bioprinting Solutions. 3D Bioprinting. – URL: <https://bioprinting.ru/en/press-center/publications/organ-printing>.
- 236.Rusbase (2019) Печать органов: как продвинулись технологии 3D-биопринтинга и что мешает их развитию. – URL: <https://rb.ru/longread/bioprinting>.
- 237.Tractus 3D. 3D Printing in Healthcare. – URL: <https://tractus3d.com/used-by/branches/healthcare>.
- 238.Rusbase (2019) Печать органов: как продвинулись технологии 3D-биопринтинга и что мешает их развитию. – URL: <https://rb.ru/longread/bioprinting>.
- 239.Bernard Marr & Co (2021) What Is 3D Printed Food. – URL: <https://bernardmarr.com/what-is-3d-printed-food>.
- 240.Almeida H., Vasco J., Ribeiro V. (2021) Current and Future Trends of 3D Food Printing. – URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-75315-3_30.
- 241.Revo Foods (2022) What in the World is 3D Food Printing? – URL: <https://revofoods.com/what-is-3d-food-printing>.
- 242.ПРОКачество (2019) Напечатанные продукты: 3D-принтеры в пищевой промышленности: фантастика или ближайшее будущее. – URL: <https://kachestvo.pro/innovatsii/napechatannye-produkty>.
- 243.Хайтек (2021) Шпионы могут хранить данные для расшифровки с помощью будущего квантового компьютера. – URL: <https://hightech.fm/2021/10/13/quant-spy>.
- 244.РБК Тренды (2022) Постквантовая криптография: как работает метод шифрования будущего. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/63a94bab9a79473b7ff5f721>.
- 245.McKinsey (2022) When – And How – To Prepare for Post-Quantum Cryptography. – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/when-and-how-to-prepare-for-post-quantum-cryptography>.

- 246.Nature (2023) Are Quantum Computers About to Break Online Privacy? – URL: <https://www.nature.com/articles/d41586-023-00017-0>.
- 247.Forbes (2020) Making America Quantum-Safe in the Post COVID-19 Era. – URL: <https://www.forbes.com/sites/arthurherman/2020/06/03/making-america-quantum-safe-in-the-post-covid-19-era>.
- 248.Bao Yan et al. (2022) Factoring Integers with Sublinear Resources on a Superconducting Quantum Processor. – URL: <https://arxiv.org/pdf/2212.12372.pdf>.
- 249.Financial Times (2023) Chinese Researchers Claim to Find Way to Break Encryption Using Quantum Computers. – URL: <https://www.ft.com/content/b15680c0-cf31-448d-9eb6-b30426c29b8b>.
- 250.Forbes (2022) 11 Top Experts: Quantum Top Trends 2023 and 2030. – URL: <https://www.forbes.com/sites/stephenibaraki/2022/08/19/11-top-experts-quantum-top-trends-2023-and-2030>.
- 251.Techmonitor (2023) Have Chinese Scientists Really Cracked RSA Encryption with A Quantum Computer? – URL: <https://techmonitor.ai/hardware/quantum-encryption-rsa-cryptography>.
- 252.РБК Тренды (2022) Постквантовая криптография: как работает метод шифрования будущего. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/63a94bab9a79473b7ff5f721>.
- 253.РБК Тренды (2023) Что такое космический лифт и когда его построят? – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/innovation/5e01fe9c9a7947eb22a0e083>.
- 254.Scientific American (2022) Space Elevators Are Less Sci-Fi Than You Think. – URL: <https://www.scientificamerican.com/article/space-elevators-are-less-sci-fi-than-you-think>.
- 255.NASA (2009) LaserMotive Wins \$900,000 from NASA in Space Elevator Games. – URL: https://www.nasa.gov/centers/dryden/status_reports/power_beam.html.
- 256.Obayashi (2014) The Space Elevator Is Planned to Be Built by the Year 2050. – URL: https://www.obayashi.co.jp/en/news/detail/the_space_elevator_construction_concept.html.
- 257.Salam Groovy Japan (2022) Japan’s ‘Space Elevator’ Ready to Build in 2025? – URL: <https://www.groovyjapan.com/en/space-elevator>.
- 258.INSIDER (2016) A Company Just Patented a 12-Mile-Tall Building to Use as a Launchpad for Spaceships. – URL: <https://www.businessinsider.com/though-technology-patented-a-12-mile-tall-space-elevator-building-2015-8>.

- 259.ISEC. What is a Space Elevator and What Will It Do? – URL: <https://www.isec.org/se-what-is-will-do>.
- 260.Our World in Data (2023) AI Timelines: What Do Experts in Artificial Intelligence Expect for the Future? – URL: <https://ourworldindata.org/ai-timelines>.
- 261.McKinsey (2020) An Executive Primer On Artificial General Intelligence. – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/an-executive-primer-on-artificial-general-intelligence>.
- 262.РБК Тренды (2021) Апокалипсис своими руками: сможем ли мы контролировать сверхразумный ИИ. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/601ae24d9a7947c430681e1e>.
- 263.Max Planck Society (2021) We Wouldn't Be Able to Control Superintelligent Machines. – URL: <https://www.mpg.de/16231640/0108-bild-computer-scientists-we-wouldn-t-be-able-to-control-superintelligent-machines-149835-x>.
- 264.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. / С. А. Гавриш, Л. М. Гохберг, Д. Е. Грибкова и др.; под ред. Л. М. Гохберга, А. Р. Ефимова, Ю. В. Мильшиной; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики», ПАО Сбербанк. – М. НИУ ВШЭ, 2022.
- 265.Forbes (2022) Ethics and the Quest for Self-Awareness in AI. – URL: <https://www.forbes.com/sites/lanceeliot/2022/09/18/ai-ethics-and-the-quest-for-self-awareness-in-ai>.
- 266.NESrakonk (2021) Что такое Сильный ИИ? – URL: <https://nesrakonk.ru/strong-ai>.
- 267.Builton (2022) The Future of AI: How Artificial Intelligence Will Change the World. – URL: <https://builton.com/artificial-intelligence/artificial-intelligence-future>.
- 268.Verdict (2022) AI: The Emerging Artificial General Intelligence Debate. – URL: <https://www.verdict.co.uk/ai-agi-artificisl-general-intelligence>.
- 269.Forbes (2021) The Future of Artificial General Intelligence. – URL: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2021/07/16/the-future-of-artificial-general-intelligence>.
- 270.Wang X. (2019) Bioartificial Organ Manufacturing Technologies. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6322143>.

- 271.Data Bridge (2022) Global Bioartificial Organ Manufacturing Market – Industry Trends and Forecast to 2030. – URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-bioartificial-organ-manufacturing-market>.
- 272.ABC News (2012) Lab-Grown 'Custom' Organs May Be Future of Medicine. – URL: <https://abcnews.go.com/Health/lab-grown-custom-organs-future-medicine/story?id=16631764>.
- 273.Wired (2020) Lab-Grown Organs Could Solve the Transplant Crisis. – URL: <https://www.wired.co.uk/article/growing-organs>.
- 274.Industry Week (2013) The Next Wave of Manufacturing: Human Organs. – URL: <https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/article/21960462/the-next-wave-of-manufacturing-human-organs>.
- 275.Wang X. (2019) Bioartificial Organ Manufacturing Technologies. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6322143>.
- 276.РИА Новости (2017) ФПИ спрогнозировал научный прорыв в области выращивания тканей и органов. – URL: <https://ria.ru/20171011/1506644335.html>.
- 277.Data Bridge (2022) Global Bioartificial Organ Manufacturing Market – Industry Trends and Forecast to 2030. – URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-bioartificial-organ-manufacturing-market>.
- 278.Politico Magazine (2017) Can an Old Mill Town Become the Silicon Valley of Human Organ Manufacturing? – URL: <https://www.politico.com/magazine/story/2017/12/18/human-organ-manufacturing-transplant-artificial-3d-printing-216104>.
- 279.Marx V. (2015) Organs from The Lab. – URL: <https://www.nature.com/articles/522373a>.
- 280.РБК Тренды (2021) Ученые планируют выращивать на МКС человеческие органы. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/612e2bcb9a7947655805f080>.
- 281.Mewburn E. (2021) The Future of Organ Transplantation: Growing Organs from Scratch? – URL: <https://www.mewburn.com/news-insights/the-future-of-organ-transplantation-growing-organs-from-scratch>.
- 282.3a науку (2020) Ученые ускорили выращивание и отбор искусственных органов. – URL: <https://znanauku.mipt.ru/2020/10/22/uchenye-uskorili-vyrashhivanie-i-otbor-iskusstvennyh-organov>.
- 283.Freethink (2020) Building a Factory for Human Organs. – URL: <https://www.freethink.com/health/manufacturing-human-organs>.

- 284.Сбер Про (2022) Путешествие на диване: может ли виртуальный туризм стать заменой реальному? – URL: <https://sber.pro/publication/puteshestvie-na-divane-mozhet-li-virtualnyi-turizm-stat-zamenoj-realnomu>.
- 285.Appinventiv (2023) Metaverse: Shaping the Future of Travel. – URL: <https://appinventiv.com/blog/metaverse-in-travel-industry>.
- 286.Hotelmize (2022) 4 Well-Thought Examples of Virtual Reality in Tourism. – URL: <https://www.hotelmize.com/blog/4-well-thought-examples-of-virtual-reality-in-tourism>.
- 287.Analytic Steps (2021) Virtual Tourism – Overview and Applications. – URL: <https://www.analyticssteps.com/blogs/virtual-tourism-overview-and-applications>.
- 288.Appinventiv (2023) Metaverse: Shaping the Future of Travel. – URL: <https://appinventiv.com/blog/metaverse-in-travel-industry>.
- 289.Hotelmize (2022) 4 Well-Thought Examples of Virtual Reality in Tourism. – URL: <https://www.hotelmize.com/blog/4-well-thought-examples-of-virtual-reality-in-tourism>.
- 290.Appinventiv (2023) Metaverse: Shaping the Future of Travel. – URL: <https://appinventiv.com/blog/metaverse-in-travel-industry>.
- 291.Digital Journal (2022) Urban Farming Market Size, Sales, CAGR and Competition Data from 2023 to 2028 with Top Countries Data. – URL: <https://www.digitaljournal.com/pr/urban-farming-market-size-sales-cagr-and-competition-data-from-2023-to-2028-with-top-countries-data>.
- 292.The Hong Kong University of Science and Technology. The Rise of Urban Farming During WW2. – URL: <https://ssc.hkust.edu.hk/impact-journal/the-rise-of-urban-farming-during-ww2>.
- 293.Stuchtey M., Vahle T. Urban Agriculture: Another Way to Feed Cities // Open Edition Journal. – 2019. – Special Issue 20. – P. 60–67. – URL: <https://journals.openedition.org/factsreports/5724#ftn2>.
- 294.Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018) the Future of Food and Agriculture. Alternative Pathways to 2050. – URL: <https://www.fao.org/3/CA1553EN/ca1553en.pdf>.
- 295.The Digest Online (2020) Sustainable Cities of the Future. – URL: <https://thedigestonline.com/community-human-interest/sustainable-cities-of-the-future>.
- 296.Tomorrow Cities (2020) Xiongan, China`s Self-Sufficient Cities. – URL: <https://tomorrow.city/a/xiongan-new-area-the-selfsufficient-city>.

- 297.SpaceTech Analytics (2021) SpaceTech Industry 2021 / Q2 Landscape Overview. – URL: <https://analytics.dkv.global/spacetech/SpaceTech-Industry-2021-Report.pdf>.
- 298.McKinsey (2022) How Will the Space Economy Change the World. – URL: <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/how-will-the-space-economy-change-the-world>.
- 299.Space Foundation (2022) Space Report 2022 Q2. – URL: <https://www.spacefoundation.org/2022/07/27/the-space-report-2022-q2>.
- 300.Morgan Stanley (2022) Creating Space. – URL: <https://www.morganstanley.com/Themes/global-space-economy>.
- 301.SpaceTech Analytics (2021) SpaceTech Industry 2021 / Q2 Landscape Overview. – URL: <https://analytics.dkv.global/spacetech/SpaceTech-Industry-2021-Report.pdf>.
- 302.U.S. Government (2015) U.S. Commercial Space Launch Competitiveness Act. – URL: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/PLAW-114publ90/pdf/PLAW-114publ90.pdf>.
- 303.Asahi (2021) New Legislation Gives Companies Legal Rights to Lunar Resources. – URL: <https://www.asahi.com/ajw/articles/14420386>.
- 304.The UAE Government Portal. Space Science and Technology. – URL: <https://u.ae/en/about-the-uae/science-and-technology/key-sectors-in-science-and-technology/space-science-and-technology>.
- 305.Le portail officiel du gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg (2017) Loi du 20 juillet 2017 sur l’exploration et l’utilisation des ressources de l’espace. – URL: <https://legilux.public.lu/eli/etat/leg/loi/2017/07/20/a674/jo>.
- 306.The State Council Information Office (2022) China's Space Program: A 2021 Perspective. – URL: http://english.scio.gov.cn/whitepapers/2022-01/28/content_78016877_7.htm.
- 307.OffWorld. – URL: <https://www.offworld.ai>.
- 308.Moon Express. – URL: <https://moonexpress.com>.
- 309.Ispace. – URL: <https://ispace-inc.com>.
- 310.AstroForge. – URL: <https://www.astroforge.io>.
- 311.TransAstra. – URL: <https://transastra.com>.
- 312.Colorado School of Mines. Asteroid Mining, Space Mining and Space Resources Jobs in 2021. – URL: <https://gradprograms.mines.edu/blog/asteroid-mining-space-mining-and-space-resources-jobs-in-2021>.

313.CNBC (2022) The First Crop of Space Mining Companies Didn't Work Out, But A New Generation Is Trying Again. – URL: <https://www.cnbc.com/2022/10/09/space-mining-business-still-highly-speculative.html>.

314.RAND Corporation (2022) Governance in Space: Mining the Moon and Beyond. – URL: <https://www.rand.org/blog/2022/11/governance-in-space-mining-the-moon-and-beyond.html>.

315.Хайтек (2015) Литий-кислородные батареи будут в 10 раз мощнее и в 5 раз дешевле. – URL: <https://hightech.fm/2015/11/03/lithium-oxygen-battery>.

316.Electrocars (2021) Прорыв в разработке новых литий-кислородных батарей для электромобилей. – URL: <https://electrocars.ru/charging/proryv-v-razrabotke-novyh-litij-kislorodnyh-batarej-dla-elektromobilej>.

317.Illinois Tech (2021) Breakthrough in Lithium-air Batteries Could Help Put More Electric Vehicles on the Road. – URL: <https://www.iit.edu/news/breakthrough-lithium-air-batteries-could-help-put-more-electric-vehicles-road>.

318.Хайтек+ (2018) Совершен прорыв в разработке литий-кислородных аккумуляторов. – URL: <https://hightech.plus/2018/08/24/sovershen-proriv-v-razrabotke-litii-kislorodnih-akkumulyatorov>.

319.Illinois Tech (2021) Breakthrough in Lithium-air Batteries Could Help Put More Electric Vehicles on the Road. – URL: <https://www.iit.edu/news/breakthrough-lithium-air-batteries-could-help-put-more-electric-vehicles-road>.

320.The Guardian (2023) Revealed: How US Transition to Electric Cars Threatens Environmental Havoc. – URL: <https://www.theguardian.com/us-news/2023/jan/24/us-electric-vehicles-lithium-consequences-research>.

321.Shrink That Footprint. What Is the Social Impact of Electric Cars? – URL: <https://shrinkthatfootprint.com/what-is-the-social-impact-of-electric-cars>.

322.РБК Тренды (2021) Люди-киборги: каким будет человек в 2030 году. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/5f566f0e9a79477832051401>.

323.Постнаука (2021) Люди-киборги: как меняется биопротезирование. – URL: <https://postnauka.ru/longreads/156854>.

324.РБК (2012) Удивительное о нефти: из нее делают игрушки, лекарства и еду. – URL: <https://www.rbc.ru/economics/27/11/2012/5704002e9a7947fcbd442f1b>.

325.Агроинвестор (2020) Новый белок. Готов ли российский рынок к альтернативным кормовым белкам. – URL: <https://www.agroinvestor.ru/animal/article/33131-novyy-belok-gotov-li-rossiyskiy-rynok-k-alternativnym-kormovym-belkam>.

326.The Guardian (2022) ‘Deep-Sea Gold Rush’ For Rare Metals Could Cause Irreversible Harm. – URL: <https://www.theguardian.com/environment/2022/apr/29/deep-sea-gold-rush-rare-metals-environmental-harm>.

327.Future Timeline. 2040 Timeline Contents. – URL: <https://www.futuretimeline.net/21stcentury/2040.htm#deep-ocean-mining-2040>.

328.The Japan News (2022) Japan Seeks to Extract Rare Earths from 6,000 Meters Undersea. – URL: <https://japannews.yomiuri.co.jp/business/economy/20221031-68094>.

329.PS Market Research (2022) Rare Earth Metals Market Outlook. – URL: <https://www.psmarketresearch.com/market-analysis/rare-earth-metals-market>.

330.Коммерсантъ (2021) Газовые гидраты: наука и применение. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4750809>.

331.The Pew Trust (2017) The Clarion-Clipperton Zone. Valuable Minerals and Many Unusual Species Can Be Found On the Eastern Pacific Ocean Seafloor. – URL: https://www.pewtrusts.org/-/media/assets/2017/12/sea_the_clarion_clipperton_zone.pdf.

332.The Guardian (2021) Race to the Bottom: The Disastrous, Blindfolded Rush to Mine the Deep Sea. – URL: <https://www.theguardian.com/environment/2021/sep/27/race-to-the-bottom-the-disastrous-blindfolded-rush-to-mine-the-deep-sea>.

333.Cornell Chronicle (2022) Onshore Algae Farms Could Feed the World Sustainably. – URL: <https://news.cornell.edu/stories/2022/10/onshore-algae-farms-could-feed-world-sustainably>.

334.Ocean Rainforest (2023) Ocean Rainforest Secures \$6.2 Million in Series-A Funding for North Atlantic and Eastern Pacific Expansion. – URL: <https://www.oceanrainforest.com/blog-en/2023/2/15/ocean-rainforest-secures-62-million-in-series-a-funding-for-north-atlantic-and-eastern-pacific-expansion>.

335.Oceanography (2022) Transforming the Future of Marine Aquaculture: A Circular Economy Approach. – URL: <https://tos.org/oceanography/article/transforming-the-future-of-marine-aquaculture-a-circular-economy-approach>.

336.Scientific American (2020) Could Our Energy Come from Giant Seaweed Farms in the Ocean? – URL: <https://www.scientificamerican.com/article/could-our-energy-come-from-giant-seaweed-farms-in-the-ocean>.

337.Ocean Rainforest (2023) Ocean Rainforest Secures \$6.2 Million in Series-A Funding for North Atlantic and Eastern Pacific Expansion. – URL: <https://www.oceanrainforest.com/blog-en/2023/2/15/ocean-rainforest-secures-62-million-in-series-a-funding-for-north-atlantic-and-eastern-pacific-expansion>

338.Ellen Macarthur Foundation (2021) Regenerative Ocean Farming: GreenWave. – URL: <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-examples/regenerative-ocean-farming>.

339.UNESCAP (2021) Green and Sustainable Logistics Network: Micro Mobility in the First – Last Mile. – URL: https://www.unescap.org/sites/default/d8files/knowledge-products/PolicyBrief_Sep2021.pdf.

340.PR Newswire (2023) Global Autonomous Last Mile Delivery Market 2023 to 2028: Players Include Drone Delivery Canada, Flytrex, Matternet, Relay Robotics and Robby Technologies. – URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-autonomous-last-mile-delivery-market-2023-to-2028-players-include-drone-delivery-canada-flytrex-matternet-relay-robotics-and-robbly-technologies-301743137.html>.

341.Royal Aeronautical Society (2022) Drone and Deliver. – URL: <https://www.aerosociety.com/news/drone-and-deliver>.

342.TechCrunch (2023) Serve Robotics to Deploy up to 2,000 Sidewalk Delivery Bots on Uber Eats. – URL: <https://techcrunch.com/2023/05/30/serve-robotics-to-deploy-up-to-2000-sidewalk-delivery-bots-on-uber-eats>.

343.Logistics Middle East (2023) The Future of Drone and Robot Delivery: Opportunities and Challenges. – URL: <https://www.logisticsmiddleeast.com/products/drone-robot-deliveries>.

344.Inc.Russia (2021) Биткоин заменит фиатные деньги к 2050 году, заявили 54% экспертов. – URL: <https://incrussia.ru/news/bitcoin-vs-fiat-global-finance>.

345.Finder UK (2022) BTC Price Prediction: Where Is Bitcoin Heading in 2023? – URL: <https://www.finder.com/uk/bitcoin-btc-price-prediction>.

346.РБК Кripto (2021) Биткоин впервые официально признан платежным средством. Что это значит. – URL: <https://www.rbc.ru/crypto/news/60c07ed39a794749b9a45080>.

347.VC (2021) Заменит ли криптовалюта фиатные деньги? – URL: <https://vc.ru/u/548398-mishaoushn/321924-zamenit-li-kriptoalyuta-fiatnye-dengi>.

348.Overclockers (2021) Почему Bitcoin ограничен 21 миллионом – несколько теорий на этот счет. – URL: <https://overclockers.ru/blog/TechRanch/show/50709/pochemu-bitcoin-ogranichen-21-millionom-neskolko-teorij-na-etot-schet>.

349.Bybit Learn (2022) 21 Million Bitcoin Limit: What Happens When All the Bitcoins Are Mined? – URL: <https://learn.bybit.com/crypto/21-million-bitcoin-limit-mined>.

350.Chainalysis (2021) The 2021 Global Crypto Adoption Index: Worldwide Adoption Jumps Over 880% With P2P Platforms Driving Cryptocurrency Usage in Emerging Markets. – URL: <https://blog.chainalysis.com/reports/2021-global-crypto-adoption-index>.

351.Investopedia (2022) Will Cryptocurrency Replace Fiat Currency? – URL: <https://www.investopedia.com/tech/bitcoin-or-altcoin-can-one-them-replace-fiat>.

352.Афиша Лондон (2021) Конкорд: самолёт, который обогнал время. – URL: <https://afisha.london/2021/03/03/konkord-samolyot-kotoryj-obognal-vremya>.

353.Simple Flying (2020) Which Companies Are Competing in the Supersonic Flight Race? – URL: <https://simpleflying.com/supersonic-flight-race/#lockheed-martin-and-the-x-59-quesst-updated>.

354.BOOM Supersonic (2022) American Airlines Announces Agreement to Purchase Boom Supersonic Overture Aircraft, Places Deposit on 20 Overtures. – URL: <https://boomsupersonic.com/news/post/american-airlines-announces-agreement-to-purchase-boom-supersonic-overture-aircraft-places-deposit-on-20-overtures>.

355.WEF (2022) Supersonic and Sustainable? How Aviation Plans to Break the Sound Barrier – And Its Reliance On Jet Fuel. – URL: <https://www.weforum.org/agenda/2022/10/supersonic-flight-sustainable-aviation>.

356.BOOM Supersonic (2022) United Goes Supersonic. – URL: <https://boomsupersonic.com/united>.

357.WEF (2022) Supersonic and Sustainable? How Aviation Plans to Break the Sound Barrier – And Its Reliance On Jet Fuel. – URL: <https://www.weforum.org/agenda/2022/10/supersonic-flight-sustainable-aviation>.

358.World Finance (2023) A Return to Supersonic Commercial Aviation. – URL: <https://www.worldfinance.com/markets/a-return-to-supersonic-commercial-aviation>.

359.3DNews (2022) Boom Supersonic придётся самой создать двигатель для сверхзвукового пассажирского самолёта – ведущие разработчики отказались. – URL: <https://3dnews.ru/1078858/vedushchie-razrabotchiki-aviatsionnih-sistem-otkazalis-sozdavat-dvigatel-dlya-sverhzhukovogo-samolyota-boom-supersonic-no-eto-eshchy-ne-konets>.

360.AeroTime (2022) another Blow for Boom? CFM Says Not Interested in Supersonic Engine. – URL: <https://www.aerotime.aero/articles/32427-cfm-not-interested-in-supersonic-engine-ceo>.

- 361.TACC (2019) Сверхзвуковые самолеты возвращаются. Одни этого ждут, другие боятся. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/6779965>.
- 362.Federal Aviation Administration (2020) Supersonic Flight. – URL: <https://www.faa.gov/newsroom/supersonic-flight>.
- 363.International Civil Aviation Organization (2001) Assembly Resolutions in Force (as of 5 October 2001). – URL: <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/STATEMENTS/A33-7.pdf>.
- 364.CubicPrints. 4D-печать – управление временем. – URL: <https://www.cubicprints.ru/blog/post/4D-pechat-ypravlenie-vremenem>.
- 365.Sculpteo (2023) 4D Printing: All You Need to Know in 2023. – URL: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/best-articles-about-3d-printing/4d-printing-technology>.
- 366.Salonika A., Marko H. New Industrial Sustainable Growth: 3D and 4D Printing. In: Trends and Opportunities of Rapid Prototyping Technologies. IntechOpen. – 2022. – URL: <https://www.intechopen.com/chapters/81641>.
- 367.Expert Market Research (2022) Global 4D Printing Market. – URL: <https://www.expertmarketresearch.com/reports/4d-printing-market>.
- 368.Salonika A., Marko H. New Industrial Sustainable Growth: 3D and 4D Printing. In: Trends and Opportunities of Rapid Prototyping Technologies. IntechOpen. – 2022. – URL: <https://www.intechopen.com/chapters/81641>.
- 369.Международное агентство по атомной энергии (2021) ИТЭР: крупнейший в мире эксперимент по термоядерному синтезу. – URL: <https://www.iaea.org/ru/energiya-termoyadernogo-sinteza/iter-krupneyshiy-v-mire-eksperiment-po-termoyadernomu-sintezu>.
- 370.РИА Новости (2022) «Это все изменит». Что последует за прорывом в ядерном синтезе. – URL: <https://ria.ru/20221216/termoyad-1838922671.html>.
- 371.Росатом. Проектный центр ИТЭР. – URL: <https://www.iterf.ru/o-proekte>.
- 372.World Nuclear News (2022) Defects Found in Two Key Components of ITER's Tokamak. – URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Defects-found-in-two-key-components-of-ITER-tokama>.
- 373.Eurek Alert (2023) New Super I-Mode Obtained On EAST. – URL: <https://www.eurekalert.org/news-releases/975834>.
- 374.National Ignition Facility. – URL: <https://lasers.llnl.gov>.

375.Стимул. Журнал об инновациях в России (2023) Буржуазная термоядерная революция. – URL: <https://stimul.online/articles/science-and-technology/burzhnaznaya-termoyadernaya-revolutsiya>.

376.McKinsey (2023) Fusion Energy Is Gaining Momentum – Building Up a Global Ecosystem Could Help Accelerate Its Commercialization. – URL: <https://www.mckinsey.com/uk/our-insights/the-mckinsey-uk-blog/fusion-energy-is-gaining-momentum-building-up-a-global-ecosystem-could-help-accelerate-its-commercialization>.

377.Pitchbook (2022) Fusion 'Breakthrough' Won't Overshadow Renewable Energy Sources. – URL: <https://pitchbook.com/news/articles/nuclear-fusion-solar-wind-analysis>.

378.Allied Market Research (2023) Fusion Energy Market by Technology (Inertial Confinement, Magnetic Confinement), by Fuels (Deuterium Tritium, Deuterium, Deuterium Helium 3, Proton Boron): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2030-2040. – URL: <https://www.alliedmarketresearch.com/fusion-energy-market-A31820>.

379.McKinsey (2023) Fusion Energy Is Gaining Momentum – Building Up a Global Ecosystem Could Help Accelerate Its Commercialization. – URL: <https://www.mckinsey.com/uk/our-insights/the-mckinsey-uk-blog/fusion-energy-is-gaining-momentum-building-up-a-global-ecosystem-could-help-accelerate-its-commercialization>.

380.Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Bank Group (2023) Rising Global Food Insecurity: Assessing Policy Responses. A Report Prepared at the Request of the Group of 20 (G20). – URL: <https://www.fao.org/3/cc5392en/cc5392en.pdf>.

381.Всемирный банк (2020) Создание рабочих мест в агропродовольственном секторе Республики Узбекистан. – URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/917221601270571693/pdf/Uzbekistan-Agri-Food-Job-Diagnostic.pdf>.

382.Eurostat (2022) Farmers and the Agricultural Labour Force – Statistics. – URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Farmers_and_the_agricultural_labour_force_-_statistics.

383.Eurostat (2020) First Population Estimates. EU Population in 2020: Almost 448 Million. More Deaths than Births. – URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/11081093/3-10072020-AP-EN.pdf>.

384.ФАО (2018) Органическое сельское хозяйство в Азербайджане. – URL: <http://old.belal.by/elib/fao/1031.pdf>.

385. World Bank Group (2021) Employment in Agriculture (% Of Total Employment) (Modeled ILO Estimate) – China. – URL: <https://data.worldbank.org/indicator/SL.AGR.EMPL.ZS?locations=CN>.
386. ILO (2023) World Employment and Social Outlook. Trends 2023. – URL: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---inst/documents/publication/wcms_865332.pdf.
387. The Hong Kong University of Science and Technology. The Rise of Urban Farming During WW2. – URL: <https://ssc.hkust.edu.hk/impact-journal/the-rise-of-urban-farming-during-ww2>.
388. UNCTAD (2022) Обзор морского транспорта. – URL: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2022overview_ru.pdf.
389. Allianz (2021) The Suez Canal Ship Is Not the Only Thing Clogging Global Trade. – URL: https://www.allianz-trade.com/en_global/news-insights/economic-insights/the-suez-canal-ship-is-not-the-only-thing-clogging-global-trade.html.
390. Interos (2022) Resilience 2022: Interos Annual Global Supply Chain Report. – URL: <https://www.interos.ai/resources/global-supply-chain-report>.
391. United Nations (2021) Water Scarcity. – URL: <https://www.unwater.org/water-facts/water-scarcity>.
392. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020) The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming Water Challenges in Agriculture. Rome. – URL: <https://www.fao.org/3/cb1447en/online/cb1447en.html>.
393. Food&Water Watch (2022) Futures Trading: Another Threat to Our Right to Water. – URL: <https://www.foodandwaterwatch.org/2022/07/25/futures-trading-another-threat-to-our-right-to-water>.
394. CNN Business (2020) Investors Can Now Trade Water Futures. – URL: <https://edition.cnn.com/2020/12/07/investing/water-futures-trading/index.html>.
395. TWN (2021) Are Water Futures the Future of Water? – URL: <https://www.twm.my/title2/finance/2021/fi210101.htm>.
396. Food&Water Watch (2022) Futures Trading: Another Threat to Our Right to Water. – URL: <https://www.foodandwaterwatch.org/2022/07/25/futures-trading-another-threat-to-our-right-to-water>.
397. Travel&Leisure (2022) 8 Best Underwater Hotel Rooms around the World. – URL: <https://www.travelandleisure.com/hotels-resorts/best-underwater-hotels>.

- 398.Nasledie.Digital (2022) В отпуск на Луну, или Путешествия будущего. – URL: <https://nasledie.digital/articles/v-otpusk-na-lunu-ili-puteshestviya-budushhego>.
- 399.Extreme Sports (2020) Подводные экскурсии на подводных лодках (субмаринах). – URL: <https://h-i.su/content/podvodnye-jekskursii-na-podvodnyh-lodkah-submarinah.php>.
- 400.Kasyanov V., Chernysheva, O. (2019) Use of Underground Space in Large Cities. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/471/11/112052/pdf>.
- 401.Research and Markets (2022) Hyperloop Technology Global Market Report 2022. – URL: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5607149/hyperloop-technology-global-market-report-2022>.
- 402.Magway. – URL: <https://www.magway.com>.
- 403.McKinsey (2017) Where Is Technology Taking the Economy? – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/where-is-technology-taking-the-economy>.
- 404.The Drive (2022) GM’s Cruise Wins the Race to Charge for Driverless Rides. – URL: <https://www.thedrive.com/news/gms-cruise-wins-the-race-to-charge-for-driverless-rides>.
- 405.Innovation Lab (2020) Post-Mobile Digital Transformation: What Autonomous Commerce Means for Your Customers, Company, and Economy. – URL: <https://innovationlab.net/events/webinar-a-preview-of-the-autonomous-economy>.
- 406.Ravenscraft E. (2022) What Is the Metaverse, Exactly? Wired. – URL: <https://www.wired.com/story/what-is-the-metaverse>.
- 407.Bloomberg (2021) Metaverse May Be \$800 Billion Market, Next Tech Platform. – URL: <https://www.bloomberg.com/professional/blog/metaverse-may-be-800-billion-market-next-tech-platform>.
- 408.Luisa Zhou (2022) Metaverse Statistics 2022: Market Size, Users, and Industry Growth. – URL: <https://www.luisazhou.com/blog/metaverse-statistics>.
- 409.McKinsey (2017) Where Is Technology Taking the Economy? – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/where-is-technology-taking-the-economy>.
- 410.The Guardian (2021) Jersey Row: Fishing Leader Says French Threats ‘Close to Act of War’. – URL: <https://www.theguardian.com/uk-news/2021/may/05/jersey-fishing-row-french-threats-pretty-close-to-act-of-war>.

- 411.AZO Life Science (2022) Floating Autonomous Farms: The Future of Aquaculture? – URL: <https://www.azolifesciences.com/article/Floating-Autonomous-Farms-The-Future-of-Aquaculture.aspx>.
- 412.OOH (2021) Судьба океанов зависит от каждого из нас. Сегодня Всемирный день океанов. – URL: <https://news.un.org/ru/story/2021/06/1404232>.
- 413.UNCTAD (2017) A Man-Made Tragedy: The Overexploitation of Fish Stocks. – URL: <https://unctad.org/news/man-made-tragedy-overexploitation-fish-stocks>.
- 414.Ocean Era. – URL: <http://ocean-era.com>.
- 415.Innova Sea. – URL: <https://www.innovasea.com/open-ocean-aquaculture>.
- 416.Arctic Offshore Farming. – URL: <https://www.arcticoffshorefarming.no>.
- 417.Globe Newswire (2023) Aquaculture Market to Reach USD 105 Billion by 2028 Thanks to Increasing Consumption of Fish for Its Nutritional Value. – URL: <https://www.globenewswire.com/news-release/2023/01/18/2591009/0/en/Aquaculture-Market-to-Reach-USD-105-Billion-by-2028-Thanks-to-Increasing-Consumption-of-Fish-for-Its-Nutritional-Value.html>.
- 418.AZO Life Science (2022) Floating Autonomous Farms: The Future of Aquaculture? – URL: <https://www.azolifesciences.com/article/Floating-Autonomous-Farms-The-Future-of-Aquaculture.aspx>.
- 419.European Parliament (2023) Expansion of the Ribeira Brava Offshore Floating Fish Farm. – URL: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-9-2023-000215_EN.html.
- 420.World Food Programme (2022) A Global Food Crisis. – URL: <https://www.wfp.org/global-hunger-crisis>.
- 421.Xueqin L., Yaokang W. et al. Synthetic Biology for Future Food: Research Progress and Future Directions // Future Foods. – 2021. – Vol. 3. 100025, DOI: 10.1016/j.fufo.2021.100025.
- 422.Businesswire (2021) Synthetic Biology in Agriculture and Food Market. – URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20210311005419/en/Synthetic-Biology-in-Agriculture-and-Food-Market---Global-Market-Analysis-2020-2025-with-Focus-on-Product-Technology-Application-Industry-Country-Patent-Government-Programs-and-Funding---ResearchAndMarkets.com>.
- 423.Market Watch (2023) Synthetic Biology in Agriculture and Food Market 2023 by Trends, Latest Research, Industry Competition Analysis, Revenue and Forecast till 2028. – URL: <https://www.marketwatch.com/press-release/synthetic-biology-in-agriculture-and-food-market->

2023-by-trends-latest-research-industry-competition-analysis-revenue-and-forecast-till-2028-2023-01-13.

424.Voigt C.A. Synthetic Biology 2020–2030: Six Commercially-Available Products That Are Changing Our World // Nat Commun. – 2020. – Vol. 11. P. 63–79. DOI: 10.1038/s41467-020-20122-2.

425.Pew Research Center (2020) Many Publics around World Doubt Safety of Genetically Modified Foods. – URL: <https://www.pewresearch.org/fact-tank/2020/11/11/many-publics-around-world-doubt-safety-of-genetically-modified-foods>.

426.Evoke Agri Futures (2022) Synthetic Biology and Its Place in Our Future Food System. – URL: <https://evokeag.com/synthetic-biology-and-its-place-future-food-system>.

427.Orihuela-Pinto B., England M.H., Taschetto A.S. Interbasin and Interhemispheric Impacts of a Collapsed Atlantic Overturning Circulation // Nat. Clim. Chang. – 2022. – Vol. 12. – P. 558–565. DOI: 10.1038/s41558-022-01380-y.

428.Boers N. Observation-Based Early-Warning Signals for A Collapse of the Atlantic Meridional Overturning Circulation // Nat. Clim. Chang. – 2021. – Vol. 11. – P. 680–688. DOI: 10.1038/s41558-021-01097-4.

429.Эксперт (2021) Ученые предупредили об угрозе коллапса Гольфстрима. – URL: <https://expert.ru/2021/08/6/golfstrim>.

430.Межправительственная группа экспертов по изменению климата (2020) Океан и криосфера в условиях изменяющегося климата. Специальный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. – URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_ru.pdf.

431.UNECE (2020) The Industrial Accidents Convention and Natural Disasters: Natech. – URL: <https://unece.org/industrial-accidents-convention-and-natural-disasters-natech>.

432.OECD (2022) The Impact of Natural Hazards on Hazardous Installations. – URL: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/chemical-accidents/impact-of-natural-hazards-on-hazardous-installations.pdf>.

433.IPCC (2022) Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. – URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2>.

434.Science Direct (2019) Dealing with Cascading Multi-Hazard Risks in National Risk Assessment: The Case of Natech Accidents. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420918311452>.

435.UNECE (2022) Marking 30 Years of Progress, Parties to the Industrial Accidents Convention Gear Up to Address Risks from Climate Change, Natural Hazards and the Green Energy Transition. – URL: <https://unece.org/media/press/373650>.

436.ООН (2021) В ООН напоминают о негативных последствиях деятельности человека для Мирового океана. – URL: <https://news.un.org/ru/story/2021/04/1401322>.

437.Dryden H., Duncan D., Duncan C. Climate Regulating Ocean Plants and Animals Are Being Destroyed by Toxic Chemicals and Plastics, Accelerating Our Path Towards Ocean Ph 7.95 In 25 Years Which Will Devastate Humanity // Environmental Science eJournal. – 2021. – Vol. 8, No. 21. – URL: <https://ssrn.com/abstract=3860950>.

438.Birch H., Schmidt D.N., Coxall H.K., Kroon D., Ridgwell A. Ecosystem Function after the K/Pg Extinction: Decoupling of Marine Carbon Pump and Diversity. Proc. R. Soc. – 2021. B288: 20210863. DOI: 10.1098/rspb.2021.0863.

439.UNCCD (2022) Drought in Numbers 2022: Restoration for Readiness and Resilience // United Nations Convention to Combat Desertification. – URL: <https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-05/Drought%20in%20Numbers.pdf>.

440.Trenberth K., Dai A., van der Schrier G. et al. Global Warming and Changes in Drought // Nature Clim. Change. – 2014. – Vol. 4. – P. 17–22.

441.Price J., Warren R., Forstner N. et al. Quantification of Meteorological Drought Risks between 1.5 °C and 4 °C of Global Warming In Six Countries // Climatic Change. – 2022. – Vol. 12 (174).

442.Food and Agriculture Organization of the United Nations. India at a Glance. – URL: <https://www.fao.org/india/fao-in-india/india-at-a-glance/en>.

443.Brazil. IFAD. – URL: <https://www.ifad.org/en/web/operations/w/country/brazil>.

444.Cuartas L.A, Cunha A.P.M.d.A., Alves, J.A., Parra L.M.P., Deusdará-Leal K., Costa L.C.O., Molina R.D., Amore D., Broedel E., Seluchi M.E. Recent Hydrological Droughts in Brazil and Their Impact on Hydropower Generation // Water. – 2022. – Vol. 14 (601). – URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/4/601#cite>.

445.Getirana A., Libonati R., Cataldi M. (2021) Brazil Is in Water Crisis – It Needs a Drought Plan // Nature News. – URL: <https://www.nature.com/articles/d41586-021-03625-w>.

446.Down to Earth (2022) Desertification: 'Droughts Reduced India's GDP by Up to 5% In 20 Years'. – URL: <https://www.downtoearth.org.in/news/climate-change/desertification-droughts-reduced-india-s-gdp-by-up-to-5-in-20-years--82794>.

- 447.WEF (2019) The Global Risks Report 2019. – URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2019.pdf.
- 448.WEF (2020) The Global Risks Report 2020. – URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf.
- 449.UNCCD (2022) Drought in Numbers 2022: Restoration for Readiness and Resilience // United Nations Convention to Combat Desertification. – URL: <https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-05/Drought%20in%20Numbers.pdf>.
- 450.WEF (2021) How to Build Smart, Zero Carbon Buildings – And Why It Matters. – URL: <https://www.weforum.org/agenda/2021/09/how-to-build-zero-carbon-buildings>.
- 451.World Business Council for Sustainable Development (2021) Net-Zero Buildings: Where Do We Stand? – URL: <https://www.wbcsd.org/Programs/Cities-and-Mobility/Sustainable-Cities/Transforming-the-Built-Environment/Decarbonization/Resources/Net-zero-buildings-Where-do-we-stand>.
- 452.Deloitte (2021) Urban Future with a Purpose. – URL: <https://www2.deloitte.com/xe/en/insights/industry/public-sector/future-of-cities.html>.
- 453.Energy Digital (2020) Masdar: The Greenest City in the World. – URL: <https://energydigital.com/smart-energy/masdar-greenest-city-world>.
- 454.McKinsey (2022) Buildings. – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/spotting-green-business-opportunities-in-a-surging-net-zero-world/transition-to-net-zero/buildings>.
- 455.Bernard Marr (2022) The Five Biggest New Energy Trends in 2022. – URL: <https://bernardmarr.com/the-five-biggest-new-energy-trends-in-2022>.
- 456.ООН (2020) Замкнутый круг: борьба за ресурсы приводит к конфликтам, которые уничтожают природу. – URL: <https://news.un.org/ru/story/2020/09/1386042>.
- 457.Exclusive (2021) Дефицит воды может стать причиной регионального конфликта. – URL: <https://www.exclusive.kz/expertiza/obshhestvo/126089>.
- 458.ООН (2023) Ирак первой из арабских стран присоединился к Водной конвенции ООН. – URL: <https://news.un.org/ru/story/2023/03/1439127>.
- 459.Aaron T. Wolf, Shira B. Yoffe, Mark Giordano International Waters: Identifying Basins at Risk // Water Policy. – 2003. – Vol. 5, Is. 1. – P. 29–60. – URL: <https://iwaponline.com/wp/article-abstract/5/1/29/11563/International-waters-identifying-basins-at-risk>.

460. Plastic Soup Foundation (2022) The Forgotten Synthetic Polymers and Their Environmental and Human Health Concerns. – URL: <https://www.plasticsoupfoundation.org/wp-content/uploads/2022/04/The-Forgotten-Synthetic-Polymers.pdf>.

461. Springer Nature (2023) Polylactic Acid Synthesis, Biodegradability, Conversion to Microplastics and Toxicity: A Review. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-023-01564-8>.

462. Food Packaging Forum (2023) Biodegradable Plastics May Bring Degradation and Toxicity Challenges, Say Scientists. – URL: <https://www.foodpackagingforum.org/news/biodegradable-plastics-may-bring-degradation-and-toxicity-challenges-say-scientists>.

463. Мировой центр данных по солнечно-земной физике. Циклы солнечной активности. – URL: http://www.wdcb.ru/stp/solar/solar_cycles.ru.html.

464. Spaceweather (2020) Solar Cycle 25 Has Begun. – URL: <https://spaceweatherarchive.com/2020/09/17/solar-cycle-25-has-begun>.

465. N+1 (2019) Прогнозируем солнечный цикл. – URL: <https://nplus1.ru/blog/2019/03/08/sun-cycles-prognosis>.

466. NASA (2008) Halloween Storms of 2003 Still the Scariest. – URL: https://www.nasa.gov/topics/solarsystem/features/halloween_storms.html.

467. Space (2022) Extreme Solar Storms Can Strike Out of the Blue. Are We Really Prepared? – URL: <https://www.space.com/extreme-solar-storms-is-earth-prepared>.

468. Space (2022) Solar Cycle: What Is It and Why Does It Matter? – URL: <https://www.space.com/solar-cycle-frequency-prediction-facts>.

469. ScienceDaily (2022) Fast Changes between the Solar Seasons Resolved by New Sun Clock. – URL: <https://www.sciencedaily.com/releases/2021/08/210817131420.htm>.

470. ASCE (2015) 2015 Report Card for New York's Infrastructure. – URL: https://www.infrastructurereportcard.org/wp-content/uploads/2017/01/NY_ReportCard_FullReport_9.29.15_FINAL.pdf.

471. Space (2022) The Carrington Event: History's Greatest Solar Storm. – URL: <https://www.space.com/the-carrington-event>.

472. NASA Global Climate Change (2021) Global Temperature. – URL: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature>.

473. Новости ООН (2021) Мы неумолимо приближаемся к 1,5 °C – порогу повышения температуры. – URL: <https://news.un.org/ru/story/2021/05/1403622>.

474. Baskin C. Effects of Climate Change on Annual Crops: The Case of Maize Production in Africa // Plant Regeneration from Seeds. – Academic Press. – 2022. – P. 213–228.
475. IPCC (2022) IPCC Chair's Remarks During the 2nd World Ocean Summit Asia-Pacific. – URL: <https://www.ipcc.ch/2022/11/29/ipcc-chair-2nd-world-ocean-summit-asia-pacific>.
476. ООН. Борьба с изменением климата – гонка, из которой мы все еще можем выйти победителями. – URL: <https://www.un.org/ru/un75/climate-crisis-race-we-can-win>.
477. World Bank Group (2018) Groundswell: Preparing for Internal Climate Migration. – URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29461>.
478. ООН (2021) Изменение климата влияет на здоровье и самочувствие людей во всем мире. – URL: <https://news.un.org/ru/story/2021/10/1411592>.
479. IQAir (2022) World's Most Polluted Cities (Historical Data 2017-2022). – URL: <https://www.iqair.com/us/world-most-polluted-cities>.
480. IQAir (2023) Air Quality and Pollution City Ranking. – URL: <https://www.iqair.com/world-air-quality-ranking>.
481. New Atlas (2014) Orproject Proposes Huge Sealed Bubble of Clean Air for Beijing. – URL: <https://newatlas.com/orproject-bubbles-beijing/30995>.
482. Broadwell. Cost of an Air Dome. – URL: <https://www.broadwellairdomes.com/intro-to-air-domes/air-dome-purchase-process>.
483. The Straits Times (2015) China Schools Covering Up with Domes to Keep Out Smog. – URL: <https://www.straitstimes.com/asia/east-asia/china-schools-covering-up-with-domes-to-keep-out-smog>.
484. Greenpeace (2021) Заповедный континент. Как Greenpeace создал из Антарктиды Всемирный парк. – URL: <https://greenpeace.ru/stories/2021/08/25/zapovednyj-kontinent>.
485. World Ocean Review. Mineral Resources Beneath the Antarctic Ice. – URL: <https://worldoceanreview.com/en/wor-6/polar-politics-and-commerce/an-economic-boom-with-side-effects/mineral-resources-beneath-the-antarctic-ice>.
486. Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty (The Madrid Protocol). – URL: <https://www.antarctica.gov.au/about-antarctica/law-and-treaty/the-madrid-protocol>.
487. Секретариат Договора об Антарктике. Договор об Антарктике. – URL: <https://www.ats.aq/r/antarctic-treaty.html>.
488. Popular Science (2018) What Will Antarctica Look Like in 2070? These Researchers Want to Show Us. – URL: <https://www.popsci.com/antarctica-ice-sheet-future>.

489.Протокол об охране окружающей среды к Договору об Антарктике от 4 октября 1991 года. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901886692?marker=7DI0K9>.

490.The Conversation (2018) In 30 Years The Antarctic Treaty Becomes Modifiable, And The Fate of a Continent Could Hang in The Balance. – URL: <https://theconversation.com/in-30-years-the-antarctic-treaty-becomes-modifiable-and-the-fate-of-a-continent-could-hang-in-the-balance-98654>.

491.360info (2022) Antarctica's Possible New World Order. – URL: <https://360info.org/antarcticas-possible-new-world-order>.

492.The Conversation (2018) In 30 Years The Antarctic Treaty Becomes Modifiable, And The Fate of a Continent Could Hang in The Balance. – URL: <https://theconversation.com/in-30-years-the-antarctic-treaty-becomes-modifiable-and-the-fate-of-a-continent-could-hang-in-the-balance-98654>.

493.360info (2022) Antarctica's Possible New World Order. – URL: <https://360info.org/antarcticas-possible-new-world-order>.

494.The Guardian (2023) Antarctic Tourism Is Booming – But Can the Continent Cope? – URL: <https://www.theguardian.com/world/2023/jun/25/antarctica-cruise-tourism-environment-impact>.

495.The Guardian (2022) The Century of Climate Migration: Why We Need to Plan for The Great Upheaval. – URL: <https://www.theguardian.com/news/2022/aug/18/century-climate-crisis-migration-why-we-need-plan-great-upheaval>.

496.Live Science (2022) Will Antarctica Ever Be Habitable? – URL: <https://www.livescience.com/habitable-antarctica>.

497.Cinel C., Valeriani D., Poli R. (2019) Neurotechnologies for Human Cognitive Augmentation: Current State of the Art and Future Prospects // Front. Hum. Neurosci. – 2019. – Vol. 13. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2019.00013/full>.

498.IFSH Research Report (2022) Negative Multiplicity: Forecasting the Future Impact of Emerging Technologies on International Stability and Human Security. – URL: https://ifsh.de/file/publication/Research_Report/010/Research_Report_010.pdf.

499.Pew Research Center (2022) What Americans Think About Possibilities Ahead for Human Enhancement. – URL: <https://www.pewresearch.org/internet/2022/03/17/what-americans-think-about-possibilities-ahead-for-human-enhancement>.

500.Triple-A. (2023) Cryptocurrency Ownership Data. Cryptocurrency across the World. – URL: <https://triple-a.io/crypto-ownership-data>.

501.Comply Advantage (2022) Cryptocurrency Regulations Around the World. – URL: <https://complyadvantage.com/insights/cryptocurrency-regulations-around-world>.

502.PWC (2021) El Salvador’s Law: A Meaningful Test for Bitcoin. – URL: <https://www.pwc.com/gx/en/financial-services/pdf/el-salvadors-law-a-meaningful-test-for-bitcoin.pdf>.

503.Законопроект № 138674-8 «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации и о приостановлении действия отдельных положений статьи 5.1 Федерального закона «О банках и банковской деятельности». – URL: <https://sozd.duma.gov.ru/bill/138674-8>.

504.Российский совет по международным делам (2022) Цифровая валюта и будущее мировой политики. – URL: <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/columns/cybercolumn/tsifrovaya-valyuta-i-budushchee-mirovoy-politiki>.

505.Reuters (2022) Russia Proposes Ban On Use and Mining of Cryptocurrencies. – URL: <https://www.reuters.com/business/finance/russian-cbank-proposes-banning-cryptocurrencies-crypto-mining-2022-01-20>.

506.United Nations (2022) UN Trade Body Calls for Halting Cryptocurrency Rise in Developing Countries. – URL: <https://news.un.org/en/story/2022/08/1124362>.

507.Газета.ru (2022) Минфин предложил разрешать россиянам майнить только после онлайн-тестирования. – URL: <https://www.gazeta.ru/business/2022/02/21/14560471.shtml>.

508.Яковенко А.В. (2023) Глобальный горизонт 2030 // Российский совет по международным делам. – URL: <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/comments/globalnyy-gorizont-2030>.

509.Скуратова А.Ю., Королькова Е.Е. (2019) Смертоносные автономные системы вооружений: проблемы международно-правового регулирования. – URL: <https://mgimo.ru/upload/iblock/6de/smertonosnye-avtonomnye-sistemy-vooruzhenij-problemy-mezhdunarodno-pravovogo-regulirovaniya.pdf>.

510.Foreign Policy (2022) Killer Robots Are Here – And We Need to Regulate Them. – URL: <https://foreignpolicy.com/2022/05/11/killer-robots-lethal-autonomous-weapons-systems-ukraine-libya-regulation>.

511.Council on Foreign Relations (2022) Stop the “Stop the Killer Robot” Debate: Why We Need Artificial Intelligence in Future Battlefields. – URL: <https://www.cfr.org/blog/stop-stop-killer-robot-debate-why-we-need-artificial-intelligence-future-battlefields>.

512.Валдай (2021) Автономные вооружения и законы войны. – URL: <https://ru.valdaiclub.com/a/highlights/avtonomnye-vooruzheniya-i-zakony-voyny>.

513.Федоров М., Цветков Ю. (2021) Искусственный интеллект и социальный рейтинг: начало эпохи цифрового концентрационного лагеря «в интересах человечества»? // Российский совет по международным делам. – URL: <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/iskusstvennyy-intellekt-i-sotsialnyy-reyting-nachalo-epokhi-tsifrovogo-kontsentratsionnogo-lagerya-v>.

514.MIT Technology Review (2022) China Just Announced a New Social Credit Law. Here's What It Means. – URL: <https://www.technologyreview.com/2022/11/22/1063605/china-announced-a-new-social-credit-law-what-does-it-mean>.

515.The Rating Initiative (2013) Rating Guide. Volume 2: The Social Rating Guide. – URL: https://sptf.info/images/social%20rating%20guide_english_nov%202014.pdf.

516.Федоров М., Цветков Ю. (2021) Искусственный интеллект и социальный рейтинг: начало эпохи цифрового концентрационного лагеря «в интересах человечества»? // Российский совет по международным делам. – URL: <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/iskusstvennyy-intellekt-i-sotsialnyy-reyting-nachalo-epokhi-tsifrovogo-kontsentratsionnogo-lagerya-v>.

517.City Journal (2022) Social Credit: Could It Happen Here? – URL: <https://www.city-journal.org/creeping-censorship-on-digital-platforms>.

518.Посульченко В.А. Экологический лоббизм как индикатор развития гражданского общества // PolitBook. – 2020. – № 2. – С. 24–41.

519.Purdue University. Environmental Lobbyist. – URL: https://www.purdue.edu/science/careers/what_i_do_with_a_major/Career%20Pages/environmental_lobbyist.html.

520.Trends Research & Advisory (2021) Robots Will Replace Humans in Battlefields, Says Experts in TRENDS Symposium Titled “The Future of Wars and Military Industries”. – URL: <https://trendsresearch.org/trends-news/robots-will-replace-humans-in-battlefields-says-experts-in-trends-symposium-titled-the-future-of-wars-and-military-industries>.

521.Бендетт С. (2019) Гонка боевых роботов и войны будущего // Россия в глобальной политике. – URL: <https://globalaffairs.ru/articles/gonka-boevyh-robotov-i-vojny-budushhego>.

522.The Verge (2018) Leading AI Researchers Threaten Korean University with Boycott Over Its Work On “Killer Robots”. – URL: <https://www.theverge.com/2018/4/4/17196818/ai-boycot-killer-robots-kaist-university-hanwha>.

523.Trends Research & Advisory (2021) Robots Will Replace Humans in Battlefields, Says Experts in TRENDS Symposium Titled “The Future of Wars and Military Industries”. – URL: <https://trendsresearch.org/trends-news/robots-will-replace-humans-in-battlefields-says-experts-in-trends-symposium-titled-the-future-of-wars-and-military-industries>.

524.New Scientist (2021) Drones May Have Attacked Humans Fully Autonomously for The First Time. – URL: <https://www.newscientist.com/article/2278852-drones-may-have-attacked-humans-fully-autonomously-for-the-first-time>.

525.Tadviser (2022) Боевые роботы и беспилотники. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Боевые_роботы_и_беспилотники.

526.РБК+1 (2021) Искусственный интеллект на поле боя. – URL: <https://plus-one.rbc.ru/society/iskusstvennyy-intellekt-na-pole-boya>.

527.Tadviser (2022) Анонс боевой робособаки с оружием на спине. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:SPUR_\(Special_Purpose_Unmanned_Rifle\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:SPUR_(Special_Purpose_Unmanned_Rifle)).

528.The Verge (2018) Leading AI Researchers Threaten Korean University with Boycott Over Its Work On “Killer Robots”. – URL: <https://www.theverge.com/2018/4/4/17196818/ai-boycot-killer-robots-kaist-university-hanwha>.

529.Mordor Intelligence (2021) Artificial Intelligence (AI) in Modern Warfare Market – Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2022-2027). – URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/artificial-intelligence-impact-and-future-in-modern-warfare>.

530.РБК+1 (2021) Искусственный интеллект на поле боя. – URL: <https://plus-one.rbc.ru/society/iskusstvennyy-intellekt-na-pole-boya>.

531.The Verge (2018) Leading AI Researchers Threaten Korean University with Boycott Over Its Work On “Killer Robots”. – URL: <https://www.theverge.com/2018/4/4/17196818/ai-boycot-killer-robots-kaist-university-hanwha>.

532.CSIS (2022) How Green-Party Success Is Reshaping Global Politics. – URL: <https://www.cfr.org/background/under/how-green-party-success-reshaping-global-politics>.

533.ARUP (2019) 2050 Scenarios: Four Plausible Futures. – URL: <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/2050-scenarios-four-plausible-futures>.

534.Борисова С.Н. (2018) Технология распределенных реестров как способ защиты данных от подмены. – URL: https://engineering.pnзgu.ru/files/engineering.pnзgu.ru/iit_2018_vol_3_2_12.pdf.

535.Нурмухаметов Р.К., Степанов П.Д., Новикова Т.Р (2018) Технология блокчейн и ее применение в торговом финансировании. Финансовая аналитика: проблемы и решения. – URL: <https://www.fin-izdat.com/journal/fa/detail.php?ID=72854>.

536.Борисова С.Н. (2018) Технология распределенных реестров как способ защиты данных от подмены. – URL: https://engineering.pnзgu.ru/files/engineering.pnзgu.ru/iit_2018_vol_3_2_12.pdf.

537.S&P Global Market Intelligence (2022) Trade Finance Industry Remains Hopeful on Blockchain despite Failed Projects. – URL: <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/trade-finance-industry-remains-hopeful-on-blockchain-despite-failed-projects-72557910>.

538.Нурмухаметов Р.К., Степанов П.Д., Новикова Т.Р (2018) Технология блокчейн и ее применение в торговом финансировании. Финансовая аналитика: проблемы и решения. – URL: <https://www.fin-izdat.com/journal/fa/detail.php?ID=72854>.

539.S&P Global Market Intelligence (2022) Trade Finance Industry Remains Hopeful on Blockchain despite Failed Projects. – URL: <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/trade-finance-industry-remains-hopeful-on-blockchain-despite-failed-projects-72557910>.

540.ISO (2020) Блокчейн – технология доверия. – URL: https://www.iso.org/ru/news/isofocus_142-5.html.

541.Нурмухаметов Р.К., Степанов П.Д., Новикова Т.Р (2018) Технология блокчейн и ее применение в торговом финансировании. Финансовая аналитика: проблемы и решения. – URL: <https://www.fin-izdat.com/journal/fa/detail.php?ID=72854>.

542.S&P Global Market Intelligence (2022) Trade Finance Industry Remains Hopeful on Blockchain despite Failed Projects. – URL: <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/trade-finance-industry-remains-hopeful-on-blockchain-despite-failed-projects-72557910>.

543.НИУ ВШЭ (2022) База глобальных трендов и вызовов, связанных с развитием человеческого потенциала, с учетом влияния пандемии COVID-19. – URL: https://ncmu.hse.ru/chelpoten_trends/fertility_decrease.

- 544.The Korea Herald (2022) S. Korea's Total Fertility Rate Hits Record Low in 2021. – URL: <https://www.koreaherald.com/view.php?ud=20220824000585>.
- 545.WHO (2020) Infertility. – URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/infertility>.
- 546.Acumen Research and Consulting (2022) In-Vitro Fertilization Market Size – Global Industry, Share, Analysis, Trends and Forecast 2022-2030. – URL: <https://www.acumenresearchandconsulting.com/in-vitro-fertilization-ivf-market>.
- 547.GIS Reports (2022) The Future of Fertility Care. – URL: <https://www.gisreportsonline.com/r/fertility-treatments>.
- 548.Министерство труда и социальной защиты РФ (2018) Федеральный проект «Финансовая поддержка семей при рождении детей». Национальный проект «Демография». – URL: <https://mintrud.gov.ru/ministry/programms/demography/1>.
- 549.World Bank Blogs (2021) Blockchain Technology Has the Potential to Transform Government, But First We Need to Build Trust. – URL: <https://blogs.worldbank.org/governance/blockchain-technology-has-potential-transform-government-first-we-need-build-trust>.
- 550.Businesswire (2016) GovCoin Systems Implements Social Welfare Payments Distribution Trial for UK's Department for Work and Pensions. – URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20160707005803/en/GovCoin-Systems-Implements-Social-Welfare-Payments-Distribution-Trial-for-UK%E2%80%99s-Department-for-Work-and-Pensions>.
- 551.Shava E., Mhlanga D. Mitigating Bureaucratic Inefficiencies Through Blockchain Technology in Africa // Front. Blockchain. – 2023. – Vol. 6:1053555. DOI: 10.3389/fbloc.2023.1053555.
- 552.World Food Programme (2022) Building Blocks. Blockchain Network for Humanitarian Assistance – Graduated Project. – URL: <https://innovation.wfp.org/project/building-blocks>.
- 553.Entrepreneur (2022) The Blockchain-Driven Future of Government Service Delivery. – URL: <https://www.entrepreneur.com/en-in/news-and-trends/the-blockchain-driven-future-of-government-service-delivery/427107>.
- 554.McKinsey (2020) How Governments Can Harness the Potential of Blockchain. – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/tech-forward/how-governments-can-harness-the-potential-of-blockchain>.

555.Qi R., Feng C., Liu Z., Mrad N. Blockchain-Powered Internet of Things, E-Governance and E-Democracy. In: E-Democracy for Smart Cities // Springer, Singapore. – 2017. – P. 509–520.

556.Талапина Э.В. (2020) Применение блокчейна в государственном управлении: перспективы правового регулирования. – URL: <https://vgmu.hse.ru/data/2020/09/30/1369439908/Талапина.pdf>.

557.Трушина Н.И. Патентование генов: философские, правовые и этические аспекты // Социально-политические науки. – 2017. – № 5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/patentovanie-genov-filosofskie-pravovye-i-eticheskie-aspekty>.

558.Пономарева Д.В. Патентование человеческих генов: судебная практика Соединенных Штатов Америки, Канады и Австралии. Актуальные проблемы российского права. – 2019. – № 9. – С. 166–173. – URL: https://aprp.msal.ru/jour/article/view/1638?locale=ru_RU.

559.Looney B. Should Genes Be Patented? The Gene Patenting Controversy: Legal, Ethical, And Policy Foundations of an International Agreement // Law Policy Int. Bus. – 1994. – Vol. 26 (1). – P. 231–272.

560.Nicol D. et al. (2019) International Divergence in Gene Patenting. – URL: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-genom-083118-015112>.

561.N+1 (2020) Суд отказал российским биологам в патенте на метод CRISPR-редактуры эмбрионов. – URL: <https://nplus1.ru/news/2020/06/19/reject>.

562.Rhodium Group (2022) The Global Economic Disruptions from a Taiwan Conflict. – URL: <https://rhg.com/research/taiwan-economic-disruptions>.

563.Semiconductor Industry Association and Boston Consulting Group (2021) Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era. – URL: <https://www.semiconductors.org/strengthening-the-global-semiconductor-supply-chain-in-an-uncertain-era>.

564.Rhodium Group (2022) The Global Economic Disruptions from a Taiwan Conflict. – URL: <https://rhg.com/research/taiwan-economic-disruptions>.

565.Financial Times (2023) BT Holds China-Taiwan War Game to Stress Test Supply Chains. – URL: <https://www.ft.com/content/bb1f4951-eef5-4b3d-990a-f29d6fa28d54>.

566.WEF (2023) Global Risks Report. – URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2023.pdf.

567.Малкомсон С. (2021) Новый век автаркии // Россия в глобальной политике. – URL: <https://globalaffairs.ru/articles/novyj-vek-avtarkii>.

568.ООН (2020) Замкнутый круг: борьба за ресурсы приводит к конфликтам, которые уничтожают природу. – URL: <https://news.un.org/ru/story/2020/09/1386042>.

569.WHO (2022) Billions of People Still Breathe Unhealthy Air: New WHO Data. – URL: <https://www.who.int/news/item/04-04-2022-billions-of-people-still-breathe-unhealthy-air-new-who-data>.

570.United Nations (2022) UN General Assembly Declares Access to Clean and Healthy Environment a Universal Human Right. – URL: <https://news.un.org/en/story/2022/07/1123482>.

571.UNEP (2022) In Historic Move, UN Declares Healthy Environment a Human Right. – URL: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/historic-move-un-declares-healthy-environment-human-right>.

572.WEF (2019) What If We Get Things Right? Visions for 2030. – URL: <https://www.weforum.org/agenda/2019/10/future-predictions-what-if-get-things-right-visions-for-2030>.

573.The Climate and Clean Air Coalition (2022) UN Declares Healthy Environment – Including Clean Air – A Human Right. – URL: <https://www.ccacoalition.org/en/news/un-declares-healthy-environment—including-clean-air—human-right>.

574.ООН (2022) Борьба с загрязнением воздуха: история пяти городов. – URL: <https://www.unep.org/ru/novosti-i-istorii/istoriya/borba-s-zagryazneniem-vozdukha-istoriya-pyati-gorodov>.

575.Cambridge (2021) Conceptual Problems of the Right to Breathe Clean Air. – URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/german-law-journal/article/conceptual-problems-of-the-right-to-breathe-clean-air/D3F217848FB92240155DCD3F2BE0266A>.

576.Орлов М. (2023) Продовольственный суверенитет: эра войны между импортирующими странами // Россия в глобальной политике. – URL: <https://globalaffairs.ru/articles/era-vojny-mezhdu-importerami>.

577.WTO (2023) Report Shows Many G20 Export Restrictions Remain in Place, Including On Food and Fertilizers. – URL: https://www.wto.org/english/news_e/news23_e/trdev_04jul23_e.htm.

578.Грунтович М.М. (2013) Контроль целостности кода firmware в гарвардской архитектуре. – URL: https://www.okbsapr.ru/library/publications/kzi2013_Gruntovich_1.

579. Stop Source Code Theft (2019) Is Source Code Intellectual Property? – URL: <https://www.stop-source-code-theft.com/is-source-code-intellectual-property>.
580. Yonatan E. The Right of Integrity in Software: An Economic Analysis // Santa Clara Computer and High Technology Law Journal. – 2006. – Vol. 22 (2). – URL: <https://ssrn.com/abstract=1272726>.
581. Wilson Center (2020) Solar Radiation Management. – URL: <https://www.wilsoncenter.org/article/solar-radiation-management>.
582. Biermann F., Oomen J., Gupta A. et al. Solar Geoengineering: The Case for an International Non-Use Agreement // WIREs Climate Change. – 2022. – Vol. 13 (3), e754. DOI: 10.1002/wcc.754.
583. IPCC (2022) Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf.
584. Jinnah S., Nicholson S., Flegal J. (2018) Toward Legitimate Governance of Solar Geoengineering Research: A Role for Sub-State Actors // Ethics, Policy & Environment. – 2018. – Vol. 21, No. 3. – P. 362–381. DOI: 10.1080/21550085.2018.1562526.
585. GlobalChange.gov (2022) Request for Input to a Five-Year Plan for Research on Climate Intervention. – URL: <https://www.globalchange.gov/content/request-input-five-year-climate-intervention-research-plan>.
586. MIT Technology Review (2022) The US Government Is Developing a Solar Geoengineering Research Plan. – URL: <https://www.technologyreview.com/2022/07/01/1055324/the-us-government-is-developing-a-solar-geoengineering-research-plan>.
587. Nature (2021) Can Artificially Altered Clouds Save the Great Barrier Reef? – URL: <https://www.nature.com/articles/d41586-021-02290-3>.
588. Forbes (2021) A Bill Gates Venture Aims to Spray Dust into The Atmosphere to Block the Sun. What Could Go Wrong? – URL: <https://www.forbes.com/sites/arielcohen/2021/01/11/bill-gates-backed-climate-solution-gains-traction-but-concerns-linger>.
589. MIT Technology Review (2022) A Startup Says It's Begun Releasing Particles into The Atmosphere, in an Effort to Tweak the Climate. – URL:

<https://www.technologyreview.com/2022/12/24/1066041/a-startup-says-its-begun-releasing-particles-into-the-atmosphere-in-an-effort-to-tweak-the-climate>.

590.Arctic Russia. – URL: <https://ru.arctic.ru/resources>.

591.The White House (2022) National Strategy for the Arctic Region. – URL: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/10/National-Strategy-for-the-Arctic-Region.pdf>.

592.Губин А. (2022) Военные аспекты позиции России в Арктике // Российский совет по международным делам. – URL: <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/voennye-aspekty-pozitsii-rossii-v-arktike>.

593.Орешкина М. (2022) К вопросу о милитаризации Арктики // Российский совет по международным делам. – URL: <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/k-voprosu-o-militarizatsii-arktiki>.

594.U.S. Embassy in Finland (2022) U.S. State Department Counselor Chollet Reaffirms U.S. Support for Finland’s NATO Accession and Continued Cooperation on Arctic in Visit to Helsinki. – URL: <https://fi.usembassy.gov/u-s-state-department-counselor-chollet-reaffirms-u-s-support-for-finlands-nato-accession-and-continued-cooperation-on-arctic-in-visit-to-helsinki>.

595.Live Science (2021) How Does Cloning Work? – URL: <https://www.livescience.com/how-cloning-works#section-can-humans-be-cloned>.

596.Forbes (2022) С появления овечки Долли прошло 25 лет: что за это время изменилось в клонировании. – URL: <https://www.forbes.ru/tekhnologii/474671-s-poavlenia-ovecki-dolli-proslo-25-let-cto-za-eto-vrema-izmenilos-v-klonirovanii>.

597.National Library of Medicine (2007) Therapeutic Cloning: Promises and Issues. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2323472>.

598.National Human Genome Research Institute (2020) Cloning Fact Sheet. – URL: <https://www.genome.gov/about-genomics/fact-sheets/Cloning-Fact-Sheet>.

599.Forbes (2022) С появления овечки Долли прошло 25 лет: что за это время изменилось в клонировании. – URL: <https://www.forbes.ru/tekhnologii/474671-s-poavlenia-ovecki-dolli-proslo-25-let-cto-za-eto-vrema-izmenilos-v-klonirovanii>.

600.IPCC (2022) Climate Change and Land. Special Report. – URL: <https://www.ipcc.ch/srccl>.

601.Nature (2019) Eat Less Meat: UN Climate-Change Report Calls for Change to Human Diet. – URL: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-02409-7>.

602. United Nations News (2021) Food Systems Account for More Than One Third of Global Greenhouse Gas Emissions. – URL: <https://news.un.org/en/story/2021/03/1086822>.

603. Carbon Brief (2020) Interactive: What Is the Climate Impact of Eating Meat and Dairy? – URL: <https://interactive.carbonbrief.org/what-is-the-climate-impact-of-eating-meat-and-dairy>.

604. Kerry (2021) The State of Sugar and Health Taxes in 2021. – URL: <https://www.kerry.com/insights/kerrydigest/2018/the-state-of-sugar-and-health-taxes-around-the-world>.

605. WEF (2019) This Is Why Denmark, Sweden and Germany Are Considering a Meat Tax. – URL: <https://www.weforum.org/agenda/2019/08/this-is-why-denmark-sweden-and-germany-are-considering-a-meat-tax>.

606. The Conversation (2022) A Meat Tax Is Probably Inevitable – Here's How It Could Work. – URL: <https://theconversation.com/a-meat-tax-is-probably-inevitable-heres-how-it-could-work-188023>.

607. Springmann M., Mason-D'Croz D., Robinson S. et al. Mitigation Potential and Global Health Impacts from Emissions Pricing of Food Commodities // Nature Clim. Change. – 2017. – Vol. 7. – P. 69–74. DOI: 10.1038/nclimate3155.

608. Food Dive (2022) Meat Tax Could Help Cut Emissions, But Must Be Significant to Work: Study. – URL: <https://www.fooddive.com/news/meat-tax-beef-poultry-pork-emissions-study/630031>.

609. FAIRR (2017) The Livestock Levy. Are Regulators Considering Meat Taxes? – URL: <https://www.fairr.org/article/livestock-levy-regulators-considering-meat-taxes>.

610. Bodirsky B., Dietrich J., Martinelli E. et al. The Ongoing Nutrition Transition Thwarts Long-Term Targets for Food Security, Public Health and Environmental Protection // Sci Rep. – 2020. – Vol. 10, 19778. DOI: 10.1038/s41598-020-75213-3.

611. MLA (2020) Economic Growth in Asia to Fuel Meat Consumption. – URL: <https://www.mla.com.au/prices-markets/market-news/2020/consumption-growth-in-asia-to-fuel-meat-consumption>.

612. Veylinx (2022) Our Plant-Based Future: Consumer Demand for Alternative Proteins. – URL: <https://info.veylinx.com/alt-proteins-research>.

613. TACC (2021) Налог на мясо, квоты на воду: Запад испуган глобальным потеплением. – URL: <https://tass.ru/mezhdunarodnaya-panorama/12011217>.

- 614.WEF (2023) The Global Risks Report 2023 18th Edition. – URL: <https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2023/in-full>.
- 615.Marchau V., Walker W., Bloemen P., Popper S. Decision Making under Deep Uncertainty: From Theory to Practice // Springer, 2019. 405 pp.
- 616.Aleskerov F., Sergeeva Z., Shvydun S. Assessment of Exporting Economies Influence on the Global Food Network // Springer Optimization and Its Applications 130, Springer Int. Publ. – 2017. – P. 1–10.
- 617.Aleskerov F., Demin S. DEA for the Assessment of Regions' Ability to Cope with Disasters // Dynamics of Disasters. Impact, Risk, Resilience, and Solutions. – 2021. – Vol. 169. – P. 31–37.
- 618.Demin S., Aleskerov F. Modelling Possible Oil Spills in the Barents Sea and their Consequences // Dynamics of Disasters. – 2018. – Vol. 2. – P. 47–56.
- 619.Sykes H., Dunham D. Critical Assumption Planning: A Practical Tool for Managing Business Development Risk // Journal of Business Venturing. – 1995. – Vol. 10. – P. 413–424.
- 620.McGrath R. Business Models: A Discovery Driven Approach // Long Range Planning. – 2010. – Vol. 43. – P. 247–261.
- 621.Dewar J., Builder C., Hix W., Levin M. Assumption-Based Planning: A Planning Tool for Very Uncertain Times. – RAND Corporation, 1993.
- 622.Соменкова Н.С., Купцов А.В. Принятие и исполнение государственных решений: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2020. – 42 с.
- 623.van der Heijden K. Scenarios: The Art of Strategic Conversation. – Chichester, UK: Wiley, 1996. – 305 p.
- 624.Walker W., Rahman S., Cave J. Adaptive Policies, Policy Analysis, and Policymaking // European Journal of Operations Research. – 2001. – Vol. 128. – P. 282–289.
- 625.Kwakkel J., Auping W., Pruyt E. Dynamic Scenario Discovery under Deep Uncertainty: The Future of Copper // Technological Forecasting and Social Change. – 2012. – Vol. 80 (4). – P. 789–800.
- 626.Rahman S., Walker W., Marchau V. Coping with Uncertainties about Climate Change in Infrastructure Planning: An Adaptive Policymaking Approach. – Rotterdam: Ecorys, 2008.
- 627.Marchau V., Walker W., van Duin R. An Adaptive Roach to Implementing Innovative Urban Transport Solutions // Transport Policy. – 2008. – Vol. 15 (6). – P. 405–412.

628. Marchau V., Walker W., van Wee G. Dynamic Adaptive Transport Policies for Handling Deep Uncertainty // *Technological Forecasting and Social Change*. – 2010. – Vol. 77. – P. 940–950.

629. Agusdinata D., Marchau V., Walker W. Adaptive Policy Approach to Implementing Intelligent Speed Adaptation // *IET Intelligent Transport Systems*. – 2007. – Vol. 1 (3). – P. 186–198.

630. Программа курса для студентов «Специальные главы теории принятия решений», Международный центр анализа и выбора решений (МЦАВР) НИУ ВШЭ. – URL: <https://www.hse.ru/ba/bi/courses/646476187.html?ysclid=lgtuid58of586653943>.

631. Хачикян П.П. Психологические аспекты принятия решений для предупреждения чрезвычайных ситуаций в авиации в условиях неопределённости // *Проблемы безопасности полётов*. – 2023. – № 11. – С. 12–22.

632. Kermanshah A., Derrible S. A Geographical and Multi-Criteria Vulnerability Assessment of Transportation Networks Against Extreme Earthquakes // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2016. – Vol. 53. – P. 39–49.

633. Bíl M., Vodák R., Kubeček J., Bílová M., Sedoník J. Evaluating Road Network Damage Caused by Natural Disasters in The Czech Republic Between 1997 and 2010 // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. – 2015. – Vol. 80. – P. 90–103.

634. Sohn J. Evaluating The Significance of Highway Network Links Under the Flood Damage: An Accessibility Approach // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. – 2006. – Vol. 40 (6). – P. 491–506.

635. Dipartimento della Protezione Civile. – URL: <https://www.protezionecivile.gov.it/it/comunicato-stampa/allerta-maremoto-possibili-onde-arrivo-sulle-coste-italiane>.

636. Bloemen P. et al. DMDU into Practice: Adaptive Delta Management in the Netherlands // *Decision Making under Deep Uncertainty*. – Springer, Cham, 2019. – P. 321–351.

637. Newman M. The Structure and Function of Complex Networks // *SIAM Review*. – 2003. – Vol. 45 (2). – P. 167–256.

638. Aleskerov F., Yakuba V. Matrix-Vector Approach to Construct Generalized Centrality Indices in Networks // *NRU Higher School of Economics. Series WP7 "Mathematical Methods for Decision Making Economics, Business and Politics"*, 2020. – 21 p.

639. UNComtrade Database. – URL: <https://comtrade.un.org/data>.

640. UNComtrade Database. – <https://comtrade.un.org/data>.

641. Aleskerov F., Shvydun S., Meshcheryakova N. New Centrality Measures in Networks: How to Take into Account the Parameters of the Nodes and Group Influence of Nodes to Nodes. – Chapman and Hall // CRC, 2021.
642. Aleskerov F., Seregin M., Tkachev D. The Network Analysis of Oil Trade under Deep Uncertainty // *Procedia Computer Science*. – 2023. – Vol. 221. – P. 1021–1028.
643. Freeman L. Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification // *Social Networks*. – 1979. – Vol. 1. – P. 215–239; Newman M. The Structure and Function of Complex Networks // *SIAM Review*. – 2003. – Vol. 45 (2). – P. 167–256.
644. Freeman L. a Set of Measures of Centrality Based Upon Betweenness // *Sociometry*. – 1977. – Vol. 40. – P. 35–41; Rochat Y. Closeness Centrality Extended to Unconnected Graphs: The Harmonic Centrality Index // *ASNA*. – URL: <https://infoscience.epfl.ch/record/200525>.
645. Katz L. A New Status Index Derived from Sociometric Index // *Psychometrika*. – 1953. – Vol. 18 (1). – P. 39–43.
646. Brin S., Page L. The Anatomy of a Largescale Hypertextual Web Search Engine // *Comput. Netw.* – 1998. – Vol. 30. – P. 107–117.
647. Aleskerov F., Andrievskaya I., Nikitina A., Shvydun S. Key Borrowers Detected by the Intensities of Their Interactions // *Handbook of Financial Econometrics, Mathematics, Statistics, and Machine Learning*. – World Scientific: Singapore. – 2020. – Vol. 1. – Ch. 9. – P. 355–389.
648. Ficara A., Cavallaro L., Curreri F. et al. Criminal Networks Analysis in Missing Data Scenarios Through Graph Distances // *PLOS One*. – 2021. – Vol. 16 (8). – e0255067.
649. Aleskerov F., Andrievskaya I., Nikitina A., Shvydun S. Key Borrowers Detected by the Intensities of Their Interactions // *Handbook of Financial Econometrics, Mathematics, Statistics, and Machine Learning*. – World Scientific: Singapore. – 2020. – Vol. 1. – Ch. 9. – P. 355–389.
650. Meshcheryakova N. Network Analysis of Bilateral Trade Data under Asymmetry // 2020 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM). The Hague, Netherlands. – 2020. – P. 379–383.
651. The World Integrated Trade Solution. – URL: <https://wits.worldbank.org>.
652. Aleskerov F., Andrievskaya I., Nikitina A., Shvydun S. Key Borrowers Detected by the Intensities of Their Interactions // *Handbook of Financial Econometrics, Mathematics, Statistics, and Machine Learning*. – World Scientific: Singapore. – 2020. – Vol. 1. – Ch. 9. – P. 355–389.

653. Aleskerov F. Arrowian Aggregation Models. – Dordrecht: Kluwer, 1999. – 242 pp.
654. Aleskerov F., Yakuba V. A Method for Threshold Aggregation of Three-Grade Rankings // *Doklady Mathematics*. – 2007. – Vol. 75 (2). – P. 322–324; Aleskerov F., Chistyakov V., Kalyagin V. Social Threshold Aggregations // *Social Choice Welfare*. – 2010. – Vol. 35. – P. 627–646.
655. Броневи́ч А.Г., Лепский А.Е. Нечеткие модели анализа данных и принятия решений: учебное пособие. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2022. – 264 с.
656. Aleskerov F., Yakuba V. A Method for Threshold Aggregation of Three-Grade Rankings // *Doklady Mathematics*. – 2007. – Vol. 75 (2). – P. 322–324; Алескеров Ф.Т., Юзбашев Д.А., Якуба В.И. Пороговое агрегирование трехградационных ранжировок // *Автоматика и телемеханика*. – 2007. – № 1. – С. 47–152.
657. Алескеров Ф.Т., Якуба В.И. Об одном методе агрегирования ранжировок специального вида // II Междунар. конф. по пробл. упр. Тез. докл. – ИПУ РАН. – Москва. – 2003. – С. 116; Алескеров Ф.Т., Юзбашев Д.А., Якуба В.И. Пороговое агрегирование трехградационных ранжировок // *Автоматика и телемеханика*. – 2007. – № 1. – С. 47–152; Aleskerov F., Yakuba V. A Method for Threshold Aggregation of Three-Grade Rankings // *Doklady Mathematics*. – 2007. – Vol. 75 (2). – P. 322–324.
658. Aleskerov F., Chistyakov V., Kalyagin V. Social Threshold Aggregations // *Social Choice Welfare*. – 2010. – Vol. 35. – P. 627–646.
659. Броневи́ч А.Г., Лепский А.Е. Нечеткие модели анализа данных и принятия решений: учебное пособие. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2022. – 264 с.
660. EasyChair. – URL: <https://easychair.org>.
661. Lepskiy A. Fuzzy Threshold Aggregation // In: Kahraman C., Sari I., Oztaysi B., Cebi S., Cevik Onar S., Tolga A. Intelligent and Fuzzy Systems // *INFUS 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer, Cham. – 2023. – Vol. 758. – P. 69–76.
662. Mishra S., Scott J., Laydon D. Comparing The Responses of the UK, Sweden and Denmark to COVID-19 Using Counterfactual Modelling // *Scientific Reports*. – 2021. – Vol. 11 (16342). DOI: 10.1038/s41598-021-95699-9.
663. Dong E., Du H., Gardner L. An Interactive Web-Based Dashboard to Track COVID-19 in Real Time // *Lancet Inf Dis*. – 2020. – Vol. 20 (5). – P. 533–534.
664. Bermingham F., Wang O. China's Economy Shrank for the First Time Since 1976 In First Quarter // *South China Morning Post*. – 2020.

- 665.Charnes A., Cooper W., Rhodes E. Measuring The Efficiency of Decisionmaking Units // *European Journal of Operations Research*. – 1978. – Vol. 2 (6). – P. 429–444.
- 666.Aleskerov F., Demin S. DEA for the Assessment of Regions' Ability to Cope with Disasters // *Dynamics of Disasters. Impact, Risk, Resilience, and Solutions*. – Springer, 2021. – Vol. 1 (2). – P. 31–37.
- 667.Hale T., Angrist N., Cameron-Blake E., Hallas L., Kira B., Majumdar S., Petherick A., Phillips T., Tatlow H., Webster S. Oxford COVID-19 Government Response Tracker. Blavatnik School of Government. – 2020.
- 668.Demin S. COVID-19 Quarantine Measures Efficiency Evaluation by Best Tube Interval Data Envelopment Analysis // *Operations Research Forum*. – Springer, 2023. – Ch. 4 (21).
- 669.Sigurdsson H., Houghton B., McNutt S., Rymer H., Stix J. *The Encyclopedia of Volcanoes*. – Elsevier, 2015.
- 670.Luterbacher J., Pfister C. The Year Without a Summer // *Nature Geoscience*. – 2015. – Vol. 8. – P. 246–248.
- 671.Sigurdsson H., Houghton B., McNutt S., Rymer H., Stix J. *The Encyclopedia of Volcanoes*. – Elsevier, 2015.
- 672.Wilson C. The 26.5 ka Oruanui eruption, New Zealand: An Introduction and Overview // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. – 2001. – Vol. 112. – P. 133–174.
- 673.Sigurdsson H., Houghton B., McNutt S., Rymer H., Stix J. *The Encyclopedia of Volcanoes*. – Elsevier, 2015.
- 674.Künzler M., Huggel C., Ramírez J. A Risk Analysis for Floods and Lahars: Case Study in The Cordillera Central of Colombia // *Natural Hazards*. – 2012. – Vol. 64. – P. 767–796.
- 675.Smithsonian Institution. Nevado del Tolima. – URL: <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=351030>.
- 676.USGS EROS Archive – Digital Elevation – Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global. – URL: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1>.
- 677.Schilling S.P. Laharz; GIS Programs for Automated Mapping of Lahar-Inundation Hazard Zones // *US Geological Survey; Information Services [distributor]*, 1998.
- 678.HEC RAS Hydrologic Engineering Center. – URL: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras>.

- 679.Nurmawati A., Konstantinou K. Hazard Assessment of Volcanic Ballistic Impacts at Mt Chihshin, Tatun Volcano Group, Northern Taiwan // *Natural Hazards*. – 2018. – Vol. 92. – P. 77–92.
- 680.Smithsonian Institution. Tatun Volcanic Group. – URL: <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=281032>.
- 681.Alatorre-Ibargüengoitia M., Scheu B., Dingwell D., Delgado-Granados H., Taddeucci J. Energy Consumption by Magmatic Fragmentation and Pyroclast Ejection During Vulcanian Eruptions // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2010. – Vol. 291. – P. 60–69.
- 682.Searcy C., Dean K., Stringer W. Puff: A High-Resolution Volcanic Ash Tracking Model // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. – 1998. – Vol. 80. – P. 1–16.
- 683.Costa A., Macedonio G., Folch A. A Three-Dimensional Eulerian Model for Transport and Deposition of Volcanic Ashes // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2006. – Vol. 241. – P. 634–647.
- 684.Davies T. Lateral Boundary Conditions for Limited Area Models // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. – 2014. – Vol. 140. – P. 185–196.
- 685.Smithsonian Institution. Etna. – URL: <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=211060>.
- 686.Warwick R., Williams-Jones G., Kelman M., Witter J. A Scenario-Based Volcanic Hazard Assessment for the Mount Meager Volcanic Complex, British Columbia // *Journal of Applied Volcanology*. – 2022. – Vol. 11. – P. 1–22.
- 687.Smithsonian Institution. Mount Meager. – URL: <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=320180>.
- 688.Sheridan M. Emplacement of Pyroclastic Flows: A Review. Ash Flow Tuffs // *Geological Society of America Special Paper*. – 1979. – Vol. 180. – P. 125–136.
- 689.Schilling S.P. Laharz; GIS Programs for Automated Mapping of Lahar-Inundation Hazard Zones // *US Geological Survey; Information Services [distributor]*, 1998.
- 690.Barca D., Crisci G., Di Gregorio S., Nicoletta F. Cellular Automata Methods for Modeling Lava Flows: Simulation of The 1986-1987 Eruption, Mount Etna, Sicily // *Active Lavas: Monitoring and Modelling*. – 1993. – P. 291–303.
- 691.Smithsonian Institution. Etna. – URL: <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=211060>.
- 692.Massaro S., Dioguardi F., Sandri L. et al. Testing Gas Dispersion Modelling: A Case Study at La Soufrière Volcano (Guadeloupe, Lesser Antilles) // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. – 2021. – Vol. 417. 107312.

693. Costa A., Macedonio G., Folch A. A Three-Dimensional Eulerian Model for Transport and Deposition of Volcanic Ashes // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2006. – Vol. 241. – P. 634–647.
694. Smithsonian Institution. Soufrière St. Vincent. – URL: <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=360150>.
695. Hayward M., Whittaker C., Lane E. et al. Multilayer Modelling of Waves Generated by Explosive Subaqueous Volcanism // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. – 2022. – Vol. 22. – P. 617–637.
696. Smithsonian Institution. Taupo. – URL: <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=241070>.
697. NOAA (2015) OAS Platform Detail for Landsat 5. – URL: <https://www.ncei.noaa.gov/archive/archive-management-system/OAS/bin/prd/jquery/platform/details/12449>.
698. NCEP Central Operations. Office Note 388 GRIB1. – URL: <https://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/docs/on388>.
699. Гидрометцентр России. – URL: <https://meteoinfo.ru/grib>.
700. National Center for Atmospheric Research. – URL: <https://rda.ucar.edu>.
701. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. – URL: <https://www.ecmwf.int>.
702. Earth Resources Observation and Science Center (2018) Digital Elevation – Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global. – URL: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1>.
703. United States Geological Survey. – URL: <https://www.usgs.gov>.
704. OpenStreetMap. – URL: <https://www.openstreetmap.org>.
705. Osm2pgsql. – URL: <https://osm2pgsql.org>.
706. PostgreSQL. – URL: <https://www.postgresql.org>.
707. Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Исаев А., Лупян Е.А., Плотников Д., Уваров И.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2011. – № 8. – С. 285–302.
708. Marchau V., Walker W., Bloemen P., Popper S. Decision Making Under Deep Uncertainty: From Theory to Practice. – Springer Nature, 2019.

- 709.Lempert R., Popper S., Bankes S. Shaping The Next One Hundred Years: New Methods for Quantitative // Long-Term Policy Analysis 208, 2003.
- 710.Costa A., Macedonio G., Folch A. A Three-Dimensional Eulerian Model for Transport and Deposition of Volcanic Ashes // Earth and Planetary Science Letters. – 2006. – Vol. 241. – P. 634–647.
- 711.Searcy C., Dean K., Stringer W. Puff: A High-Resolution Volcanic Ash Tracking Model // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 1998. – Vol. 80. – P. 1–16.
- 712.Sheridan M. Emplacement of Pyroclastic Flows: A Review. Ash Flow Tuffs // Geological Society of America Special Paper. – 1979. – Vol. 180. – P. 125–136.
- 713.Barca D., Crisci G., Di Gregorio S., Nicoletta F. Cellular Automata Methods for Modeling Lava Flows: Simulation of the 1986-1987 Eruption, Mount Etna, Sicily // Active Lavas: Monitoring and Modelling. – 1993. – P. 291–303.
- 714.Schilling S.P. Laharz; GIS Programs for Automated Mapping of Lahar-Inundation Hazard Zones // US Geological Survey; Information Services [distributor], 1998.
- 715.Costa A., Macedonio G., Folch A. A Three-Dimensional Eulerian Model for Transport and Deposition of Volcanic Ashes // Earth and Planetary Science Letters. – 2006. – Vol. 241. – P. 634–647.
- 716.Hayward M., Whittaker C., Lane E. et al. Multilayer Modelling of Waves Generated By Explosive Subaqueous Volcanism // Natural Hazards and Earth System Sciences. – 2022. – Vol. 22. – P. 617–637.
- 717.Nurmawati A., Konstantinou K. Hazard Assessment of Volcanic Ballistic Impacts at Mt Chihshin, Tatun Volcano Group, Northern Taiwan // Natural Hazards. – 2018. – Vol. 92. – P. 77–92.
- 718.Кобец Д. А. Обеспечение безопасности транспортной инфраструктуры при различных сценариях прохождения вулканической активности (на примере Камчатского края) (ВШЭ, Выпускная квалификационная работа, 2023. <https://www.hse.ru/edu/vkr/834810163>).
- 719.EM-DAT: The International Disaster Database. – URL: <https://www.emdat.be>.
- 720.EDA – Natural Disasters. – URL: <https://www.kaggle.com/code/jnegrini/eda-natural-disasters>.
- 721.HumAID: Human-Annotated Disaster Incidents Data from Twitter. – URL: https://crisisnlp.qcri.org/humaid_dataset.

722. Alam F., Qazi U., Imran M., Ofli F. HumAID: Human-Annotated Disaster Incidents Data from Twitter with Deep Learning Benchmarks// Proceedings of the International AAAI Conference on Web and social media, 2021.
723. HumAID Papers [Электронный ресурс] – URL: <https://paperswithcode.com/dataset/humaid> (дата обращения 15.04.2023)
724. IRI/LDEO Climate Data Library [Электронный ресурс] – URL: <https://iridl.ldeo.columbia.edu/index.html> (дата обращения 19.05.2023)
725. DATA.GOV. – URL: <https://catalog.data.gov/dataset>.
726. Socioeconomic Data and Applications Center: Hazards and Disaster Risk Datasets External. – URL: <https://sedac.ciesin.columbia.edu/theme/hazards>.
727. National Centers for Environmental Information: Severe Weather Data Provides information through the Storm Events Database, Severe. – URL: <https://www.ncei.noaa.gov/products/severe-weather>.
728. National Hurricane Center Data Archive. – URL: <https://www.nhc.noaa.gov/data>.
729. National Centers for Environmental Information: Severe Weather Data Provides information through the Storm Events Database, Severe. – URL: <https://www.climate.gov/maps-data>.
730. Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». – URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/705>.
731. Источник иллюстрации: <https://phys.org/news/2022-05-lake-erie-quakes-triggered-shifting.html>.
732. Автор выражает благодарность Donatien Hainaut, PhD, профессору Université Catholique de Louvain, за идею работы, плодотворные дискуссии и код для реализации фильтра Гамильтона.
733. Hawkes A. G. Spectra of Some Self-Exciting and Mutually Exciting Point Processes // Biometrika. – 1971. – Vol. 58 (1). – P. 83–90.
734. Ogata Y. Space-Time Model for Regional Seismicity and Detection of Crustal Stress Changes // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 2004. – DOI: 10.1029/2003JB002621.
735. Guo Y., Zhuang J., Zhou S. An Improved Space-Time ETAS Model for Inverting the Rupture Geometry from Seismicity Triggering // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 2015. – Vol. 120 (5). – P. 3309–3323.

- 736.Reinhart A. A Review of Self-Exciting Spatio-Temporal Point Processes and Their Applications // Statistical Science. – 2018. – Vol. 33 (3). – P. 299–318.
- 737.Егорова Л.Г. Процессы Хоукса с переменной базовой интенсивностью, моделируемой марковской цепью. – 2023 (готовится к публикации).
- 738.Aleskerov F., Demin S., Richman M., Shvydun S., Trafalis T., Yakuba V. Constructing an Efficient Machine Learning Model for Tornado Prediction // International Journal of Information Technology & Decision Making. – 2020. – Vol. 19 (5). – P. 1177–1187.
- 739.Adrianto I., Trafalis T. B., Lakshmanan V. Support Vector Machines for Spatiotemporal Tornado Prediction // International Journal of General Systems. – 2009. – Vol. 38 (7). – P. 759–776.
- 740.Lakshmanan V., Stumpf G., Witt A. A Neural Network for Detecting and Diagnosing Tornadic Circulations Using the Mesocyclone Detection and Near Storm Environment Algorithms // 21st Int. Conf. Information Processing Systems, San Diego, CA, Amer. Meteor. Soc., CD-ROM J5.2. – 2005.
- 741.Breiman L. Random Forest // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45 (1). – P. 5–32.