



Научная статья

УДК 34:530.145:004

EDN: <https://elibrary.ru/fkawrt>

DOI: <https://doi.org/10.21202/jdtl.2023.3>

Квантовое право: начало

Елизавета Александровна Громова ✉

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)
г. Челябинск, Российская Федерация

Сергей Анатольевич Петренко

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
имени В. И. Ульянова (Ленина)
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация;
Университет Иннополис
г. Иннополис, Российская Федерация

Ключевые слова

Квант,
квантовое право,
квантовые вычисления,
квантовые технологии,
право,
регулирование,
риск,
цифровые технологии,
экспериментальные
правовые режимы,
этика

Аннотация

Цель: на основании изучения свойств квантовых явлений и особенностей квантовых технологий, обусловивших риски и вызовы, связанные с появлением данных технологий, а также анализа правового регулирования квантовых технологий в Российской Федерации и зарубежных странах формирование основ квантового права как права будущего.

Методы: для проведения данного исследования применялся комплекс общенаучных методов системного анализа, а также предметных методов технических и юридических наук. Применение сравнительно-правового метода дало возможность выявить основные направления развития регулирования квантовых технологий в российских и зарубежных правовых порядках. Метод правового моделирования позволил сформировать концепт квантового права, выявить основные векторы его развития и комплекс его этико-правовых принципов.

Результаты: выявлены особенности и свойства квантовых технологий, которые способны изменить развитие права с приходом таких технологий; определены основные риски и вызовы, связанные с развитием квантовых технологий; выявлены особенности регулирования квантовых технологий в отдельных зарубежных странах; определены тенденции развития регулирования квантовых технологий в Российской Федерации; сформированы концептуальные основы квантового права, а также векторы его развития.

✉ Контактное лицо

© Громова Е. А., Петренко С. А., 2023

Статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>), позволяющей неограниченно использовать, распространять и воспроизводить материал при условии, что оригинальная работа упомянута с соблюдением правил цитирования.

Научная новизна: впервые в юридической науке проводится комплексный анализ существующего национального (как российского, так и зарубежного) регулирования квантовых технологий, на основании которого предпринимается попытка обоснования необходимости формирования квантового права и очерчиваются основные векторы его развития.

Практическая значимость: результаты проведенного исследования закладывают основу для формирования концепта квантового права, в связи с чем выводы, к которым пришли авторы, и выдвинутые ими предложения по совершенствованию существующего регулирования квантовых технологий могут быть использованы для правотворчества и правоприменения в данной сфере, а также способны заложить основы дальнейших исследований в области квантовых технологий.

Для цитирования

Громова, Е. А., Петренко, С. А. (2023). Квантовое право: начало. *Journal of Digital Technologies and Law*, 1(1), 62–88. <https://doi.org/10.21202/jdtl.2023.3>

Содержание

Введение

1. Текущий уровень развития квантовых технологий

- 1.1. Особенности квантовых явлений и их основные свойства
- 1.2. Основные направления развития квантовых технологий
- 1.3. Вызовы и риски, связанные с появлением квантовых технологий

2. Регулирование квантовых технологий

- 2.1. Регулирование квантовых технологий за рубежом
- 2.2. Регулирование квантовых технологий в Российской Федерации

3. На пути к квантовому праву

- 3.1. Общие векторы формирования квантового права
 - 3.1.1. От детерминизма к вероятностям в праве – смена правовой парадигмы
 - 3.1.2. Проецирование свойств квантовых явлений на регулирование общественных отношений
 - 3.1.3. Поиск «квантового» уровня права и его следствия
- 3.2. Регуляторные песочницы и иные специальные режимы как составляющие квантового права

4. Этика квантов

- 4.1. Базовые этические принципы, применимые к квантовым технологиям
- 4.2. Специальные этические принципы развития и применения квантовых технологий

Выводы

Список литературы

Всё чудесатее и чудесатее!

Льюис Кэрролл.

Приключения Алисы в Стране чудес

Введение

Плоды научно-технического прогресса уже не раз вызывали наше изумление. Однако даже среди цифровых технологических новшеств квантовые технологии стоят особняком. Потенциал данных технологий еще полностью не раскрыт, а свойства не изучены до конца. Кроме того, их внедрение и распространение смогут оказать существенное влияние на будущее человечества, наверное, гораздо более существенное, чем развитие искусственного интеллекта. Однако наиболее важная особенность, даже уникальность квантовых технологий заключается в их физической (природной) сущности, основанной на законах и явлениях квантовой механики (квантовых эффектах) (Arndt et al., 2011; Холодная, 2022).

Ключевые свойства квантовых технологий уже изменили наш привычный мир. Так, открытие квантовой механики и ее основные достижения, ставшие одной из причин смены технологического уклада и первой квантовой революции, существенно повлияли на уровень нашей жизни. Возможность управления коллективными квантовыми явлениями позволила создать ускорители частиц, ядерное оружие, лазеры, транзисторы и др.

Сегодня мы находимся на пороге второй квантовой революции, в основе которой находятся три обладающие значительным потенциалом квантовые субтехнологии: квантовые вычисления, квантовая криптография и квантовая сенсорика и метрология. Так, например, возможность осуществления квантовых вычислений является одним из ожидаемых и прогнозируемых событий в научном мире. Данный способ вычислений позволит выполнять вероятностные расчеты такой сложности, которая недоступна современным суперкомпьютерам.

Развитие квантовых технологий будет способствовать прорывам во многих сферах: от военно-промышленного комплекса и автомобилестроения до медицины и исследований космоса. Отмеченный потенциал квантовых технологий обусловил начало квантовой гонки многих государств на пути к квантовому превосходству.

Именно поэтому одной из важнейших задач каждого государства является адекватное и максимально эффективное урегулирование создания, внедрения и коммерциализации таких технологий. Очевидно, что поиск решения указанной задачи не будет легким. Инновационная природа большинства цифровых технологий уже обусловила понимание того факта, что право устаревает и регулирование общественных отношений требует его трансформации и адаптации. А если мы говорим о квантовых технологиях, то их свойства способны существенно повлиять на развитие общественных отношений, и от этого стоящая перед правом задача еще больше усложняется, и в будущем возможно формирование нового «квантового» права.

На сегодняшний день квантовые технологии находятся в фокусе внимания мирового научного сообщества. Значительное число исследований опубликовано представителями технических наук как за рубежом (Belenchia et al., 2022; Ball, 2021; Browne et al., 2017; Chen et al., 2021; Kearney & Perez-Delgado, 2020; Kumar et al., 2022; Mosca, 2018; Taylor, 2020), так и в Российской Федерации (Sigov et al., 2020; Petrenko, 2022).

Представители юридической науки также не обходят стороной квантовые технологии. Обращает на себя внимание тот факт, что зарубежные исследователи активно разрабатывают концепт квантового вычислительного права (Atik, 2022; Ritter, 2015), или же этики квантовых технологий (Atik & Jeutner, 2021; Jeutner, 2021), или исследуют правовые аспекты применения квантовых технологий в отдельных областях юриспруденции (Yanamadala & Seema, 2022). В то время как российские ученые сосредоточились на выработке понятийно-категориального аппарата в сфере квантовых технологий, а также создания основ правового регулирования данных технологий и особенностей их регулирования в России на современном этапе (Холодная, 2022; Добробаба и др., 2022; Наумов и Станковский, 2019).

Отметим, что за рамками исследований остался комплексный анализ существующего международного, национального (как российского, так и зарубежного) регулирования квантовых технологий, а также определение таких особенностей квантовых технологий, которые являются причиной необходимости формирования квантового права.

В этой связи целью данного исследования стала попытка формирования концепта квантового права как права будущего.

Задачами исследования стали:

- 1) изучение свойств и особенностей квантовых технологий;
- 2) определение угроз, рисков и вызовов, связанных с развитием квантовых технологий;
- 3) выявление особенностей регулирования данных технологий в зарубежных странах;
- 4) анализ регулирования квантовых технологий в России;
- 5) формирование основных векторов развития квантового права.

Для проведения исследования применялся комплекс общенаучных методов, а также методов научного познания, применяемых в технических и юридических науках.

Методами, положенными в основу технической (инженерной) составляющей исследования, стали: методы системного анализа, методы квантовой механики, а также модели и методы дискретной математики и программотехники.

Методами, положенными в основу юридической составляющей исследования, стали сравнительно-правовой и метод правового моделирования. Применение сравнительно-правового метода дало возможность выявить основные направления развития правового регулирования квантовых технологий в российских и зарубежных правовых системах на основе анализа международного и национального регулирования квантовых технологий. Метод правового моделирования позволил сформировать концепт квантового права как права будущего, выявить основные векторы его развития и комплекс его эτικο-правовых принципов.

1. Текущий уровень развития квантовых технологий

1.1. Особенности квантовых явлений и их основные свойства

Центральным термином в сфере квантовых технологий является квантовый бит, или кубит. Кубитом может стать практически любая квантовая система (обладающая как минимум двумя состояниями). При этом квантовые состояния записываются как $|0\rangle$ и $|1\rangle$ (Дирак, 1979) (рис. 1).

Заметим, что общее состояние такой системы с двумя состояниями может быть представлено суперпозицией базисных состояний (рис. 1) (С. А. Петренко и др., 2021).

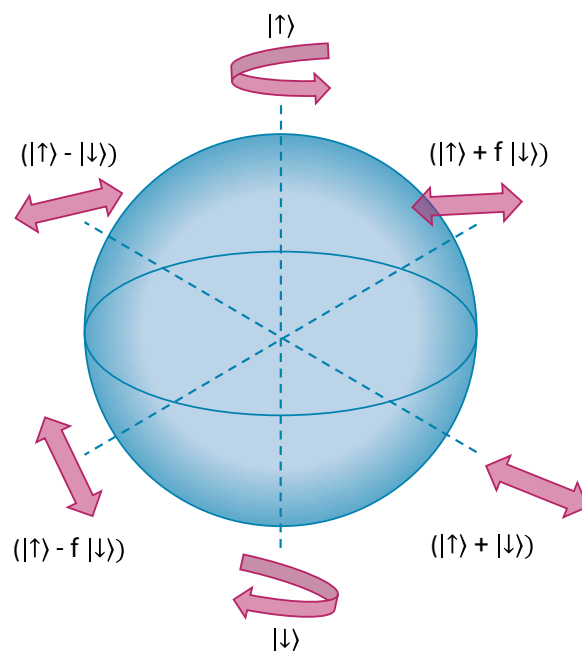


Рисунок 1. Состояния кубита

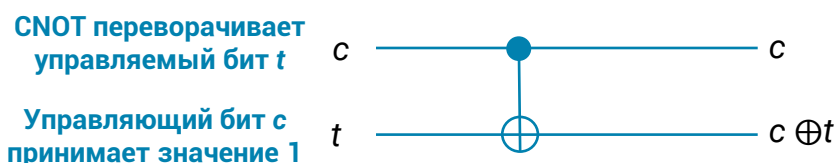
Источник: (С. А. Петренко и др., 2021).

Регистр, составленный из L двухуровневых кубитов, может хранить одновременно до 2^L чисел в квантовой суперпозиции. Соответственно, если пополнить регистр дополнительными кубитами, это повлечет экспоненциальное увеличение объема хранимой информации в регистре.

Так, в качестве примера можно привести 250-кубитный регистр, обладающий атомарными размерами, который способен хранить больше чисел, чем существует атомов во Вселенной.

Указанное позволяет сформулировать еще одну исключительную особенность квантового вычисления: используя только операцию суперпозиции, можно выполнить серию математических операций, каждая из которых оперирует всеми хранимыми данными одновременно (С. А. Петренко и др., 2021).

Под квантовым алгоритмом вычислений обычно понимается ряд последовательных унитарных операций. При этом операции будут всегда выполняться согласно ранее определенному порядку. Это подразумевает отсутствие известного логического условия «IF...THEN», применение которого позволяет нам изменить порядок вычисления. Вместо этого существуют условные операции, реализуемые гейтом CNOT (рис. 2) (Duplij & Shapoval, 2007).



Действие элемента CNOT

$|00\rangle \mapsto |00\rangle, |01\rangle \mapsto |01\rangle, |10\rangle \mapsto |11\rangle, |11\rangle \mapsto |10\rangle$

Рисунок 2. Применение гейта (оператора) CNOT

Источник: (С. А. Петренко и др., 2021).

Указанное предопределило возможность сформулировать ряд базовых принципов создания «святого Грааля» квантовой теории – квантового компьютера: а) кубит может быть инициализирован в известном состоянии (например, состоянии $|0\rangle$); б) он также может быть измерен в базисе $\{|0\rangle, |1\rangle\}$; в) универсальный квантовый гейт может воздействовать на любое ограниченное подмножество кубитов; г) состояние кубитов может быть изменено исключительно посредством указанных выше преобразований. По мнению ряда ученых, квантовые компьютеры смогут решать ряд вычислительных задач значительно эффективнее по сравнению с классическими (Duplij & Shapoval, 2007).

Однако пока что весьма сложно удерживать кубиты в относительно стабильном (когерентном) состоянии, поскольку любое взаимодействие системы с внешним миром ведет к потере когерентности (декогеренции), а следовательно, к аварийному завершению работы компьютера. Этот эффект приводит к нарушению квантовых шагов вычисления, что в свою очередь делает невыполнимым требование о неизменяемости состояния квантовой системы (Deutsch & Jozsa, 1992), так как не существует идеального квантового гейта, а также полностью изолированной системы. Сконструировать квантовую систему, в которой потеря когерентности имела бы место реже одного раза на миллион применений гейта XOR, оказалось достаточно сложной инженерной задачей. По мнению ученых, еще только предстоит узнать, позволяют ли законы физики найти нижний предел скорости потери когерентности (Deutsch & Jozsa, 1992; Shor, 1994; Shor, 1999; А. С. Петренко и др., 2021).

1.2. Основные направления развития квантовых технологий

В настоящее время к основным направлениям развития квантовых технологий относятся технологии, показанные на рис. 3.

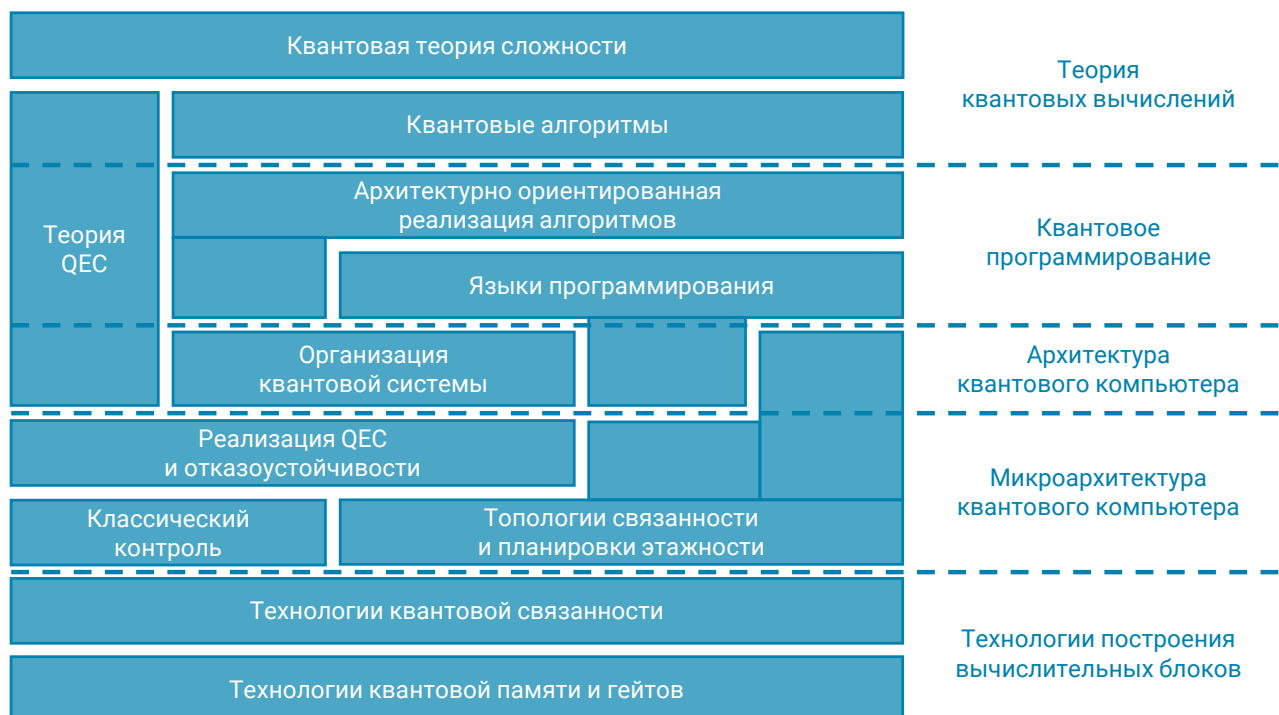


Рисунок 3. Основные направления развития квантовых технологий

Источник: (С. А. Петренко и др., 2021).

Наибольшую популярность имеют такие направления развития квантовых технологий, как квантовые компьютеры, квантовая сенсорика и метрология, а также квантовая (постквантовая) криптография. Поскольку о квантовых компьютерах было сказано выше, следует остановиться на двух других важных направлениях развития квантовых технологий.

Так, развитие такого направления, как квантовая сенсорика и метрология, обусловлено способностью квантовых сенсоров осуществлять высокоточные, а в перспективе и высокочувствительные измерения. Появление таких сенсоров позволит совершить прорывы в области медицины, обороны и безопасности, нефтедобычи и строительства, а также создания совершенных навигационных систем.

Постквантовая криптография является одним из наиболее востребованных направлений в сфере развития квантовых технологий. Идея создания шифра, который невозможно будет взломать, владеет умами ученых довольно давно. Именно поэтому квантовая криптография как направление исследований находится под пристальным вниманием большинства современных государств. При этом заметим, что ученые условно разделяют квантовую криптографию на квантово-безопасную и квантово-небезопасную (А. С. Петренко и др., 2021). Следует отметить, что в отдельных странах, в частности Соединенных Штатах Америки (далее – США) и странах Европейского союза (далее – ЕС), планируется переход к устойчивой постквантовой криптографии уже в 2025 г. (А. С. Петренко и др., 2021).

1.3. Вызовы и риски, связанные с появлением квантовых технологий

Основными вызовами, которые поставили перед правом квантовые технологии, являются следующие.

Во-первых, это вызовы современной экономике, связанные с проблемой наличия финансовых ресурсов. Так, гонка в борьбе за квантовое превосходство потребует от государств аккумулирования средств для развития таких технологий внутри страны, что может быть проблематичным в современных экономических условиях.

Во-вторых, это вызов системе национальной безопасности государства. Дело в том, что появление таких технологий у одной страны станет угрозой национальной безопасности для других. И это, в свою очередь, потребует адекватных и «симметричных» ответов, которые можно будет дать лишь в том случае, если государство будет обладать квантовыми технологиями аналогичного или более высокого уровня развития.

В-третьих, появление квантовых технологий повлечет за собой увеличение цифровых разрывов между теми, кто владеет квантовыми технологиями, и теми, кто таковыми не обладает, что в итоге может привести к усилению неравенства. Это также станет глобальным вызовом и потребует от государств совместного поиска решений указанной проблемы.

Следует также выделить риски, которые могут повлечь за собой создание и распространение квантовых технологий. Таковыми являются риски:

- 1) дестабилизации мировой финансовой системы;
- 2) нарушения конфиденциальности и безопасности данных;
- 3) утраты доверия к новым технологиям;
- 4) распространения фальшивых новостей, дезинформации и их влияния на демократические процессы;
- 5) повышения правовой неопределенности;
- 6) негативных изменений геополитических отношений.

2. Регулирование квантовых технологий

Как отмечалось выше, квантовые технологии находятся в фокусе особого внимания современных государств. Большинство из них активно включились в квантовую гонку и стремятся создать благоприятные условия, необходимые для эффективного развития таких технологий.

2.1. Регулирование квантовых технологий за рубежом

Китайская Народная Республика. В Национальном плане «Сделано в Китае 2025» (далее – Национальный план)¹, а также в текущем 14-м пятилетнем плане социально-экономического развития Китая (2021–2025 гг.)² объявлено о «крупных прорывах», в том числе в сфере квантовых технологий. Согласно Национальному плану, это будет возможно за счет систематического «наращивания мозгов», развития многочисленных национальных инновационных проектов, создания лабораторий³. Государственное финансирование позволит достигнуть значительных успехов в развитии квантовых технологий, что сделает китайскую технологическую промышленность лидером мирового рынка. Финансирование направлено преимущественно на коммерциализацию технологий квантовой связи, а также квантового распределения ключей и интерферометрии холодных атомов (табл. 1).

Европейский союз. В мае 2016 г. ЕС анонсировал запуск масштабной программы – Инициативы квантового лидерства (Quantum Flagship Initiative)⁴. Указанный документ предполагает как проведение исследований в сфере квантовых технологий, так и организацию и проведение масштабного комплекса действий, направленных на тестирование и апробацию квантовых технологий. При этом сумма финансирования, установленная Европейской комиссией, составила 1 млрд евро⁵.

Следует отметить, что основные направления деятельности в области развития квантовых технологий в ЕС детально описаны в Квантовом манифесте 2016 г.⁶ Отмечается, что в 2016–2017 гг. более 3400 частных компаний из различных стран ЕС присоединились к Манифесту⁷. Для таких компаний предусмотрена возможность участия в процессе создания и развития квантовых технологий в форме государственно-частного партнерства, а также грантов и др.

¹ *Made In China 2025: The Plan to Dominate Manufacturing and High-Tech Industries*. <https://www.fdicchina.com/blog/made-in-china-2025-plan-to-dominate-manufacturing/>

² *Outline of the People's Republic of China 14th Five-Year Plan for National Economic and Social Development and Long-Range Objectives for 2035*. (2021, March 12). t0284_14th_Five_Year_Plan_EN (georgetown.edu)

³ *Made In China 2025: The Plan to Dominate Manufacturing and High-Tech Industries*. <https://www.fdicchina.com/blog/made-in-china-2025-plan-to-dominate-manufacturing/>

⁴ *Quantum Technologies Flagship*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/quantum-technologies-flagship>

⁵ Там же.

⁶ *Quantum Manifesto for Quantum Technologies*. <https://ec.europa.eu/futurium/en/content/quantum-manifesto-quantum-technologies.html>

⁷ Там же.

Акты стратегического планирования в области создания квантовых технологий приняты в отдельных странах ЕС (табл. 1).

Королевство Нидерландов. Национальная повестка в области квантовых технологий⁸ была принята в Нидерландах в 2019 г. Данным актом предусматривается создание Консорциума регуляторов, стейкхолдеров и университетов, которые объединяют усилия по разработке квантовых технологий⁹ (табл. 1).

Федеративная Республика Германия. Рамочная программа федерального правительства Германии «Квантовые технологии – от фундаментальных исследований до рынка»¹⁰ определила следующие цели федерального правительства: укрепление сильных позиций Германии в области исследований квантовой физики и прокладывание пути к приложениям с использованием квантовых технологий; создание рамочных условий для подготовки к новым экономическим возможностям и рынкам; создание прочной основы для ведущей роли Германии в промышленном использовании квантовых технологий; развитие международного сотрудничества в сфере создания квантовых технологий; информирование населения Германии и его вовлечение в процесс продвижения новой ключевой технологии¹¹ (табл. 1).

Соединенные Штаты Америки. Законом о Национальной квантовой инициативе¹² от 13 декабря 2018 г. поставлена задача удержания технологического лидерства США в области квантовых технологий в среднесрочной и долгосрочной перспективе. Данный акт содержит план на 10-летний период развития и продвижения квантовых технологий в стране. Среди необходимых действий – учреждение специальных органов и комитетов, которые будут осуществлять организацию исследований в сфере квантовых технологий, а также выработку стандартов в данной сфере¹³.

Другой важный документ в этой сфере – Меморандум о национальной безопасности по продвижению лидерства Соединенных Штатов в квантовых вычислениях при снижении рисков для уязвимых криптографических систем¹⁴. В нем определены ключевые шаги, необходимые для поддержания конкурентного преимущества страны в области квантовой информатики при одновременном снижении рисков, связанных с появлением квантовых компьютеров для кибер-, экономической и национальной безопасности страны¹⁵.

⁸ *National Agenda for Quantum Technology*. <https://qutech.nl/wp-content/uploads/2019/09/NAQT-2019-EN.pdf>

⁹ Там же.

¹⁰ *Quantum technologies – from basics to markets*. https://www.bmbf.de/pub/BMBF_Fo__rderprogramm_Quantentechnologie_2018.pdf

¹¹ Там же.

¹² Public Law No. 115-368. (2018, December 21). National Quantum Initiative Act. <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/6227>

¹³ Там же.

¹⁴ *National Security Memorandum on Promoting United States Leadership in Quantum Computing While Mitigating Risks to Vulnerable Cryptographic Systems*. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/05/04/national-security-memorandum-on-promoting-united-states-leadership-in-quantum-computing-while-mitigating-risks-to-vulnerable-cryptographic-systems/>

¹⁵ Там же.

Меморандум также перечисляет конкретные действия в целях устранения уязвимостей компьютерных систем на квантово-устойчивую криптографию. В секретном приложении к этому меморандуму рассматриваются наиболее «чувствительные» вопросы национальной безопасности¹⁶ (табл. 1).

Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии. В 2014 г. в Великобритании была создана Национальная программа квантовых технологий¹⁷ (далее – NQTP), целью которой является превращение Великобритании в мирового лидера в области разработки и коммерциализации квантовых технологий. В 2020 г. NQTP опубликовала «Стратегический замысел», в котором излагается видение следующего десятилетия для экономики Великобритании с квантовыми технологиями¹⁸ (табл. 1).

Канада. На развитие Национальной квантовой стратегии Канады¹⁹ было выделено \$360 млн. Стратегия поддерживает динамично развивающуюся канадскую квантовую индустрию и поможет создать рабочую силу, необходимую для укрепления глобального лидерства Канады в сфере квантовых технологий²⁰ (табл. 1).

Австралийский Союз. Национальная квантовая стратегия²¹ содержит план, целью которого является способствование австралийскому кванту реализовать свой экономический потенциал. Для этого Австралия открыла Квантовый центр коммерциализации, который будет сопровождать и поддерживать коммерциализацию квантовых исследований и развитие квантового бизнеса в Австралии²². Другой интересной инициативой стала Дорожная карта по применению квантовых технологий для австралийской армии (Army Quantum Technology Roadmap)²³ (табл. 1).

Республика Сингапур. Новая Национальная сеть квантовой безопасности²⁴ (NQSN) будет развертывать коммерческие технологии для испытаний с участием государственных учреждений и частных компаний, проводить углубленную оценку систем безопасности и разрабатывать руководящие принципы для поддержки

¹⁶ Memorandum on Preparing for Post-Quantum Cryptography. <https://www.dhs.gov/publication/memorandum-preparing-post-quantum-cryptography>

¹⁷ UK National Quantum Technologies Programme (NQTP). <https://uknqt.ukri.org/>

¹⁸ UK National Quantum Technologies Programme (NQTP). A quantum-enabled future: legal and regulatory aspects of quantum technology. <https://techinsights.linklaters.com/post/102hryr/a-quantum-enabled-future-legal-and-regulatory-aspects-of-quantum-technology>

¹⁹ Government of Canada launches public consultations on National Quantum Strategy. <https://www.canada.ca/en/innovation-science-economic-development/news/2021/07/government-of-canada-launches-public-consultations-on-national-quantum-strategy.html>

²⁰ National Quantum Strategy. <https://digitalnovascotia.com/news/government-of-canada-launches-public-consultations-on-national-quantum-strategy/>

²¹ National Quantum Strategy: proposed framework. <https://consult.industry.gov.au/national-quantum-strategy>

²² Australian National Quantum Strategy. <https://www.insidequantumtechnology.com/news-archive/australias-vision-for-quantum/>

²³ Army Quantum Technology Roadmap. <https://researchcentre.army.gov.au/rico/army-quantum-technology-roadmap>

²⁴ CQT researchers join new project to build National Quantum-Safe Network in Singapore. <https://www.science.nus.edu.sg/blog/2022/03/15/cqt-researchers-join-new-project-to-build-national-quantum-safe-network-in-singapore/>

компаний, внедряющих такие технологии. Сумма государственного финансирования составит 8,5 млн сингапурских долларов в течение трех лет²⁵ (табл. 1).

Республика Корея. В 2019 г. был одобрен План по развитию квантовых вычислений²⁶. В течение пяти лет планируется осуществить разработку основных технологий, таких как аппаратное обеспечение квантовых компьютеров, а также перспективных направлений, включая новую архитектуру квантовых вычислений, квантовые алгоритмы и базовое программное обеспечение. Целью данного плана стала разработка 5-кубитного компьютера со степенью устойчивости 90 % к 2023 г.²⁷ Для дальнейшей реализации политики в сфере развития квантовых технологий в 2022 г. Южная Корея приняла Пятилетнюю программу развития квантовых технологий²⁸ (табл. 1).

Таблица 1. Регулирование квантовых технологий в зарубежных странах

Страна	Программа	Актеры	Действия	Стадия	Бюджет
Китайская Народная Республика	14-й пятилетний план «Социально-экономическое развитие Китая»; Национальный план «Сделано в Китае – 2025»	Преимущественно государство	Развитие национальных инновационных проектов, создание лабораторий; подготовка кадров	Коммерциализация	15,3 млрд долл.
Соединенные Штаты Америки	Закон о Национальной квантовой инициативе; Меморандум о национальной безопасности	Государство/частный сектор	Организация и поддержка исследований, создание стандартов	Коммерциализация	2,5 млрд долл.
Европейский союз и отдельные страны-участницы	Инициатива квантового лидерства; Квантовый манифест	Государство/частный сектор	Государственно-частное партнерство, гранты, консорциумы	Коммерциализация	1 млрд долл.
Королевство Нидерландов	Национальная стратегия в области квантовых технологий	Государство и частный сектор	Создание консорциума регуляторов, стейкхолдеров и университетов	Создание	850 млн долл.
Федеративная Республика Германия	Рамочная программа федерального правительства «Квантовые технологии – от фундаментальных исследований до рынка»	Государство	Поддержка исследований, развитие сотрудничества	Создание/коммерциализация	2,4 млрд долл.

²⁵ National Quantum Security Network. <https://www.eurekalert.org/news-releases/943794>

²⁶ Korea Starts Five-year Development Program for Quantum Computing Technology. <https://k-erc.eu/korea-starts-five-year-development-program-for-quantum-computing-technology/>

²⁷ Quantum Computing Development Plan. <http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=28881>

²⁸ 5-Years Plan for Quantum Technologies. <https://www.msit.go.kr/eng/bbs/view.do?sCode=eng&mId=4&mPid=2&pageIndex=&bbsSeqNo=42&nttSeqNo=610&searchOpt=ALL&searchTxt=>

Страна	Программа	Актеры	Действия	Стадия	Бюджет
Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Национальная программа квантовых технологий	Государство/частный сектор	Поддержка исследований, развитие сотрудничества, государственно-частное партнерство, гранты, консорциумы	Создание	1,23 млрд долл.
Республика Сингапур	Национальная сеть квантовой безопасности	Государство/частный сектор	Создание руководящих принципов государственной поддержки компаний-разработчиков	Коммерциализация	90,9 млн долл.
Канада	Национальная квантовая стратегия	Государство/частный сектор	Поддержка канадской квантовой индустрии; подготовка кадров	Создание/коммерциализация	650 млн долл.
Австралийский Союз	1. Национальная квантовая стратегия. 2. Дорожная карта по использованию квантовых технологий для нужд армии	Государство/частный сектор	Поддержка коммерциализации квантовых технологий и развитие «квантового» бизнеса	Коммерциализация	94 млн долл.
Республика Корея	План по развитию квантовых вычислений; Пятилетняя программа развития квантовых технологий	Государство/частный сектор	Поддержка исследований, развитие сотрудничества, подготовка кадров	Создание	40,9 млн долл.

2.2. Регулирование квантовых технологий в Российской Федерации

Развитие высоких квантовых технологий является одной из задач, направленных на достижение цели научно-технологического развития России в соответствии со Стратегией национальной безопасности Российской Федерации²⁹. При этом заметим, что квантовые технологии находятся в фокусе внимания не только как средство обеспечения национальной безопасности. Они также выступают одним из направлений развития научно-технологического прогресса³⁰. Более того, на необходимость создания и развития таких технологий указывается также в федеральной целевой программе «Цифровая экономика»³¹.

²⁹ Указ Президента РФ № 4005 от 02.07.2021. (2021). *Собрание законодательства РФ*, 27 (ч. II), ст. 5351.

³⁰ Постановление Правительства РФ № 377 от 29.03.2019. (2019). *Собрание законодательства РФ*, 15 (ч. III), ст. 1750.

³¹ Паспорт Федерального проекта «Цифровые технологии», утв. президиумом Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности, протокол от 28.05.2019 № 9 // СПС «КонсультантПлюс»; Постановление Правительства РФ № 377 от 29.03.2019. (2019). *Собрание законодательства РФ*, 15 (ч. III), ст. 1750.

В рамках данной программы была утверждена Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Квантовые технологии» (далее – дорожная карта)³². В ней проанализированы существующие виды квантовых технологий (субтехнологий) – квантовые вычисления, квантовая сенсорика и метрология, квантовая криптография, а также определены необходимые меры для развития квантовых технологий в России. Общий бюджет на реализацию дорожной карты (на период 2019–2024 гг.) составил 51,1 млрд руб., включая внебюджетное финансирование в размере 8,7 млрд руб.³³

Существенно, что поддержка всех трех основных субтехнологий квантовых технологий является критически важной для национальной безопасности и обеспечения цифрового суверенитета Российской Федерации. Отмечается, что необходимым условием для прорыва в области квантовых технологий является поддержка исследований и запуск инфраструктурных проектов национального масштаба, а также реализация организационных мероприятий по преодолению барьеров.

Среди таковых – создание необходимой инновационной инфраструктуры для их развития. Так, например, был создан инновационный научно-технологический центр «Квантовая долина»³⁴ в целях стимулирования предпринимательской деятельности в сфере создания цифровых технологий.

Кроме того, в Российской Федерации уделяется внимание и разработке национальных стандартов продуктов и решений, созданных на основе квантовых технологий. Так, уже сейчас разработан ГОСТ Р 58568-2019. «Национальный стандарт Российской Федерации. Оптика и фотоника. Фотоника. Термины и определения»³⁵. Кроме того, в ближайшее время планируется завершить разработку еще целого ряда иных стандартов в сфере квантовых технологий³⁶.

³² Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Квантовые технологии». <https://digital.gov.ru/>

³³ Там же.

³⁴ Постановление Правительства РФ № 2133 от 30.11.2021. (2021). *Собрание законодательства РФ*, 49 (ч. II), ст. 8318.

³⁵ Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 57257-2016/ISO/TS 80004-12:2016 «Нанотехнологии. Часть 12. Квантовые явления. Термины и определения» (утв. и введен в действие приказом Росстандарта от 10.11.2016 № 1673-ст). Москва: Стандартинформ, 2016.

³⁶ Так, в настоящий момент разрабатываются стандарты: «Квантовые коммуникации. Термины и определения»; «Квантовые коммуникации. Общие положения»; «Квантовый интернет вещей. Термины и определения»; «Квантовый интернет вещей. Общие положения»; «Квантовый интернет вещей. Типовой программно-аппаратный комплекс, реализующий функции системы квантового распределения ключей. Архитектура»; «Квантовый интернет вещей. Типовой программно-аппаратный комплекс, реализующий функции системы квантового распределения ключей. Интерфейсы подключения». (В России начали создавать стандарты квантовых технологий. <https://habr.com/ru/news/t/684540/>)

3. На пути к квантовому праву

Не грусти, – сказала Алиса. –
Рано или поздно все станет понятно,
все станет на свои места и выстроится
в единую красивую схему, как кружева.

**Художественный фильм
«Алиса в Стране чудес»,
режиссер Тим Бертон, 2010 г.**

3.1. Общие векторы формирования квантового права

Учеными уже не раз высказывались предположения о том, как сильно квантовые технологии способны изменить нашу жизнь (Arndt et al., 2011; Browne et al., 2017; Sigov et al., 2020). Трансформации подвергнутся многие сферы нашей жизни. Право не будет являться исключением. При этом полагаем, что трансформации подвергнется не только правовое регулирование, но и право в целом.

Уникальные свойства квантовых технологий не только откроют перед нами новые возможности, но и, конечно же, принесут новые риски и угрозы. Думается, что они обладают потенциалом изменения некоторых фундаментальных основ, в том числе и правовых. Это означает возможность формирования квантового права.

Ранее отмечалось, что зарубежные ученые активно работают над развитием идеи квантового права. Так, в статье «Рождение квантового права: концептуальные замечания» Дж. Риттер выдвигает концепт квантового права – некоего набора универсальных правил, применять которые будет возможно независимо от местонахождения или происхождения информации или технологии. При этом, по мнению ученого, квантовое право позволит пересмотреть наши представления о том, как поддерживать верховенство закона (Ritter, 2015).

Ему вторит и проф. Дж. Атик, считающий, что квантовая логика, квантовые алгоритмы и квантовые вычисления совместно с квантовым пониманием Вселенной способны преобразить и право, открывая новые возможности для создания квантовых норм, квантовых судебных решений и квантового правопорядка (Atik, 2022).

Как квантовые технологии могут преобразить право? Анализ работ ученых в данной сфере позволил выделить следующие векторы развития права в условиях второй квантовой революции.

3.1.1. От детерминизма к вероятностям в праве – смена правовой парадигмы

Можно допустить, что новое право будет развиваться по законам, свойственным квантовой механике, а не классической физике. Уже сейчас можно провести некоторые аналогии существующего права с детерминистским подходом, принятым в классической физике, и квантового права как права будущего с вероятностным подходом, свойственным квантовой механике.

По мнению профессора Дж. Атика, с приходом данных технологий «придет и квантовый способ мышления с информацией, “закодированной” в вероятностях, а не в определенностях. А это повлияет на то, как мы думаем о сложных системах. Уже давно понятно, что к истинному равновесию можно приблизиться, но никогда его не достичь в физических системах, и, вероятно, того менее в социальных системах» (Atik, 2022).

Развивая мысль ученого, отметим, что аналогичным образом можно говорить и о достижении истины в праве. Вопрос о том, что является истиной, например в уголовном праве, и как ее определить, дискуссионный, и найти однозначный, определенный ответ на него крайне сложно. Таким образом, как и в квантовой механике, в отдельных вопросах права мы уже мыслим в вероятностях, а не в определенностях, отказываясь от детерминизма.

Более того, заметим, что цифровизация буквально заставляет нас отказаться от прежнего концепта и требует «обновления» права. В этой связи уже сейчас появляются неортодоксальные инструменты, позволяющие создать эффективное регулирование для цифровых технологий. Так, например, позволяя тестировать цифровые инновации в рамках экспериментальных правовых режимов (регуляторных песочниц), мы также отказываемся от детерминистского подхода и мыслим в вероятностях. Временно не применяя отдельные регуляторные требования, мы пытаемся определить, какова вероятность того, что отступление от правил «пойдет на пользу» технологическому прогрессу, и стоит ли в дальнейшем перевести это «временное и специальное» в «постоянное и общее».

3.1.2. Проецирование свойств квантовых явлений на регулирование общественных отношений

В чем это будет выражено и как может отразиться на праве будущего с практической точки зрения? Тот факт, что особенностью квантовых технологий является вероятностный характер вычислений, потребует от основных акторов внедрения риск-ориентированных подходов во многие сферы. На сегодняшний день риск-ориентированный подход уже внедряется и применяется для регулирования различного рода общественных отношений (Бегишев, 2021). Так, в Российской Федерации это прежде всего область государственного и муниципального контроля за деятельностью субъектов предпринимательства³⁷. Зарубежные страны используют данный подход к регулированию технологии искусственного интеллекта³⁸.

Вполне вероятно, что с распространением квантовых технологий, в частности квантовых вычислений, концепт мышления юристов тоже может измениться. В зарубежной науке уже ставится вопрос о трансформации вычислительного права (computational law) в квантовое вычислительное право (quantum computational law), которое позволит принимать более объективные судебные решения и находить решения, казалось бы, нерешаемых правовых проблем, опираясь на свойства квантовых явлений (Atik & Jeutner, 2021).

Переходя к следующему свойству квантовых явлений – квантовой запутанности, которая, по сути, представляет собой постоянное взаимодействие квантовых частиц и их взаимозависимость одной от другой, можно будет проецировать это на будущее квантовое право. Думается, что данное право уже не будет «чистым» правом в его классическом понимании. Оно все больше и больше будет взаимодействовать

³⁷ О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации. Федеральный закон от 31.07.2020 № 248-ФЗ. (2020). *Собрание законодательства РФ*. 2020. № 31 (ч. I). Ст. 5007.

³⁸ См., напр.: EU AI Act. <https://artificialintelligenceact.eu/>

с иными областями научного знания: этикой, экономикой, техническими науками. Данный процесс уже запущен. Так, например, зарубежные и российские ученые уже давно отстаивают необходимость применения методов экономических наук в праве (экономический анализ права) (Гаджиев, 2016; Познер, 2004).

Более того, на современном этапе, пытаясь урегулировать процессы создания и внедрения искусственного интеллекта, мы обращаемся не столько к правовым нормам, сколько к этическим принципам. Указанное объясняется тем, что для регулирования цифровых технологий недостаточно классического правового инструментария.

3.1.3. Поиск «квантового» уровня права и его следствия

Другой вопрос, который ставится в науке, звучит так: обладает ли право «квантовым» уровнем?³⁹ Профессор Дж. Риттер высказывает предположение, что квантовое право обладает квантовым уровнем, не указывая, однако, на то, что это за уровень. И хотя нам весьма сложно найти какой-то иной ответ на данный вопрос, помимо того, что таковым уровнем будет являться норма права, мы считаем важным сфокусироваться не на определении квантового уровня права, а на том, как, собственно, «кванты» могут повлиять на регулирование. Означают ли какие-либо идеи из квантовой теории, что мы должны пересмотреть наши предположения о законе или внутри закона?⁴⁰

Думается, что с приходом этих цифровых технологий само правовое регулирование может стать «квантовым». В данном случае это означает, что оно может стать более конкретным, практико-ориентированным, уйдя при этом от излишней абстрактности. Заметим, что это уже является своего рода трендом. Регулирование во всем сейчас формируется не только законодательными органами. В данный процесс активно включился частный сектор. В основном крупные транснациональные корпорации. Так, уже сейчас говорят о праве, формируемом цифровыми платформами, например, есть концепт права eBay (eBayLaw) (Guadamuz, 2003), а частные компании активно подключаются к процессам разработки международных и национальных стандартов. Новое регулирование будет, несомненно, более практико-ориентированным, поскольку, формируя такие правила, бизнес отталкивается от существующих проблем, с которыми повседневно сталкивается.

3.2. Регуляторные песочницы и иные специальные режимы как составляющие квантового права

Масштабная, глобальная и интенсивная цифровизация и появление новых технологий как ее следствие уже привели к возникновению правовой неопределенности и потребовали поиска более гибких подходов к правовому регулированию. Одним из таковых стали специальные режимы и экспериментальные режимы как их разновидность.

Как представляется, указанное в полной мере применимо и к квантовым технологиям, чья инновационная природа также требует от права трансформации

³⁹ Quantum law: an interdisciplinary exploration of quantum theory law and ethics. <https://www.westminster.ac.uk/events/quantum-law-an-interdisciplinary-exploration-of-quantum-theory-law-and-ethics>

⁴⁰ Там же.

и адаптации к реалиям, которые будут обусловлены распространением квантовых технологий.

Уже сейчас эксперты говорят о необходимости отдельных отступлений или изъятий из действующего законодательства. Так, например, идея о специальном правовом режиме в сфере патентования квантовых технологий предложена проф. В. Джойтнером. По его мнению, необходимость сокращения цифровых разрывов и неравенства в целом, вызванных появлением квантовых технологий, требует введения ограничения на их патентование (Jeutner, 2021). Это обусловлено тем, что уже сейчас ряд стран ведут весьма агрессивную политику в области патентования квантовых технологий⁴¹ и международное закрепление таких правил будет способствовать борьбе с усилением неравенства. Кроме того, ученый также предлагает сделать обязательным трансфер квантовых технологий в отдельных сферах (например, социально значимых).

Ученые также предлагают специальный режим для контроля экспорта квантовых технологий. Так, высказывается идея о включении таких технологий в Вассенарское соглашение (Jeutner, 2021).

О специальном регулировании говорят и применительно к тому моменту, когда мы станем массово переходить на квантовые облачные услуги. Квантовые облачные вычисления должны демократизировать рынок, позволяя частным лицам и компаниям получить доступ к исключительной вычислительной мощности без необходимости создавать и поддерживать собственную инфраструктуру квантовых вычислений. Квантовые облачные сервисы будут особенно важны в ближайшие три-пять лет, поскольку позволят проводить эксперименты до того, как квантовые компьютеры станут более доступными. Это, однако, потребует внесения изменений в законодательство о персональных данных. Именно поэтому технологическим лидерам важно прояснить, какие данные могут передаваться через различные организационные границы, какие данные передаются и как это происходит.

Российские ученые также активно участвуют в процессе создания основ регулирования квантовых технологий и отмечают необходимость разработки правового регулирования квантовых технологий. Помимо указанного, следует также сосредоточиться на выработке правового регулирования применения квантовых технологий в различных сферах деятельности (социальной, культурной, экономической и др.) (Холодная, 2022; Добробаба и др., 2022). Внимания заслуживают и конкретные предложения российских ученых в рамках совершенствования отдельных отраслей в целях развития квантовых технологий. Так, в частности, предлагается наделение лиц – разработчиков квантовых технологий рядом налоговых льгот и преференций (Добробаба и др., 2022). Экспертами также предлагается ввести ответственность за нарушение запрета на использование обычных методов шифрования информации (Наумов и Станковский, 2019).

В поисках оптимальных подходов к регулированию квантовых технологий и формированию права таких технологий следует применять экспериментальные правовые режимы в сфере создания цифровых инноваций (регуляторные песочницы).

⁴¹ Quantum USA vs. Quantum China: The World's Most Important Technology Race. <https://www.forbes.com/sites/moorinsights/2019/10/10/quantum-usa-vs-quantum-china-the-worlds-most-important-technology-race/?sh=311e182372de>

В условиях такого режима происходит временный отказ от применения отдельных регуляторных требований в целях проверки жизнеспособности цифровой инновации и попытки создания их оптимального правового регулирования. Это позволяет субъектам инновационной предпринимательской деятельности сократить финансовые и временные издержки, связанные с запуском инновации; государству – определить оптимальную модель правового их регулирования. Заметим, что отмеченная гибкость регуляторных песочниц позволит создать проактивное право, идущее в ногу с цифровизацией.

Полагаем, что для создания эффективного правового регулирования квантовых технологий применение экспериментальных правовых режимов будет одним из оптимальных решений.

Однако при этом следует помнить о том, что свойства квантовых технологий и их потенциал пока что до конца не изучены, и это требует больших мер предосторожности и эффективных мер защиты заинтересованных лиц. В этой связи предлагается особым образом учитывать риски, связанные с указанными особенностями квантовых технологий, и предпринимать попытки их минимизации на уровне программы экспериментального правового режима. Также предлагается предусмотреть дополнительные компенсации и страхование ответственности субъектов экспериментального правового режима (Gromova & Ivanc, 2020). Кроме того, следует помнить и о том, что создание квантовых технологий в условиях экспериментального правового режима потенциально может повлечь и нарушение антимонопольного законодательства. Дело в том, что временное отступление от применения к деятельности участника такого режима отдельных регуляторных требований дает ему конкурентные преимущества, связанные с быстрым входом на рынок, а иногда и сокращением затрат на совершение отдельных действий (сертификацию, лицензирование, аккредитацию и т. п.) (Громова, 2022).

4. Этика квантов

4.1. Базовые этические принципы, применимые к квантовым технологиям

В зарубежной литературе предлагается использовать подход этического регулирования, который используется в отношении искусственного интеллекта⁴². При этом представляется, что квантовые технологии будут регулироваться общими, базовыми этическими принципами, такими как безопасность, надежность, контролируемость и управляемость, прозрачность, интерпретируемость и предсказуемость.

Рассматривая принцип безопасности применительно к квантовым технологиям, важно отметить, что разработчики таких технологий, а также иные причастные к их созданию и внедрению лица должны обеспечить необходимую безопасность тех, кто будет применять такие технологии, а также не допустить причинения вреда потребителям, пользователям и иным субъектам.

Принцип надежности квантовых технологий подразумевает необходимость обеспечения возможности таких технологий сохранить в течение продолжительного

⁴² См., напр.: Ethics guidelines for trustworthy AI: Shaping Europe's digital future – European Commission. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/ethics-guidelines-trustworthy-ai>; OECD AI Policy Observatory. <https://oecd.ai/en/>; Кодекс этики в сфере искусственного интеллекта. <https://a-ai.ru/ethics/index.html>

времени способность выполнять требуемые функции в условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Говоря о принципах контролируемости и управляемости квантовых технологий, следует отметить, что при их разработке и применении должны максимально возможно учитываться риски, связанные с их применением, а также быть апробированы способы их минимизации.

Принцип прозрачности квантовых технологий подразумевает возможность открытого, исчерпывающего, доступного, четкого и понятного представления информации как о самих квантовых технологиях, сферах их применения, так и последствиях их применения.

Интерпретируемость будет подразумевать необходимость разработки объяснимых квантовых технологий, применение которых может повысить доверие к ним, предоставляя обществу возможность понимания принципов их работы, распознавания случаев дискриминации или предвзятости при их применении, а также информирования о нарушениях прав.

Несомненно, квантовые технологии должны быть предсказуемыми. И хотя, учитывая вышеназванные особенности квантовых технологий и свойства квантовых явлений, обеспечить исполнение данного принципа будет крайне сложным, тем не менее разработчикам таких технологий следует сделать все возможное для того, чтобы способы их применения приводили к ожидаемым и приемлемым результатам.

4.2. Специальные этические принципы развития и применения квантовых технологий

Вместе с тем, учитывая специфику квантовых технологий, можно говорить о необходимости выработки специальных этических принципов. На это обращают внимание и российские (Yunakovsky et al., 2021; Kabanov et al., 2018; Kitaev et al., 1999; Korolkov, 2015) и зарубежные представители технических наук (Arute et al., 2019; Muheidat et al., 2022; Kabanov et al., 2018; Kitaev et al., 1999). Так, например, исследовательским коллективом Университета Лунд в рамках их проекта «Квантовое право» был разработан так называемый Квантовый императив. Данный императив предусматривает, что регулирующие органы и разработчики должны быть уверены, что квантовые компьютеры:

- не создавали и не усугубляли неравенства;
- не подрывали индивидуальную автономию личности;
- учитывали мнения тех, чьи интересы могут быть затронуты при применении квантовых технологий (Jeutner, 2021).

Кроме того, анализ зарубежных источников, в которых затрагиваются вопросы этики квантовых технологий, позволил дополнить данный Квантовый императив следующими этическими принципами:

– этико-первостепенное мышление в отношении квантовых разработок (ethic-first quantum mind). Данный принцип предполагает следующие составляющие: проактивность и соразмерность. Проактивность подразумевает так называемую работу на опережение – активные, ответственные действия регуляторов, бизнеса и технологических лидеров в целях создания этического будущего для квантовой экосистемы. В прошлом возможности для разработки этических рекомендаций по мере появления новых технологий были упущены. Это привело к возникновению серьезных проблем, например, расистских алгоритмов распознавания лиц. Именно поэтому акторы обязаны занять более проактивную позицию в отношении квантовых

технологий. Соразмерность предполагает такое поведение регуляторов и разработчиков, которое учитывает действительную необходимость применения квантовых технологий и соотносит это с реалиями. Как отмечают эксперты, часто создается впечатление, что компании и государственные органы используют революционные технологии ради самих технологий без полного учета сопутствующих экономических, операционных и репутационных рисков;

– межсекторное и междисциплинарное сотрудничество для установления четких границ этичного и неэтичного использования квантовых технологий.

Думается, что принятие Кодекса этики регуляторов и разработчиков квантовых технологий (Кодекс этики квантов) будет способствовать развитию этичного, добро-совестного создания и применения данных технологий.

Кроме того, следует рассмотреть возможность внедрения в деятельность компании – разработчика системы квантового этико-правового комплаенса (по аналогии с антимонопольным комплаенсом) – специальной внутренней корпоративной политики, направленной на выявление и пресечение возможных нарушений этических и правовых норм.

Выводы

Проведенное исследование позволило прийти к следующим выводам:

1. Включение многих стран в квантовую гонку и их стремление уже не просто создавать, но и коммерциализировать квантовые технологии означает, что рано или поздно такие технологии прочно войдут в нашу жизнь. А учитывая их революционные свойства и активную работу мирового научного сообщества по их «обузданию», становится очевидно, что такие технологии не просто войдут в нашу жизнь, но и существенно ее изменят.

2. Государства создают плацдарм для такой трансформации, в том числе за счет создания регулирования квантовых технологий. Пока что это, как правило, акты общего стратегического планирования, хотя уже сейчас начинают появляться специальные документы, регулирующие особенности создания и внедрения квантовых технологий в отдельных сферах.

3. На основании изучения регулирования квантовых технологий зарубежными странами можно сделать следующие выводы.

Во-первых, регулирование квантовых технологий большинством рассмотренных стран на данный момент осуществляется актами стратегического планирования общего характера. Однако уже сейчас начинает формироваться отраслевое регулирование квантовых технологий. Во-вторых, обращает на себя внимание тот факт, что в отдельных странах национальными программами развития квантовых технологий уделяется внимание не столько созданию таких технологий, сколько их коммерциализации – это означает, что этап разработки таких технологий может находиться на завершающей стадии и страны сосредоточились на том, чтобы создать условия для их применения. В-третьих, данные акты предусматривают преимущественно государственное финансирование создания и коммерциализации квантовых технологий, хотя и поощряют развитие государственно-частного партнерства и частного инвестирования в области таких цифровых технологий.

4. С учетом описанных свойств квантовых явлений, а также тех вызовов и рисков, которые несет применение квантовых технологий, становится очевидным, что трансформации подвергнется и само право. Одним из следствий может стать

формирование нового квантового права. Его концептуальные основы будут обусловлены свойствами квантовых технологий.

5. Векторами развития квантового права станет применение специальных, в том числе экспериментальных, правовых режимов. Регуляторные песочницы позволят протестировать сервисы, бизнес-модели и продукты, основанные на квантовых технологиях, и выработать наиболее оптимальное для них регулирование.

6. Важное значение в развитии квантового права будет придаваться этическим принципам регулирования и применения таких технологий. В этой связи, а также с учетом необходимости работы на опережение уже сейчас необходимо приступить к созданию кодекса квантовой этики и разработки системы этико-правового комплаенса.

Список литературы

- Бегишев, И. Р. (2021). Криминологическая классификация роботов: риск-ориентированный подход. *Правоприменение*, 5(1), 185–201. [https://doi.org/10.52468/2542-1514.2021.5\(1\).185-201](https://doi.org/10.52468/2542-1514.2021.5(1).185-201)
- Гаджиев, Г. А. (2016). *Право и экономика (методология)*. Москва: Норма: ИНФРА-М.
- Громова, Е. А. (2022). Экспериментальные режимы создания цифровых инноваций и проблемы обеспечения добросовестной конкуренции. *Журнал российского права*, 26(10), 41–51. EDN: <https://elibrary.ru/higrhr>. DOI: <https://doi.org/10.12737/jrl.2022.104>
- Дирак, П. А. М. (1979). *Принципы квантовой механики*. Москва: Мир.
- Добробаба, М. Б., Чаннов, С. Е., Минбалева, А. В. (2022). Квантовые коммуникации: перспективы правового регулирования. *Вестник Университета им. О. Е. Кутафина*, 4, 25–37. EDN: <https://elibrary.ru/maompt>. DOI: <https://doi.org/10.17803/2311-5998.2022.92.4.025-037>
- Корж, О. В., Андреев, Д. Ю., Корж, А. А., Коробков, С. В., Чернявский, А. Ю. (2013). Моделирование работы идеального квантового компьютера на суперкомпьютере «Ломоносов». *Вычислительные методы и программирование*, 2(14), 24–34. <https://elibrary.ru/rowasx>
- Наумов, В. Б., Станковский, Г. В. (2019). Правовые аспекты квантовых коммуникаций: новые горизонты. *Пробелы в российском законодательстве*, 4, 235–239.
- Петренко, С. А., Петренко, А. С., Ожиганова, М. И. (2021). Оценка возможностей квантовых алгоритмов криптоанализа. *Защита информации. Инсайд*, 6(102), 70–82.
- Петренко, А. С., Петренко, С. А., Ожиганова, М. И. (2021). Модель угроз безопасности по аналитике зарубежных национальных квантовых программ. *Защита информации. Инсайд*, 4(100), 50–59.
- Познер, Р. А. (2004). *Экономический анализ права*. В 2 т. Т. 1. Санкт-Петербург: Экономическая школа, 2004.
- Холодная, Е. В. (2022). Квантовые технологии как объект права. *Вестник Университета им. О. Е. Кутафина*, 4, 38–45. EDN: <https://elibrary.ru/aayhpk>. DOI: <https://doi.org/10.17803/2311-5998.2022.92.4.038-045>
- Arndt, M., Bassi, A., Giulini, D., Heidmann, A., & Raimond, J. M. (2011). Fundamental Frontiers of Quantum Science and Technology. *Procedia Computer Science*, 7, 77–80. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2011.12.024>
- Arute, F., Arya, K., & Babbush, R. (2019). Quantum supremacy using a programmable superconducting processor. *Nature*, 574, 505–510. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1666-5>
- Atik, J., & Jeutner, V. (2021). Quantum Computing and Computational Law. *Law, Innovation and Technology*, 3, 1–23. <https://doi.org/10.1080/17579961.2021.1977216>
- Atik, J. (2022). Quantum computing and the legal imagination. *SciTech Lawyer*, 22, 1–5. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4087044
- Ball, Ph. (2021). Where does quantum weirdness end? *New Scientist*, 251(3349), 38–39. [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(21\)01518-9](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(21)01518-9)
- Belenchia, A., Carlesso, M., Bayraktar, M., Dequal, D., Derkach, I., Gasbarri, G., Herr, W., Li, Y. L., Rademacher, M., Sidhu, J., Oi, D. K., Seidel, S. T., Kaltenbaek, R., Marquardt, C., Ulbricht, H., Usenko, V. C., Wörner, L., Xuereb, A., Paternostro, M., ... Bassi, A. (2022). Quantum physics in space. *Physics Reports*, 951, 1–70. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2021.11.004>
- Browne, D., Bose, S., Mintert, F., & Kim, M. (2017). From quantum optics to quantum technologies. *Progress in Quantum Electronics*, 54, 2–18. <https://doi.org/10.1016/j.pquantelec.2017.06.002>
- Chen, Y. A., Zhang, Q., Chen, T. Y. et al. (2021). An integrated space-to-ground quantum communication network over 4,600 kilometres. *Nature*, 589, 214–219. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-03093-8>

- Deutsch, D., & Jozsa, R. (1992). Rapid solution of problems by quantum computation. *Proceedings of the Royal Society of London. Seria A: Mathematical, Physical and Engineering sciences*, 439(1907), 553–555. <https://doi.org/10.1098/rspa.1992.0167>
- Duplij, S., & Shapoval, I. (2007). Topological Methods In Quantum Computations. *Journal of Kharkov National University. Ser. Nuclei, Particles and Fields*, 3(35), 3–30.
- Gromova, E., & Ivanc, T. (2020). Regulatory sandboxes (experimental legal regimes) for digital innovations in BRICS. *BRICS Law Journal*, 7, 2, 10–36. EDN: <https://elibrary.ru/kzqaum>. DOI: <https://doi.org/10.21684/2412-2343-2020-7-2-10-36>
- Guadamuz, A. (2003). Ebay Law: The Legal Implications of the C2c Electronic Commerce Model. *Computer Law & Security Report*, 19, 6, 468–473.
- Jeutner, V. (2021). The Quantum Imperative: Legal Dimensions of Quantum Computing. *Morals & Machines*, 1(1), 52–59.
- Kabanov, I. S., Yunusov, R. R., Kurochkin, Y. V., & Fedorov, A. K. (2018). Practical cryptographic strategies in the post-quantum era. *AIP Conference Proceedings* 1936, 020021. <https://doi.org/10.1063/1.5025459>
- Kearney, J. J., & Perez-Delgado, C. A. (2020). Vulnerability of blockchain technologies to quantum attacks. *Array*, 10, 100065. <https://doi.org/10.1016/j.array.2021.100065>
- Kitaev, A., Shen, A., & Vyal, M. (1999). *Classical and quantum computing*. Moscow: ICNMO, Publishing House of Chero.
- Korolkov, A. V. (2015). On some applied aspects of quantum cryptography in the context of the development of quantum computing and the emergence of quantum computers. *Issues of cybersecurity*, 1(9), 6–13.
- Kumar Adarsh, Pacheco Diego Augusto de Jesus, Kaushik Keshav, & Rodrigues Joel J. P. C. (2022). Futuristic view of the Internet of Quantum Drones: Review, challenges and research agenda. *Vehicular Communications*, 36, 100487. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2022.100487>
- Mosca, M. (2018). Cybersecurity in an Era with Quantum Computers: Will We Be Ready? *IEEE Security & Privacy*, 16(5), 38–41. <https://doi.org/10.1109/MSP.2018.3761723>
- Muheidat, F., Dajani, K., & Tawalbeh, L. A. (2022). Security Concerns for 5G/6G Mobile Network Technology and Quantum Communication. *Procedia Computer Science*, 203, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.07.007>
- Petrenko, A. (2022). *Applied Quantum Cryptanalysis*. River Publishers.
- Ritter, J. (2015). *The Birth of Quantum Law: A Concept Paper*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4263.7285>
- Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 379–423.
- Shor, P. (1994). Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring. *Foundations of Computer Science*, 10, 134–145. <https://doi.org/10.1109/SFCS.1994.365700>
- Shor, P. W. (1999). Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer. *SIAM J. Comput.*, 26, 1484–1509. <https://doi.org/10.1137/S0097539795293172>
- Sigov, A., Ratkin, L., & Ivanov, L. A. (2020). Quantum Information Technology. *Journal of Industrial Information Integration*, 28, 100365. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2022.100365>
- Taylor, R. D. (2020). Quantum Artificial Intelligence: A “precautionary” U.S. approach? *Telecommunications Policy*, 44(6), 101909. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2020.101909>
- Yanamadala, S., & Seema, S. (2022). Quantum dots: policy and ethics. In Yarub Al-Douri (Ed.). *Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, Graphene, Nanotubes and Quantum Dots-Based Nanotechnology* (pp. 887–899). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85457-3.00031-1>
- Yunakovsky, S. E., Kot, M., Pozhar, N. O., Nabokov, D., Kudinov, M. A., Guglya, A., Kiktenko, E. O., Kolycheva, E. V., Borisov, A., & Fedorov, A. K. (2021). Towards security recommendations for public-key infrastructures for production environments in the post-quantum era. *EPJ Quantum Technology*, 8, 1–19. <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00104-z>

Сведения об авторах



Громова Елизавета Александровна – кандидат юридических наук, доцент, заместитель директора Юридического института по международной деятельности, доцент кафедры предпринимательского, конкурентного и экологического права, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)

Адрес: 454080, Российская Федерация, г. Челябинск, проспект Ленина, 78

E-mail: gromovaea@susu.ru

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6655-8953>

Web of Science Researcher ID:

<https://www.webofscience.com/wos/author/record/AAO-8876-2020>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208846603>

Google Scholar ID: <https://scholar.google.com/citations?user=fDz6FkUAAAAJ&hl>

РИНЦ Author ID: https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=652593



Петренко Сергей Анатольевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационной безопасности, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина); профессор, Университет Иннополис

Адрес: 420500, Российская Федерация, г. Иннополис, ул. Университетская, 1

E-mail: s.petrenko@innopolis.ru

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0644-1731>

Web of Science Researcher ID:

<https://www.webofscience.com/wos/author/record/O-5049-2017>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57195327289>

Google Scholar ID: https://scholar.google.com/citations?user=x_gez2gAAAAJ&hl=ru

РИНЦ Author ID: https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=805505

Вклад авторов

Е. А. Громова осуществляла общее руководство и постановку задач исследования, анализ отечественного и зарубежного регулирования квантовых технологий.

С. А. Петренко провел анализ текущего состояния науки «Квантовые вычисления» и определил перспективные направления инженерных исследований в этой области.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

История статьи

Дата поступления – 1 декабря 2022 г.

Дата одобрения после рецензирования – 18 января 2023 г.

Дата принятия к опубликованию – 6 марта 2023 г.

Дата онлайн-размещения – 10 марта 2023 г.



Research article

DOI: <https://doi.org/10.21202/jdtl.2023.3>

Quantum Law: the Beginning

Elizaveta A. Gromova ✉

South Ural State University (National Research University)
Chelyabinsk, Russian Federation

Sergey A. Petrenko

Saint Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V. I. Ulyanov (Lenin)
Saint Petersburg, Russian Federation;
Innopolis University
Innopolis, Russian Federation

Keywords

Ethical issues
experimental legal regimes,
legal regulation,
quantum calculation,
quantum law,
quantum technology,
risks and challenges of using
quantum technologies

Abstract

Objective: to formulate the bases for quantum law as the law of the future, based on the study of quantum phenomena and features of quantum technologies determining the risks and challenges associated with the emergence of these technologies, as well as the analysis of legal regulation of quantum technologies in the Russian Federation and abroad.

Methods: to carry out this research, the authors applied a complex of general scientific methods of systemic analysis and specific methods of engineering and legal sciences. The use of comparative-legal method allowed revealing the main directions of developing legal regulation of quantum technologies in the Russian and foreign law orders based on the analysis of their international and national regulation. The method of legal modeling allowed forming a concept of quantum law, revealing the main vectors of its development and the complex of its ethical-legal principles.

Results: the features and properties of quantum technologies were revealed which can change the development of law with the advent of these technologies; the main risks and challenges were identified which are associated with the development of quantum technologies; the features of quantum technologies regulation in some foreign countries were specified; the trends of developing the quantum technologies regulation in the Russian Federation were identified; the conceptual bases of quantum law were formulated, as well as the vectors of its development.

✉ Corresponding author

© Gromova E. A., Petrenko S. A., 2023

Scientific novelty: for the first time in the legal science, a complex analysis of the current national (both Russian and foreign) regulation of quantum technologies was carried out, based on which an attempt was made to substantiate the need to form quantum law and to outline the main vectors of its development.

Practical significance: the research results lay the foundation for forming the concept of quantum law; in this regard, the authors' conclusions and proposals for improving the current regulation of quantum technologies can be used in law-making and law enforcement in this sphere, and may lay the bases for further research in the sphere of quantum technologies.

For citation

Gromova, E. A., & Petrenko, S. A. (2023). Quantum Law: The Beginning. *Journal of Digital Technologies and Law*, 1(1), 62–88. <https://doi.org/10.21202/jdtl.2023.3>

References

- Arndt, M., Bassi, A., Giulini, D., Heidmann, A., & Raimond, J. M. (2011). Fundamental Frontiers of Quantum Science and Technology. *Procedia Computer Science*, 7, 77–80. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2011.12.024>
- Arute, F., Arya, K., & Babbush, R. (2019). Quantum supremacy using a programmable superconducting processor. *Nature*, 574, 505–510. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1666-5>
- Atik, J., & Jeutner, V. (2021). Quantum Computing and Computational Law. *Law, Innovation and Technology*, 3, 1–23. <https://doi.org/10.1080/17579961.2021.1977216>
- Atik, J. (2022). Quantum computing and the legal imagination. *SciTech Lawyer*, 22, 1–5. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4087044
- Ball, Ph. (2021). Where does quantum weirdness end? *New Scientist*, 251(3349), 38–39. [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(21\)01518-9](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(21)01518-9)
- Begishev, I. R. (2021). Criminological classification of robots: risk-oriented approach. *Pravoprimereniye*, 5(1), 185–201. [https://doi.org/10.52468/2542-1514.2021.5\(1\).185-201](https://doi.org/10.52468/2542-1514.2021.5(1).185-201)
- Belenchia, A., Carlesso, M., Bayraktar, M., Dequal, D., Derkach, I., Gasbarri, G., Herr, W., Li, Y. L., Rademacher, M., Sidhu, J., Oi, D. K., Seidel, S. T., Kaltenbaek, R., Marquardt, C., Ulbricht, H., Usenko, V. C., Wörner, L., Xuereb, A., Paternostro, M., ... Bassi, A. (2022). Quantum physics in space. *Physics Reports*, 951, 1–70. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2021.11.004>
- Browne, D., Bose, S., Mintert, F., Kim, M. (2017). From quantum optics to quantum technologies. *Progress in Quantum Electronics*, 54, 2–18. <https://doi.org/10.1016/j.pquantelec.2017.06.002>
- Chen, Y. A., Zhang, Q., Chen, T. Y. et al. (2021). An integrated space-to-ground quantum communication network over 4,600 kilometres. *Nature*, 589, 214–219. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-03093-8>
- Deutsch, D., & Jozsa, R. (1992). Rapid solution of problems by quantum computation. *Proceedings of the Royal Society of London A*, 439(1907), 553–555. <https://doi.org/10.1098/rspa.1992.0167>
- Dirak, P. A. M. (1979). *Principles of quantum mechanics*. Moscow: Mir.
- Dobrobaba, M. B., Channov, S. E., & Minbaleev, A. V. (2022). Quantum communications: prospects of legal regulation. *Vestnik Universiteta im. O. E. Kutafina*, 4, 25–37. <https://doi.org/10.17803/2311-5998.2022.92.4.025-037>
- Duplij, S., & Shapoval, I. (2007). Topological Methods In Quantum Computations. *Journal of Kharkov National University, ser. Nuclei, particles and fields*, 3(35), 3–30.
- Gadzhiev, G. A. (2016). *Law and economics (methodology)*. Moscow: Norma: INFRA-M.
- Gromova, E. A. (2022). Experimental regimes of creating digital innovations and problems of ensuring good faith competition. *Zhurnal rossiyskogo prava*, 26(10), 41–51. <https://doi.org/10.12737/jrl.2022.104>
- Gromova, E., & Ivanc, T. (2020). Regulatory sandboxes (experimental legal regimes) for digital innovations in BRICS. *BRICS Law Journal*, 7, 2, 10–36. <https://doi.org/10.21684/2412-2343-2020-7-2-10-36>

- Guadamuz, A. (2003). Ebay Law: The Legal Implications of the C2c Electronic Commerce Model. *Computer Law & Security Report*, 19, 6, 468–473.
- Jeutner, V. (2021). The Quantum Imperative: Legal Dimensions of Quantum Computing. *Morals & Machines*, 1(1), 52–59.
- Kabanov, I. S., Yunusov, R. R., Kurochkin, Y. V., & Fedorov, A. K. (2018). Practical cryptographic strategies in the post-quantum era. *AIP Conference Proceedings* 1936, 020021. <https://doi.org/10.1063/1.5025459>
- Kearney, J. J., & Perez-Delgado, C. A. (2020). Vulnerability of blockchain technologies to quantum attacks. *Array*, 10, 100065. <https://doi.org/10.1016/j.array.2021.100065>
- Kholodnaya, E. V. (2022). Quantum technologies as an object of law. *Vestnik Universiteta im. O. E. Kutafina*, 4, 38–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.17803/2311-5998.2022.92.4.038-045>
- Kitaev, A., Shen, A., & Vyalı, M. (1999). *Classical and quantum computing*. Moscow: ICNMO, Publishing House of Chero.
- Korolkov, A. V. (2015). On some applied aspects of quantum cryptography in the context of the development of quantum computing and the emergence of quantum computers. *Issues of Cybersecurity*, 1(9), 6–13.
- Korzh, O. V., Andreev, D. Yu., Korzh, A. A., Korobkov, S. V., & Chernyavskiy, A. Yu. (2013). Modeling of the work of an ideal quantum computer with the Lomonosov supercomputer. *Vychislitelnye metody i programmirovaniye*, 2(14), 24–34. (In Russ.).
- Kumar, Adarsh, Pacheco, Diego Augusto de Jesus, Kaushik, Keshav, & Rodrigues, Joel J. P. C. (2022). Futuristic view of the Internet of Quantum Drones: Review, challenges and research agenda. *Vehicular Communications*, 36, 100487. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2022.100487>
- Naumov, V. B., & Stankovskiy, G. V. (2019). Legal aspects of quantum communications: new horizons. *Probely v rossiyskom zakonodatelstve*, 4, 235–239. (In Russ.).
- Mosca, M. (2018). Cybersecurity in an Era with Quantum Computers: Will We Be Ready? *IEEE Security & Privacy*, 16(5), 38–41. <https://doi.org/10.1109/MSP.2018.3761723>
- Muheidat, F., Dajani, K., & Tawalbeh, L. A. (2022). Security Concerns for 5G/6G Mobile Network Technology and Quantum Communication. *Procedia Computer Science*, 203, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.07.007>
- Petrenko, A. (2022). *Applied Quantum Cryptanalysis*. River Publishers.
- Petrenko, A. S., Petrenko, S. A., & Ozhiganova, M. I. (2021). Model of safety threats according to the analytics of foreign national quantum programs. *Zashchita informatsii. Insayd*, 4 (100), 50–59. (In Russ.).
- Petrenko, S. A., Petrenko, A. S., & Ozhiganova, M. I. (2021). Evaluating the capabilities of quantum algorithms of cryptanalysis. *Zashchita informatsii. Insayd*, 6(102), 70–82. (In Russ.).
- Pozner, R. A. (2004). *Economic analysis of law*. In 2 vol. Vol. 1. Sankt-Peterburg: Ekonomicheskaya shkola, 2004. (In Russ.).
- Ritter, J. (2015). *The Birth of Quantum Law: A Concept Paper*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4263.7285>
- Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 379–423.
- Shor, P. (1994). Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring. *Foundations of Computer Science*, 10, 134–145. <https://doi.org/10.1109/SFCS.1994.365700>
- Shor, P. W. (1999). Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer. *SIAM J. Comput.*, 26, 1484–1509. <https://doi.org/10.1137/S0097539795293172>
- Sigov, A., Ratkin, L., & Ivanov, L. A. (2020). Quantum Information Technology. *Journal of Industrial Information Integration*, 28, 100365. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2022.100365>
- Taylor, R. D. (2020). Quantum Artificial Intelligence: A “precautionary” U.S. approach? *Telecommunications Policy*, 44(6), 101909. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2020.101909>
- Yanamadala, S., & Seema, S. (2022). Quantum dots: policy and ethics. In Yarub Al-Douri (Ed.). *Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, Graphene, Nanotubes and Quantum Dots-Based Nanotechnology* (pp. 887–899). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85457-3.00031-1>
- Yunakovskiy, S. E., Kot, M., Pozhar, N. O., Nabokov, D., Kudinov, M. A., Guglya, A., Kiktenko, E. O., Kolycheva, E. V., Borisov, A., & Fedorov, A. K. (2021). Towards security recommendations for public-key infrastructures for production environments in the post-quantum era. *EPJ Quantum Technology*, 8, 1–19. <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00104-z>

Authors information



Elizaveta A. Gromova – PhD (Law), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Entrepreneurial, Competition and Environmental Law, South Ural State University (National Research University)

Address: 78 prospekt Lenina, 454080 Chelyabinsk, Russian Federation

E-mail: gromovaea@susu.ru

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6655-8953>

Web of Science Researcher ID:

<https://www.webofscience.com/wos/author/record/AAO-8876-2020>

ScopusAuthorID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208846603>

Google Scholar ID: <https://scholar.google.com/citations?user=fDz6FkUAAAAJ&hl>

RSCI Author ID: https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=652593



Sergey A. Petrenko – Doctor of Engineering, Professor, Professor of the Department of Informational Security, Saint Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V. I. Ulyanov (Lenin); Professor, Innopolis University

Address: 1 Universitetskaya Str., 420500 Innopolis, Russian Federation

E-mail: s.petrenko@innopolis.ru

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0644-1731>

Web of Science Researcher ID:

<https://www.webofscience.com/wos/author/record/O-5049-2017>

ScopusAuthorID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57195327289>

Google Scholar ID: https://scholar.google.com/citations?user=x_gez2gAAAAJ&hl=ru

RSCI Author ID: https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=805505

Authors' contributions

Elizaveta A. Gromova performed general supervision and set the research tasks, analyzed the Russian and foreign regulation of quantum technologies.

Sergey A. Petrenko analyzed the current state of Quantum computations science and determined the prospective directions of engineering research in this sphere.

Conflict of interest

The authors declares no conflict of interest.

Financial disclosure

The research had no sponsorship.

Article history

Date of receipt – December 1, 2022

Date of approval – January 18, 2023

Date of acceptance – March 6, 2023

Date of online placement – March 10, 2023