

Междисциплинарные статьи / Interdisciplinary articles

Редактор рубрики *И. Р. Бегишев* / Rubric editor *I. R. Begishev*

Научная статья



УДК / UDC 34:530.145:004

<https://doi.org/10.21202/2782-2923.2026.2.421-439>

Р. Ю. Колобов¹

¹ Федеральный исследовательский центр «Иркутский институт химии имени А. Е. Фаворского»
Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Россия

Правовой режим разработки и внедрения квантовых технологий: российский и зарубежный опыт

Колобов Роман Юрьевич, кандидат юридических наук, доцент, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского» Сибирского отделения Российской академии наук
E-mail: roman.kolobov@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1488-7530>
Web of Science Researcher ID: H-4644-2016
Scopus Author ID: 57210558887
eLIBRARY SPIN-код: 4471-2350

Аннотация

Цель: выявление закономерностей регулирования отношений, связанных с развитием квантовых технологий в России, зарубежных странах и международной нормативной системе.

Методы: исходя из сформировавшейся фрагментарности российского регулирования и комплексных подходов в ЕС и США, автор обосновывает преимущественное использование сравнительно-правового метода как позволяющего нивелировать национальную специфику юридической техники. Применение метода проходит стадии сопоставления (выявление различий в понятийном аппарате, институциональной архитектуре и режимах экспортного контроля) и собственно сравнения, выражающегося в выявлении общих закономерностей и отличий, обусловленных национальным контекстом. Автор ставит вопрос о формировании «квантового права» как специализированного юридического дискурса, что определяет также использование системного подхода и формально-юридического анализа.

Результаты: проведенный сравнительно-правовой анализ позволил автору сформулировать следующие ответы на вопросы исследования. Во-первых, выявлена фрагментарность российского регулирования в отличие от комплексных подходов в США (закон *NOIA*) и ЕС (подготовка Европейского квантового акта). Автор обосновывает, что именно закон выполняет экспрессивную функцию, публично артикулируя приоритет квантовой сферы. Во-вторых, установлено, что во всех анализируемых правовых порядках приоритетное развитие получают квантовые коммуникации и постквантовая криптография. Автор интерпретирует это наличием экзистенциальной угрозы «сохрани сейчас – расшифруй потом» (*HNDL*). В-третьих, подтверждена тенденция сочетания мер государственной поддержки с инструментами контроля (стандартизация *NIST/ANSI*, экспортный контроль). В-четвертых, выявлена институциональная закономерность опоры на «национальных чемпионов». В-пятых, установлено возрастание роли технических стандартов как универсального регуляторного инструмента в условиях технологической неопределенности.

© Колобов Р. Ю., 2026



Научная новизна: автор обосновывает рассмотрение «квантового права» не как отрасли, а как юридического дискурса – институционально организованной коммуникации, закрепляющей нормативные смыслы и воспроизводящей легитимные процедуры аргументации в доктрине, нормотворчестве и правоприменении.

Практическая значимость: результаты могут использоваться законодателями при разработке комплексного законодательства, регуляторами – при подготовке дорожных карт постквантовой миграции (до 2030–2035 гг.), а также при внедрении экспериментальных правовых режимов.

Ключевые слова:

квантовые технологии, шифрование, квантовые вычисления, научно-техническое развитие, правовое регулирование квантовых технологий, квантовое право, квантовые коммуникации, экспортный контроль, постквантовая криптография, сравнительное правоведение, экспериментальные правовые режимы

Финансирование

Исследование выполнено в рамках исполнения государственного задания РАН № 125013001144-6.

Как цитировать статью: Колобов, Р. Ю. (2026). Правовой режим разработки и внедрения квантовых технологий: российский и зарубежный опыт. *Russian Journal of Economics and Law*, 20(2), 421–439. <https://doi.org/10.21202/2782-2923.2026.2.421-439>

Scientific article

R. Yu. Kolobov¹

¹ Federal Research Centre “A. E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry of Siberian Branch of Academy of Sciences”, Irkutsk, Russia

Legal regime for the development and implementation of quantum technologies: Russian and foreign experience

Roman Yu. Kolobov, Cand. Sci. (Law), Associate Professor, Researcher, Federal Research Centre “A. E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry of Siberian Branch of Academy of Sciences”

E-mail: roman.kolobov@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1488-7530>

Web of Science Researcher ID: H-4644-2016

Scopus Author ID: 57210558887

eLIBRARY SPIN-code: 4471-2350

Abstract

Objective: to identify patterns of regulation of relations associated with quantum technologies development in Russia, foreign countries, and the international regulatory system.

Methods: based on the shaped fragmentation of Russian regulation and integrated approaches in the EU and the USA, the author justifies the preferential use of the comparative legal method as it allows offsetting the national specifics of legal technology. The application of this method goes through the stages of comparison (identification of differences in the conceptual framework, institutional architecture and export control regimes) and the actual comparison, which is expressed in the identification of common patterns and differences in the national context. The author raises the question of the formation of “quantum law” as a specialized legal discourse, which also determines the use of a systematic approach and formal legal analysis.

Results: the comparative legal analysis allowed the author to formulate the following answers to the research questions. First, the fragmentation of Russian regulation was revealed, in contrast to the integrated approaches in the USA (NQIA law) and the EU (preparation of the European Quantum Act). The author proved that it is the law that performs an expressive function, publicly articulating the priority of the quantum sphere. Second, it was established that in all analyzed legal systems, quantum communications and post-quantum cryptography receive priority development. The author interpreted this as an existential threat of “harvest now – decrypt later” (HNDL). Third, the research confirmed the trend of combining government support measures with control tools (NIST/ANSSI standardization, export control). Fourth, the author identified the institutional

pattern of reliance on “national champions”. Fifth, he established the increasing role of technical standards as a universal regulatory tool under technological uncertainty.

Scientific novelty: the author substantiated the study of “quantum law” not as a branch, but as a legal discourse – an institutionally organized communication that consolidates normative meanings and reproduces legitimate argumentation procedures in doctrine, rulemaking and law enforcement.

Practical significance: the results can be used by legislators developing comprehensive legislation and by regulators preparing post-quantum migration roadmaps (up to 2030-2035) and implementing experimental legal regimes.

Keywords:

quantum technologies, encryption, quantum computing, scientific and technological development, legal regulation of quantum technologies, quantum law, quantum communications, export control, post-quantum cryptography, comparative law, experimental legal regimes

Financial Support

The study was conducted as part of the state assignment of the Russian Academy of Sciences No. 125013001144-6.

For citation: Kolobov, R. Yu. (2026). Legal regime for the development and implementation of quantum technologies: Russian and foreign experience. *Russian Journal of Economics and Law*, 20(2), 421–439. (In Russ.). <https://doi.org/10.21202/2782-2923.2026.2.421-439>

Введение

Целью настоящей статьи является выявление закономерностей регулирования отношений, связанных с развитием квантовых технологий, в России, зарубежных странах и международном праве. Для достижения указанной цели автором решаются следующие задачи: анализ технико-технологических особенностей квантовых технологий как фактора формирования специфических правовых режимов; выявление ключевых угроз и юридически значимых рисков, связанных с внедрением квантовых технологий; исследование подходов международных организаций к регулированию квантовых технологий; сравнительно-правовой анализ национальных моделей регулирования; определение особенностей и проблем российского правового регулирования квантовых технологий; формулирование общих закономерностей развития законодательства и правовой политики в сфере квантовых технологий.

В теоретическом плане автор отстаивает необходимость формирования юридических дискурсов, построенных вокруг отдельных технологических инноваций, в контексте настоящей статьи – квантового права. Такая постановка вопроса, разумеется, рискует вызвать критику противников «права межкомнатной перегородки» или «права лошади» (Easterbrook 1996. Р. 207), однако мы полагаем необходимой разумную концентрацию исследовательских и правотворческих усилий на отношениях, появляющихся или изменяемых конкретной технологией (формирование юридического дискурса квантового права). В современных исследованиях показывается, что традиционный отраслевой подход к регулированию отношений, связанных с искусственным интеллектом, в Европейском союзе в значительной степени ослабляется именно фрагментацией регулирования в различных «доменах» права (Neuwirth, 2025. Р. 29). Обеспечение смыслового единства в регулировании отношений, связанных с укрупненными группами технологических инноваций, позволит обеспечить и наличие специальных компетенций, поскольку выработка юридических способов регулирования таких отношений предполагает понимание принципов устройства и функционирования новых технологических решений.

Следует отметить, что идея формирования специализированных правовых режимов вокруг прорывных технологий обсуждается в зарубежной литературе применительно к таким сферам, как робототехника, искусственный интеллект и нейротехнологии. В отличие от указанных подходов настоящее исследование развивает данную концепцию применительно к квантовым технологиям как целостному объекту правового регулирования. Новизна предложенного подхода заключается в обосновании единства квантовых технологий как регуляторного кластера, выявлении специфических юридических рисков (включая угрозу криптографической устойчивости и феномен ретроактивной дешифровки), а также в демонстрации того, как формиру-

ющийся дискурс «квантового права» проявляется в конкретных инструментах регулирования – стандартизации, экспортном контроле, экспериментальных правовых режимах и политике постквантовой миграции. Дополнительный вклад исследования состоит в адаптации данной концепции к российской правовой системе и сравнительном анализе ее соотношения с зарубежными моделями регулирования.

Структура статьи обусловлена указанными целями и включает в себя обзор литературы по исследуемой теме, анализ естественно-научных основ современных квантовых технологий и специфических угроз, обусловленных их внедрением. Затем проводится детальный анализ современного нормативного регулирования квантовых технологий в международной нормативной системе и в развитых зарубежных правовых порядках (США, ЕС и Франции).

Обзор литературы. Естественно-научные основы квантовых технологий в современной литературе описаны более чем полно. Базовые категории квантовой механики – квантовые состояния и процедуры измерения, связь результатов с выбранным измерительным протоколом, а также формализация операций и «вмешательства» измерения – развернуто представлены в учебно-обобщающих и фундаментальных работах (Paris, 2012; Ozawa, 2001). Переход от квантовых эффектов как «фоновых» явлений к инженерному управлению когерентностью и запутанностью (так называемая вторая квантовая революция) концептуально закреплен в обзорах (Dowling & Milburn, 2003; Deutsch, 2020). Отдельно подчеркнем, что вопрос о границах проявления квантовости в реальных условиях эксплуатации – через декогеренцию и взаимодействие со средой – детально и системно разобран в крупном обзоре (Schlosshauer, 2019), что важно для последующих юридических выводов о воспроизводимости характеристик, надлежащих испытаниях и доказуемости заявленных свойств устройств. Отдельный слой источников посвящен угрозам и рискам внедрения квантовых технологий, прежде всего переходу к криптографическим средствам, устойчивым к атакам с использованием квантовых вычислений, и управлению таким переходом в критической инфраструктуре. Подходы к оценке рисков и построению стратегии перехода к «квантово устойчивой» криптографии систематизированы в прикладных работах по риск-менеджменту информационной безопасности (Baseri et al., 2025). В европейской повестке отдельно анализируются риски и преимущества использования инфраструктуры цифровой идентификации и доверительных сервисов как «транспортного слоя» для внедрения квантово устойчивых решений (Comandè & Varilek, 2024). Франкоязычная литература дополнительно фиксирует ретроактивные риски компрометации конфиденциальности при длительном сроке охраны данных (включая сценарии накопления зашифрованных массивов для последующей расшифровки после появления достаточных квантовых вычислительных мощностей) (Maurel, 2023; Abelard & Perret, 2025). Наконец, отдельное направление связывает квантовую угрозу с распределенными реестрами и блокчейн-системами, включая анализ уязвимостей и возможных архитектурных ответов (Yi, 2023; Khodaiemehr et al., 2026). Правовое регулирование квантовых технологий в зарубежной юридической литературе и в исследованиях технологической политики чаще всего обсуждается через рискориентированный подход и через вопросы государственного управления научно-технологическим развитием: как снижать неопределенность, как выделять критические элементы цепочек поставок, как задавать приоритеты стандартизации и требований к безопасности. В этой логике заметное место занимает работа Dekker & Martin-Bariteau (2023), предлагающая повестку регулирования квантовых технологий через управляемые риски и пропорциональные меры. Европейская дискуссия о возможном общеевропейском законодательном акте в сфере квантовых технологий и о применимости «уроков» глобальных дебатов по регулированию искусственного интеллекта представлена у Neuwirth (2025). Внешнеэкономический и индустриально-политический контур (в частности, идея технологической автономии и баланс открытости и защищенности) раскрывается в исследованиях эволюции торговой политики Европейского союза (Schmitz & Seidl, 2023). Теоретико-методологический фон анализа дополняют работы о социальных механизмах действия права и символической роли правовых установлений (Bourdieu, 1986; Funk, 2007; Mulder et al., 2024), а также классическая постановка предостережения против преждевременного «выделения» новых отраслей на примере «права лошади» (Easterbrook, 1996), что важно для корректного обоснования предмета формирующегося юридического дискурса квантового права. В российской доктрине заслуживает особого внимания вклад кафедры информационного права и цифровых технологий Университета имени О. Е. Кутафина (Добробаба и др., 2022; Евсиков, 2022, 2024; Холодная, 2022). Публикации представителей кафедры соединяют технологическую специфику (инфраструктура квантовой связи, вопросы безопасности и стандартизации) с анализом юридических конструкций и задач публичного управления.

Результаты исследования

Квантовое право: технико-технологический аспект

Детальный разбор принципов квантовой механики, разумеется, не входит в предмет настоящего исследования; они подробно изложены в специализированной научной и научно-популярной литературе. Вместе с тем для целей настоящей работы необходима фиксация исходных положений квантовой механики как физической теории, позволяющих корректно понимать природу и границы применимости квантовых технологий.

Во-первых, квантовая система описывается состоянием, но это не перечень заранее заданных свойств объекта. Обычно предполагается, что у объекта уже есть точные значения параметров, а прибор их лишь выявляет. В квантовой механике во многих ситуациях корректнее говорить иначе: состояние задает, какие результаты могут быть получены и с какими вероятностями при выбранной процедуре измерения. Поэтому одни и те же слова («точность», «вероятность обнаружения», «ошибка») в квантовом контексте относятся не к бытовой неопределенности, а к формализованной статистике, зависящей от способа проверки (Paris, 2012. Рр. 61–62).

Во-вторых, измерение в квантовой механике – это не нейтральная «проверка», а физическое взаимодействие прибора с системой. Измерение не является простым обнаружением заранее заданного значения величины: выбранная измерительная процедура определяет набор возможных исходов и их вероятности, а также влияет на последующее состояние системы. Таким образом, измерение не является простым считыванием предсуществующего значения, оно определяет набор возможных исходов и распределение вероятностей, а взаимодействие при измерении изменяет состояние системы (Ozawa, 2001). В прикладном плане это означает, что «протокол контроля» и «условия теста» – не внешние формальности, а часть того, что именно будет зафиксировано как результат. Отсюда следуют практические требования к испытаниям и сертификации: нужно описывать не только *что* измеряли, но и *как* измеряли, с какими ограничениями по повторяемости и допустимому вмешательству.

В-третьих, важно понимать, почему квантовые эффекты редко проявляются в повседневной жизни. Одним из ключевых механизмов объяснения этого факта является механизм декогеренции: реальная система практически всегда взаимодействует с окружением (тепло, вибрации, электромагнитный фон и т. п.). В результате формируются корреляции между системой и средой, и эффекты интерференции становятся практически ненаблюдаемыми; поведение приближается к классическому. Существенно, что для этого не требуется чьего-то «наблюдения»: достаточно самого факта взаимодействия со средой, которое подавляет интерференцию (Schlosshauer, 2019).

В историографии и научной публицистике применение принципов квантовой механики в устройствах нередко связывают с двумя «квантовыми революциями». Первая связана с формированием квантовой механики и последующим применением ее постулатов в создании прорывных технологий, определивших развитие человечества в XX в.: полупроводниковых приборов, микропроцессоров, лазеров и др. (Dowling & Milburn, 2003. Рр. 1655–1656).

Вторая квантовая революция описывает сдвиг от технологий, основанных на усредненных квантовых эффектах, к технике, где объектом управления становится индивидуальное квантовое состояние и его свойства – прежде всего когерентность и запутанность. Квантовые состояния рассматриваются как инженерный ресурс, который можно целенаправленно подготавливать, преобразовывать и считывать в повторяемых протоколах. В литературе это фиксируется как переход к квантовой инженерии и квантово-информационному подходу, где ключевым становится масштабируемый контроль над сложными квантовыми системами (Dowling & Milburn, 2003. Рр. 1656–1657; Deutsch, 2020). Описанные новые подходы к прямому управлению квантовыми состояниями на прикладном уровне выражаются в различных технологиях, таксономия которых обладает достаточной устойчивостью, хотя может и отличаться в зависимости от региона и целей технологической политики. Наиболее распространенным является подразделение технологий на три класса: квантовые вычисления, квантовые коммуникации и квантовые сенсоры и метрология.

Квантовые вычисления представляют собой наиболее ресурсоемкий и освещенный в медиа сегмент. Его классификация проводится по двум критериям: вычислительной модели и аппаратной платформе. По первому критерию типология распадается на три вида. Во-первых, универсальные квантовые вычисления на основе вентилей (англ. *Gate-based Universal Quantum Computing*), выполняющие произвольные квантовые алгоритмы путем последовательного применения логических операций (вентилей) к кубитам. Во-вторых, квантовая симуляция,

часто выделяемая в отдельный класс¹, создающая управляемую квантовую систему, динамика которой настроена так, что она имитирует другую, сложную для изучения систему. Симулятор может не быть универсальным компьютером, но он способен решать конкретные задачи физики твердого тела и химии уже сегодня. Например, такой подход используется при изучении поведения электронов в железе. Прямое исследование этих процессов невозможно, поскольку в реальном образце металла содержатся миллиарды миллиардов электронов и их взаимодействия слишком сложны для описания (Fauseweh, 2024). Вместо этого создается симулятор – система ультрахолодных атомов, затвердевших в оптической решетке, созданной лазерными лучами. Эта система устроена совершенно иначе, чем железо, но математические уравнения, описывающие ее поведение, идентичны тем, которые описывают электроны в кристалле. Когда исследователи включают лазеры и регулируют их параметры, атомы начинают развиваться именно так, как развивались бы электроны в железе – но теперь ученые могут их видеть, контролировать и измерять (Xu et al., 2025. Pp. 332–334; Bloch et al., 2008. Pp. 910–925). Таким образом, одна реальная квантовая система используется для воспроизведения поведения другой реальной квантовой системы.

В-третьих, это использование так называемого квантового отжига (англ. *quantum annealing*). Это специализированный тип квантовых вычислений, предназначенный исключительно для решения задач оптимизации, где требуется найти наилучшее (минимальное или максимальное) значение целевой функции среди огромного числа возможных вариантов. В отличие от универсальных квантовых компьютеров (англ. *gate-based*), которые способны выполнять любые алгоритмы подобно классическим, но с квантовым ускорением, квантовый отжиг работает по принципу постепенного «охлаждения» системы: он использует квантовые эффекты (суперпозицию и туннелирование), чтобы система эволюционировала из простого начального состояния к состоянию с минимальной энергией, соответствующему оптимальному решению задачи. Такие системы (например, компьютеры *D-Wave*) не могут запускать произвольные квантовые алгоритмы, поэтому их рассматривают отдельно от универсальных квантовых вычислителей (Quinton et al., 2025).

Основным функциональным делением технологий квантовой коммуникации является квантовое распределение ключей (англ. *QKD – Quantum Key Distribution*), квантовая генерация случайных чисел (англ. *QRNG – Quantum Random Number Generator*) и квантовые сети. *QKD* объединяет семейство протоколов, позволяющих двум сторонам сформировать общий симметричный криптографический ключ за счет передачи квантовых состояний по квантовому каналу и последующей обработки по классическому аутентифицированному каналу. Принципиально важно, что попытки перехвата/измерения вносят статистически обнаруживаемые искажения, что позволяет выявлять вмешательство и получать секретный ключ после процедур коррекции ошибок и сокращения утечки (англ. *privacy amplification*) (Pirandola et al., 2020; Scarani et al., 2009). *QRNG*, в отличие от распределения ключей, нацелена на получение первичной случайности из фундаментально вероятностных квантовых процессов с последующей оценкой энтропии и экстракцией случайности, чтобы обеспечить криптографически пригодные случайные биты (Herrero-Collantes & García-Escartín, 2017; Ma et al., 2016).

Квантовые сети (часто описываемые как основа будущего «квантового интернета») образуют инфраструктуру для распределения квантовых состояний и/или запутанности между узлами; ключевыми механизмами здесь выступают распределение запутанности, квантовая телепортация и масштабирование на большие расстояния за счет квантовых повторителей и квантовой памяти. В таком контуре *QKD* может рассматриваться как одно из прикладных направлений, тогда как квантовые сети поддерживают более широкий класс сетевых квантовых задач и межузловых взаимодействий (Kimble, 2008; Simon, 2017; Wehner et al., 2018).

Самую разнородную группу представляет собой квантовая сенсорика и метрология. Классификации этих технологий строятся по измеряемой физической величине. Широко распространенными на настоящий день являются технологии высокоточного времени и частоты, в которых квантовые переходы в атомах или ионах используются как эталон. Результатом их применения является сверхточная синхронизация, в том числе для сетей связи, навигации, научных измерений (Ludlow et al., 2015; Riehle, 2015). Квантовая гравиметрия и инерциальные сенсоры находят применение в геофизике и инженерных обследованиях, а также в сфере навигации, когда ценны автономность и высокая стабильность измерений (Vovrosh et al., 2023). Квантовые магнитометры измеряют магнитные поля с высокой чувствительностью. Квантовая визуализация и квантовое изображение (англ. *quantum imaging*) представляют собой технологии использования неклассических свойств света для повышения информативности изображения, работы при слабом освещении либо представляют

¹ Например: European Commission. (2018). Quantum Technologies Flagship: Strategic Research Agenda.

собой новые режимы визуализации и микроскопии (Defienne et al., 2024). К примеру, в области медицины активно развивается технология квантово усиленной микроскопии мозга, качественно отличающейся от существующих способов (Fascio, 2024).

Таким образом, в настоящем исследовании под квантовыми технологиями понимается совокупность научно-технических решений и инженерных систем, основанных на управляемом использовании квантово-механических эффектов (суперпозиции, запутанности и квантового измерения) для обработки, передачи и измерения информации, применяемых в квантовых вычислениях, коммуникациях и сенсорике и формирующих новые юридически значимые риски.

Угрозы, вызванные развитием квантовых технологий

Развитие квантовых технологий порождает специфический комплекс угроз, требующий переосмысления институтов как информационной безопасности, так и частного права. Ключевая техническая уязвимость современного цифрового пространства заключается в том, что практически вся актуальная криптографическая защита, обеспечивающая юридически значимый оборот данных, базируется на вычислительной сложности определенных математических задач, таких как факторизация больших целых чисел (англ. *RSA – Rivest, Shamir, and Adleman*) или дискретное логарифмирование в группах точек эллиптических кривых (англ. *ECDSA – Elliptic Curve Digital Signature Algorithm*). Появление криптографически релевантного квантового компьютера (англ. *CRQC – Cryptographically Relevant Quantum Computer*) делает эти задачи решаемыми за полиномиальное время благодаря алгоритму Шора (Shor, 1997. Pp. 1484–1485). С юридической точки зрения это означает риск коллапса систем электронной подписи, банковских транзакций и защищенных государственных реестров, так как доказательственная сила цифровых документов опирается на предпосылку о невозможности подделки закрытого ключа в разумные сроки (Baseri et al., 2025. Pp. 1–2). Как подчеркивают исследователи, без своевременной миграции на новые стандарты вся система цифрового доверия, выстраиваемая десятилетиями, рискует «сложиться как картонный домик» (Comandè & Varilek, 2024. P. 5).

Особую опасность представляет стратегия ретроактивной дешифровки, известная как «сохрани сейчас, расшифруй потом» (англ. *Harvest Now, Decrypt Later – HNDL*). В европейской правовой и экспертной дискуссии эта модель описывается как «ретроактивные атаки» (фр. *attaques rétroactives*), суть которых заключается в массовом перехвате и хранении зашифрованных данных (фр. *capturer et stocker*) с целью их дешифровки после появления достаточно мощных квантовых вычислителей (Maurel, 2023. P. 9; Abelard & Perret, 2025. P. 39). Это создает беспрецедентный риск нарушения режима адвокатской, медицинской или государственной тайны, поскольку обязательства по соблюдению конфиденциальности часто носят долгосрочный характер. Кроме того, квантовые технологии ставят под удар децентрализованные системы и блокчейн-протоколы. Алгоритм Гровера, позволяющий ускорить поиск в неупорядоченных базах данных, потенциально ослабляет симметричное шифрование и хеш-функции, что требует увеличения размера ключей для сохранения прежнего уровня безопасности (Khodaiemehr et al., 2026. Pp. 20–21). Квантовые атаки могут привести к серьезным имущественным потерям и компрометации безопасности верификации в распределенных блокчейн-сетях (Yi, 2023). Систематизация угроз также включает риск «квантового разрыва» и монополизации доступа к квантовым вычислениям как услуге (англ. *Quantum-Computing-as-a-Service, QCaaS*). Технологическая сложность и высокая стоимость создания квантовых систем в сочетании с доминированием ограниченного круга корпораций могут привести к концентрации возможностей ретроспективного дешифрования классического трафика, что создает риски для цифрового суверенитета и усугубляет глобальное технологическое неравенство (Dekker & Martin-Bariteau, 2023. Pp. 182–185).

Квантовые технологии в актах международных организаций

Одной из наиболее известных форм политического признания важности развития квантовых технологий является Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН от 7 июня 2024 г.², провозгласившая 2025 год Международным годом квантовой науки и техники. Как указывается в документе ЮНЕСКО, оформляющем предложе-

² ООН. (2024). Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 7 июня 2024 года. <https://docs.un.org/ru/A/RES/78/287>

ние о провозглашении «квантового года» (решение Исполнительного Совета № 216 EX/37), эта инициатива получила поддержку ведущих научных институтов и государств – членов организации³. В числе документов, выражающих видение ЮНЕСКО проблем, связанных с развитием квантовых технологий, выделяется доклад программы «Информация для всех» (англ. *IFAP – Information for All Programme*) «Глобальное управление квантовыми технологиями, ориентированное на права человека: продвижение информации для всех». Повторяя уже описанные угрозы, связанные с риском компрометации алгоритмом шифрования и нарушения тайны личной жизни, доклад отмечает и серьезные геополитические риски, связанные с концентрацией квантовых мощностей в отдельных государствах и компаниях и усилением глобального неравенства по линии Глобального Севера и Юга.

В актах Организации экономического сотрудничества и развития (далее – ОЭСР) регулирование квантовых технологий раскрывается в различных документах. Вводный обзор (англ. *policy primer*) поддерживает базовую классификацию квантовых технологий на сенсорика, вычисления и коммуникацию, подчеркивая, что первая область является наиболее зрелой⁴. Этот документ отличается более детальной проработкой отдельных возможных сфер применения анализируемых технологий. К примеру, в нем отмечается, что квантовое моделирование способно совершить прорыв в производстве аммиака для азотных удобрений, на которое сегодня тратится 2 % мирового потребления энергетических ресурсов⁵.

В обзоре приводятся осторожные оценки государственных инвестиций в развитие сектора квантовых технологий, к примеру, в отношении Китая приводится «вилка» от 4 до 17 млрд долларов. Отмечается и проблематика «квантового неравенства», поскольку из стран группы *G77*, только Индия и Сингапур имеют собственные программы развития квантовых технологий. Помимо указанного вводного обзора, ОЭСР в декабре 2025 г. опубликован обзор глобальной квантовой экосистемы⁶. Согласно представленному анализу в ядре экосистемы квантовых технологий находятся 830 компаний⁷, при этом около 60 % всех мировых инвестиций в квантовую сферу направляются в компании, базирующиеся в США, хотя в этой стране сосредоточено лишь около 30 % патентов и стартапов⁸. С точки зрения кадровой обеспеченности отмечается появление на рынке труда спроса на новые специфические навыки, например, квантовую коррекцию ошибок и квантовое машинное обучение⁹, при этом спрос на специалистов в области фотоники растет быстрее других смежных направлений¹⁰. В области внешнеторговой политики отмечена технологическая зависимость от Китая¹¹.

К анализируемому наднациональному уровню необходимо отнести и право Европейского союза. Рассмотрение подходов ЕС к рассматриваемой сфере отношений представляет интерес по причине наличия развитой системы юридических текстов, отражающих проблематику развития квантовых технологий. Нельзя сбрасывать со счета и так называемый эффект Брюсселя (англ. *Brussels effect*), выражающийся в том, что вводимые в ЕС регуляторные решения имеют тенденцию существенно влиять на нормативные подходы других стран (Bradford, 2012).

Одним из первых документов, обеспечивших объединение усилий в сфере развития квантовых технологий, является Декларация о сотрудничестве, подписанная в Бухаресте 13 июня 2019 г.¹² Этот документ заложил основы создания Европейской квантовой коммуникационной инфраструктуры (англ. *European quantum communication infrastructure – EuroQCI*), которая перешла к стадии реализации через финансируемые проекты ЕС. На практике это означает выделение средств на создание элементов квантово защищенной связи – прежде

³ ЮНЕСКО. (2023). Предложение о провозглашении Организацией Объединенных Наций 2025 года Международным годом квантовой науки и технологии. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386253_rus

⁴ OECD. (2025). A quantum technologies policy primer. [https://one.oecd.org/document/DSTI/DPC/STP\(2024\)3/FINAL/en/pdf](https://one.oecd.org/document/DSTI/DPC/STP(2024)3/FINAL/en/pdf)

⁵ Там же. Р. 17.

⁶ OECD. (2025, December). Mapping the global quantum ecosystem. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/12/mapping-the-global-quantum-ecosystem_47891dd2/20251217-0001.pdf

⁷ Там же. Р. 16.

⁸ Там же. Р. 18.

⁹ Там же. Р. 96.

¹⁰ Там же. Р. 97.

¹¹ Там же. Р. 22.

¹² Declaration of Cooperation. (2019). Digital Assembly, 2019, 13–14 June, Bucharest. https://mirri.gov.sk/wp-content/uploads/2019/12/SignedQuantumDeclarationofCooperation_DigitalAssembly2019-12.pdf

всего соединений между национальными сегментами и инфраструктурных компонентов, необходимых для дальнейшей интеграции общеевропейской квантовой инфраструктуры связи с системой *IRIS*¹⁵.

Пожалуй, наиболее общим документом политического характера является Европейская декларация по квантовым технологиям¹⁴. Этот документ выражает амбициозное намерение государств – участников Союза превратить Европу в «квантовую долину мира». Обращает на себя внимание и признание квантовых технологий приоритетными условиями для обеспечения суверенитета Европейского союза¹⁵. К числу механизмов, используемых для достижения этой цели, относятся развитие инфраструктуры, создание квантовых кластеров, разработка мер по подготовке специализированных кадров и др.

Гораздо более конкретные меры закрепляются в Стратегии «Квантовая Европа в меняющемся мире»¹⁶. Признавая, что Европа исторически является родиной основоположников квантовых теорий, Стратегия содержит достаточно откровенные оценки об отставании ЕС от основных конкурентов в рассматриваемой сфере. Регион занимает третье место по числу патентов, уступая Китаю и США¹⁷, при этом недостаточная координация ведет к неэффективному использованию ресурсов и, несмотря на значительные инвестиции (11 млрд евро), наблюдается фрагментация усилий. Показательны и величины привлекаемого частного финансирования – в Стратегии указывается, что европейские проекты привлекают всего 5 % мирового частного капитала, в то время как американские – 50 %¹⁸.

Ответом на эти вызовы является разработка пяти направлений концентрации усилий. Во-первых, усиление координации научно-исследовательской деятельности за счет разработки в 2026 г. «Квантового акта» – европейского регламента (акта прямого действия), непосредственно регулирующего сферу разработки и использования квантовых технологий. Во-вторых, развитие инфраструктуры вычислений и связи, которые позволят в 2035 г. создать системы масштаба тысячи кубитов с коррекцией ошибок, необходимых для решения прикладных задач¹⁹. В-третьих, создание экосистемы развития квантовых технологий²⁰. В рамках реализации политики «из лаборатории на фабрику» (англ. *from lab to fab*) ЕС планирует запуск шести пилотных линий по производству квантовых чипов²¹. Четвертым направлением является интеграция квантовых инноваций с космическими и военными технологиями, прежде всего в рамках создания сверхзащищенных каналов связи и квантовой навигации. Пятое направление – подготовка специалистов в области квантовых технологий, одним из основных средств реализации которой станет виртуальная Европейская квантовая академия²².

К числу источников права в собственном смысле, закладывающих основы разработки квантовых технологий в ЕС, относится Регламент Европейского Парламента и Совета от 15 марта 2023 г., учреждающий Программу Союза по безопасной связи на период 2023–2027 гг.²³ Этот документ содержит различные положения, направленные на включение *EuroQCI* в состав государственной инфраструктуры и ее дальнейшее развитие. В секторе криптографии одним из основных документов прикладного характера, направленных на смягчение последствий внедрения квантовых вычислений для шифрования, является Дорожная карта перехода к постквантовой крипто-

¹⁵ EU. (2025, November 20). Cable, 5G and quantum communications set for €389 million investment in CEF Digital programme. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/cable-5g-and-quantum-communications-set-eu389-million-investment-cef-digital-programme>; EU. (2025, November 20). 56 projects selected for €389 million under 4th CEF Digital calls. https://hadea.ec.europa.eu/news/56-projects-selected-eu389-million-under-4th-cef-digital-calls-2025-11-20_en

¹⁴ EU. (2023, December 6). European Declaration on Quantum Technologies. <https://ec.europa.eu/newsroom/dae/redirection/document/100585>

¹⁵ Не менее интересен и факт употребления термина «суверенитет», поскольку обычно в документах ЕС используется выражение «стратегическая автономия» (Schmitz & Seidl, 2023).

¹⁶ EC. (2025). Communication from the Commission to the European Parliament and the Council: Quantum Europe Strategy: Quantum Europe in a Changing World. Brussels, 2.7.2025 COM(2025) 363 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A52025DC0363>

¹⁷ Там же. Р. 1.

¹⁸ Там же. Р. 13.

¹⁹ Там же. Р. 6.

²⁰ Там же. Р. 11.

²¹ Там же. Р. 12.

²² Там же. Р. 17.

²³ EU. (2022). Regulation (EU) 2023/588 of the European Parliament and of the Council of 15 March 2023 establishing the Union Secure Connectivity Programme for the period 2023–2027. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/588/oj/eng>

графии²⁴. До конца 2026 г. все страны ЕС должны разработать национальные планы перехода к постквантовому шифрованию, к 31 декабря 2030 г. – завершить переход к такому шифрованию для высокорисковых областей, к концу 2035 г. – для областей среднего риска и по возможности малого риска. Наиболее амбициозной инициативой в рассматриваемой сфере является подготовка «Европейского квантового акта», разработка которого, как отмечалось ранее в настоящей статье, ожидается в 2026 г. Согласно открытым подготовительным материалам²⁵, этот документ будет направлен на решение трех основных проблем. Во-первых, это фрагментация исследовательской и инновационной деятельности, выражающаяся в разрозненных действиях, слабом трансфере технологий из научно-исследовательской сферы в промышленность, неравное распределение доступа к технологии и компетенций. Во-вторых, наращивание промышленных мощностей и привлечение инвестиций. Наконец, третье направление – это обеспечение производственных цепочек и устранение пробелов в управлении.

Национальное регулирование квантовых технологий в зарубежных странах

Зарубежные государства по-разному подходят к регулированию отношений, связанных с развитием квантовых технологий. В настоящем исследовании по указанному вопросу будут исследованы правовые системы Соединенных Штатов Америки и Франции. Правовые системы этих стран принадлежат к разным правовым семьям, отличаются и подходы к организации научной и технико-внедренческой деятельности.

В правовой системе США «квантовая проблематика» на уровне федерального законодательства представлена в трех нормативных актах. Основным из них является Закон о национальной квантовой инициативе (англ. *National Quantum Initiative Act – NQIA*)²⁶. Этот нормативный акт переводит развитие квантовых технологий из общеполитических заявлений в режим государственной программы. Он закрепляет цели и распределение функций между федеральными органами исполнительной власти, предусматривает механизмы координации их усилий²⁷ и закрепляет необходимость создания междисциплинарных исследовательских центров. Закон «О чипах и науке» (англ. *CHIPS and Science Act*)²⁸ встраивает квантовые технологии в более широкий контекст промышленной и научной политики США. Внесенные им изменения в *NQIA* создали правовую основу для развития квантовых коммуникаций, распределенных квантовых вычислений и защищенных квантовых каналов связи (§ 10104). Закон о готовности кибербезопасности к квантовым вычислениям (англ. *Quantum Computing Cybersecurity Preparedness Act*)²⁹ фиксирует третью линию регулирования – противодействие угрозам в сфере криптографии. Закон ориентирует гражданские федеральные ведомства на инвентаризацию и планирование миграции криптографических средств, уязвимых для будущих квантовых вычислений, т. е. задает правовую обязанность готовиться к переходу на квантово устойчивые решения (англ. *post-quantum cryptography*).

На уровне подзаконного регулирования выделяется Исполнительный указ Президента США № 14144 о кибербезопасности³⁰, который усиливает меры по защите федеральной цифровой инфраструктуры и поддерживает переход к квантово устойчивой криптографии. В прикладном смысле важное значение имеют документы, переводящие общие предписания законов в конкретные обязанности министерств. Например, меморандум М-23-02 Административно-бюджетного управления США предписывает проводить подготовительные мероприятия к предстоящему переходу на технологии постквантового шифрования³¹.

²⁴ EU. (2025, June 11). A Coordinated Implementation Roadmap for the Transition to Post-Quantum Cryptography. <https://ec.europa.eu/newsroom/dae/redirection/document/117507>

²⁵ EC. (2025). Call for Evidence for Impact Assessment. https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/15512-EU-Quantum-Act_en

²⁶ National Quantum Initiative Act, Pub. L. 115–368. (2018). <https://www.congress.gov/115/plaws/publ368/PLAW-115publ368.pdf>

²⁷ Прежде всего Национальный квантовый координационный офис.

²⁸ An Act Making appropriations for Legislative Branch for the fiscal year ending September 30, 2022, and for other purposes. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/PLAW-117publ167/pdf/PLAW-117publ167.pdf>

²⁹ An Act to encourage the migration of Federal Government information technology systems to quantum-resistant cryptography, and for other purposes. <https://www.congress.gov/117/plaws/publ260/PLAW-117publ260.pdf>

³⁰ Strengthening and Promoting Innovation in the Nation's Cybersecurity. <https://www.federalregister.gov/documents/2025/01/17/2025-01470/strengthening-and-promoting-innovation-in-the-nations-cybersecurity>

³¹ Executive office of the President. (2022, November 18). Memorandum for the Heads of Executive Departments and Agencies. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/11/M-23-02-M-Memo-on-Migrating-to-Post-Quantum-Cryptography.pdf>

Наконец, одной из характерных черт американского подхода к снижению угроз, обусловленных развитием квантовых вычислений, является смещение регулирования в плоскость технического нормирования. Ключевую роль в нем выполняет Национальный институт стандартов и технологии (англ. *National Institute of Standards and Technology, NIST*), разработавший федеральные стандарты постквантового шифрования. Стандарт *FIPS 203* для механизма установления (инкапсуляции) ключей предназначен для замены квантово уязвимых подходов в типовых протоколах защищенной связи³². Стандарт *FIPS 204* для цифровой подписи на решетках (англ. *Module-Lattice-Based Digital Signature Standard, ML-DSA*) должен лечь в основу юридически значимого электронного документооборота и аутентификации в условиях перехода к постквантовому шифрованию³³. Стандарт *FIPS 205* для цифровой подписи на основе хеш-функций (англ. *Stateless Hash-Based Digital Signature Standard, SLH-DSA*) предназначен для формирования квантово устойчивых электронных подписей в сценариях, где требуются высокая криптографическая надежность и долгосрочная проверяемость³⁴.

Одним из европейских лидеров в области развития квантовых технологий является Франция. В третьем десятилетии XXI в. двое граждан этой страны получили Нобелевскую премию по физике за фундаментальные исследования квантовых явлений: Ален Аспе в 2022 г. (Dalibard & Gigan, 2022) и Мишель Деворэ в 2025 г. (Gibney & Castelvocchi, 2025). В правовой системе Франции квантовая повестка выражена не в отдельном специализированном законе, а через связку документов политического и программного характера, смежного законодательства в области оборонного планирования и технического регулирования в криптографической сфере.

Политическую основу развития отрасли обеспечивает национальная стратегия по квантовым технологиям (фр. *plan quantique*), объявленная Президентом Франции в 2021 г. на выступлении в Университете Париж-Сакле³⁵. В стратегии заявлено о выделении 1,8 млрд евро, 1 млрд из которых выделяется напрямую государством.

Организационно стратегия строится на двух столпах (фр. *piliers*): реализации глобальной технической программы и укреплении французской инновационной экосистемы в европейском контексте, в частности путем развития человеческого капитала, обучения и привлечения лучших специалистов. При этом, как подчеркнул Э. Макрон, государство намерено финансировать все направления развития квантовых технологий, чтобы минимизировать риски последующего отставания. В этом контексте обращает на себя внимание подчеркивание «права на ошибку»³⁶. Объявленные обязательства по финансированию включают около 750 млн евро на развитие квантовых компьютеров, 325 млн евро на направление квантовых коммуникаций, 250 млн – квантовые сенсоры, 150 млн – постквантовую криптографию и 300 млн – на вспомогательное оборудование. К числу системных проблем отнесены низкая оплата труда молодых ученых и бюрократическая нагрузка. В числе мер, направленных на решение этих проблем, объявлено выделение средств на 100 докторских диссертаций и 50 позиций «постдок» ежегодно в течение как минимум пяти лет, а также использование новых механизмов оплаты труда с более высокими вознаграждениями. Практическая реализация поставленных целей происходит через инвестиционную архитектуру программ *France 2030*³⁷ и *PIA4*³⁸. Отдельный уровень поддержки развития квантовых технологий представлен контуром безопасности и обороны. Закон о планировании обороны

³² U.S. Department of Commerce. (2024). Module-Lattice-Based Key-Encapsulation Mechanism Standard. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/fips/nist.fips.203.pdf>

³³ U.S. Department of Commerce. (2024). Module-Lattice-Based Digital Signature Standard. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/fips/nist.fips.204.pdf>

³⁴ U.S. Department of Commerce. (2024). Stateless Hash-Based Digital Signature Standard. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/fips/nist.fips.205.pdf>

³⁵ Présidence de la République (Élysée). (2021, Jan. 21). Présentation de la stratégie nationale sur les technologies quantiques. <https://www.elysee.fr/emmanuel-macron/2021/01/21/presentation-de-la-strategie-nationale-sur-les-technologies-quantiques>

³⁶ «...французское недоверие сопровождается также постоянным преследованием ошибок. Мы стали нацией из 66 миллионов прокуроров. Так не справляются с кризисами и не двигаются вперед. И так, каждый из нас каждый день совершает ошибки. Тот, кто не совершает ошибок, – это тот, кто не ищет, не делает ничего или механически повторяет то же самое, что и вчера» (фр. *la défiance française c'est aussi cette espèce de traque incessante de l'erreur. Nous sommes devenus une nation de 66 millions de procureurs. Ce n'est pas comme ça qu'on fait face aux crises ou qu'on avance. Et donc chacun fait des erreurs chaque jour. Celui qui ne fait pas d'erreur ou celle qui ne fait pas d'erreur c'est celui ou qui ne cherche pas, ou qui ne fait rien, ou qui mécaniquement fait la même chose que la veille.*)

³⁷ Основная программа инновационного развития Франции.

³⁸ Четвертое поколение программ «Инвестиции в будущее» (Programme d'investissements d'avenir).

государства³⁹ относит исследования в области фундаментальной и прикладной физики квантов к условиям обеспечения превосходства французской армии. В рамках десятимиллиардного бюджета на военные инновации планируется освоение новых прорывных технологий, к числу которых относятся квантовые вычисления, развитие квантовых датчиков и постквантовая криптография. Наконец, как и в американском правовом порядке, наблюдается развитие технического регулирования, прежде всего в сфере криптографии и кибербезопасности. Основную функцию в формировании технических стандартов играет Национальное агентство безопасности информационных систем (*Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information – ANSSI*)⁴⁰.

Квантовые технологии в правовой системе Российской Федерации

В российской правовой системе отношения по развитию квантовых технологий пока не оформлены как единый предмет правового регулирования: они распределены между стратегическими документами и технологической политикой, отраслевыми режимами связи и защиты информации, инструментами поддержки научно-технологического развития, техническим регулированием и стандартизацией, а также режимами безопасности (включая экспортный контроль и защиту критической информационной инфраструктуры). Такое «расслоение» ожидаемо: на ранней стадии внедрения государство, как правило, фиксирует приоритеты и институциональную архитектуру быстрее, чем формирует устойчивые материальные нормы для создания и оборота технологий.

Начало третьего десятилетия отмечено комплексным развитием российского законодательства о технологическом развитии. Экосистема Федерального закона «О технологической политике в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»⁴¹ задает систему общих категорий, вписывающих технологии, основанные на квантовых эффектах, в систему нормативного регулирования и государственной поддержки. Ключевыми понятиями в этой сфере являются, как известно, критические и сквозные технологии, закрепляемые на уровне нормативного регулирования в отдельных перечнях и программах. Обращает на себя внимание и отдельное закрепление в указанном федеральном законе права на обоснованный риск при оценке эффективности финансирования проекта развития технологий (ст. 24), являющегося выражением «права на ошибку», о котором шла речь при анализе зарубежных правовых порядков. На момент проведения настоящего исследования формирование подзаконного регулирования в этой сфере еще продолжается, что типично для законов, задающих рамочную архитектуру.

На уровне актов Президента РФ выделяется Указ от 18.06.2024⁴², которым технологии защищенных квантовых систем передачи данных отнесены к критическим технологиям.

На уровне актов Правительства РФ Концепция технологического развития на период до 2030 г.⁴³ задает принципы и цели технологического развития, внутри которых отдельные «пакеты» критических и сквозных технологий получают развитие через отраслевые и межотраслевые инструменты (включая дорожные карты и институты поддержки).

При этом квантовая повестка в российской системе заметно дифференцирована по сегментам. Так, правовой (и квазиправовой) контур квантовых коммуникаций в последние годы получил более выраженную формализацию через Концепцию регулирования отрасли квантовых коммуникаций в Российской Федерации до 2030 г.⁴⁴ Тем самым коммуникационный сегмент, в отличие от вычислительного и сенсорного, оказался «юридически подсвечен» именно в правовых категориях: через барьеры, требования, меры и инструменты регулирования. Регулятивная конкретизация обеспечивается в основном подзаконными актами, зачастую

³⁹ LOI n° 2023-703 du 1er août 2023 relative à la programmation militaire pour les années 2024 à 2030 et portant diverses dispositions intéressant la défense. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000047914986>

⁴⁰ ANSSI. (2022). Avis de l'ANSSI sur la migration vers la cryptographie post-quantique <https://messervices.cyber.gouv.fr/documents-guides/anssi-avis-migration-vers-la-cryptographie-post-quantique.pdf> ; ANSSI. (2023, 21 décembre). Avis de l'ANSSI sur la migration vers la cryptographie post-quantique (suivi 2023). <https://messervices.cyber.gouv.fr/documents-guides/Avis%20de%201%27ANSSI%20sur%20la%20migration%20vers%20la%20cryptographie.pdf>

⁴¹ О технологической политике в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации. № 523-ФЗ от 28.12.2024. (2024). Собрание законодательства РФ. № 53. Ч. I. Ст. 8533.

⁴² Указ Президента РФ № 529 от 18.06.2024. (2024). Собрание законодательства РФ. Ст. 3640.

⁴³ Распоряжение Правительства РФ № 1315-п от 20.05.2023. (2023). Собрание законодательства РФ. № 22. Ст. 3964.

⁴⁴ Распоряжение Правительства РФ № 1856-п от 11.07.2023. (2023). Собрание законодательства РФ. № 30. Ст. 5712.

носящими индивидуально-распорядительный характер. К их числу относится, например, Постановление Правительства РФ о создании инновационного научно-технического центра «Квантовая долина»⁴⁵. Как и в других проанализированных развитых правовых порядках, в России происходит формирование национальных стандартов в области развития квантовых технологий⁴⁶.

Наряду с поддержкой и стандартизацией, развитие квантовых технологий объективно включает и ограничительный контур. Во многих сегментах квантовая тематика несет признаки двойного назначения: специализированные компоненты, программные средства и техническая документация могут иметь не только гражданское, но и военно-техническое применение. В этих условиях возрастает роль законодательства об экспортном контроле как инструмента предотвращения неконтролируемого вывоза чувствительных технологий, включая нематериальную передачу знаний (документация, исходные коды, обучение, консультации). Базовым актом здесь выступает Федеральный закон «Об экспортном контроле»⁴⁷, а также подзаконные перечни контролируемых товаров и технологий двойного назначения, утверждаемые Правительством РФ. Так, в Списке товаров и технологий двойного назначения, в отношении которых осуществляется экспортный контроль⁴⁸, присутствует сразу несколько позиций, связанных с квантовыми технологиями. Усиление экспортного контроля и расширение практик «исследовательской безопасности» фиксируется и в западной доктрине, отмечающей снижение международного научного сотрудничества в этой сфере (Кор, 2025).

Детальный содержательный анализ российских документов стратегического планирования в области квантовых коммуникаций, а также технических стандартов проведен в публикациях их непосредственных разработчиков – кафедры информационного права и цифровых технологий Университета им. О. Е. Кутафина (см. Добробаба и др., 2002; Евсиков, 2022, 2024; Холодная, 2022). В этой связи мы остановимся на выявлении общих закономерностей регулирования отношений, связанных с квантовыми технологиями.

Российская модель управления квантовой тематикой воспроизводит общую закономерность, характерную и для ряда зарубежных правовых порядков: верхний уровень задается политико-стратегическими документами, а регулятивная конкретизация обеспечивается преимущественно подзаконными актами, решениями координационных органов и «инструментальными» документами (дорожные карты, паспорта проектов, *KPI* и т. п.). Важная национальная особенность – опора на модель «компаний-лидеров» и крупных операторов инфраструктуры в качестве ответственных исполнителей (в особенности в коммуникационном сегменте). Так, ОАО «Российские железные дороги» является ответственным исполнителем за развитие области квантовых коммуникаций, а ГК «Росатом» – квантовых вычислений.

Поскольку правовое регулирование квантовых технологий только формируется, существует потенциал для его совершенствования с использованием в том числе и сравнительно-правовых методов.

Прежде всего, необходимо отметить важную роль законодательного регулирования. В современной теории права обстоятельно аргументирована мысль о том, что закон действует не только через санкции и принуждение (Mulder et al., 2024), но и посредством выразительной (экспрессивной) функции (Funk, 2007). Он публично артикулирует ценности и задает ориентиры поведения, формируя повестку социальных элит и упорядочивает коллективные представления о значимости соответствующей сферы общественных отношений. Эмпирические исследования подтверждают, что нормы могут менять поведение и при слабой (или трудно применимой) санкционной части – именно за счет того, что они читаются как сигнал о социально значимом (Funk, 2007). Этот эффект достаточно давно описан и в социологических исследованиях, уже ставших классическими: юридическая номинация и классификация производят «официальное» социальное значение и тем самым повышают статус явления в публичном пространстве (Bourdieu, 1986).

Учитывая сказанное, мы полагаем возможным формирование отдельных законодательных актов по вопросам развития квантовых технологий. Соответствующий закон способен выполнить как минимум две взаимосвязанных функции. Во-первых, сигнальную, закрепив квантовые технологии как приоритет научно-технического

⁴⁵ Постановление Правительства РФ № 2133 от 30.11.2021. (2021). Собрание законодательства РФ. № 49. Ст. 8318.

⁴⁶ 1) ПНСТ 829–2023. Квантовые коммуникации. Общие положения = Quantum communications. General principles; 2) ПНСТ 830–2023. Квантовые коммуникации. Термины и определения = Quantum communications. Terms and definitions; ГОСТ Р 58568–2019. Оптика и фотоника. Фотоника. Термины и определения = Optics and photonics. Photonics. Terms and definitions.

⁴⁷ Об экспортном контроле. № 183-ФЗ от 18.07.1999. (1999). Собрание законодательства РФ. № 30. Ст. 3774.

⁴⁸ Постановление Правительства РФ № 1299 от 19.07.2022. (2022). Собрание законодательства РФ. № 30. Ст. 5630.

развития и обеспечения технологического суверенитета. Во-вторых, координационную, установив единый понятийный аппарат, распределение полномочий и базовые требования к техническим стандартам. Обсуждаемый уровень законодательных изменений может и должен быть совмещен с формированием «квантового права» как юридического дискурса. Под ним мы понимаем институционально организованную коммуникацию, которая закрепляет нормативные смыслы (нормы, принципы, стандарты); воспроизводит легитимные процедуры аргументации (в доктрине, регуляторных документах, правоприменительном процессе); создает специфическую «память» права через интертекст (прецеденты, типовые формулы, отсылки). В отличие от традиционных подходов к делению системы права на отрасли, понимаемых как исключительно текстовые образования (например, положения законов как основания интерпретации), предлагаемый дискурс-подход позволит праву одинаково «узнавать» квантовые коммуникации, вычисления, сенсорику и инфраструктуру в разных правовых контекстах (технические стандарты, публичные закупки, экспортный контроль, меры государственной поддержки и др.).

Немаловажной нам представляется и задача формирования комплексной стратегии развития квантовых технологий. На настоящий момент программные документы развития квантовой отрасли отличаются фрагментарностью и специализацией. К примеру, Концепция регулирования отрасли квантовых коммуникаций посвящена, как следует из ее наименования, только одному сегменту квантовых технологий. Будучи направленной на регулирование, упомянутая концепция построена сугубо на правовых категориях (объект регулирования, правовые барьеры, совершенствование законодательства и др.). Мы полагаем, что комплексный документ стратегического планирования развития должен включать в себя и элементы экономического и организационного планирования, как это имеет место в некоторых проанализированных международных и зарубежных примерах.

Одной из ярких черт российского правового регулирования технологических инноваций является использование инструментария «правовых песочниц», создаваемых в соответствии с Федеральным законом «Об экспериментальных правовых режимах в сфере цифровых и технологических инноваций в Российской Федерации»⁴⁹. Ядром экспериментального регулирования является программа эксперимента, определяющая субъектный состав эксперимента, его территорию, цели и основные показатели эффективности, а главное – перечень положений нормативных актов, которые временно не применяются в целях достижения целей эксперимента. Экспериментальные режимы закрепляются в качестве инструмента преодоления административных барьеров в Концепции регулирования отрасли квантовых коммуникаций.

На момент проведения настоящего исследования экспериментальные правовые режимы в сфере развития квантовых технологий еще не утверждены. Представляется, что при формировании программ экспериментов основные изъятия из так называемого общего регулирования должны касаться сокращения сроков согласования строительства инфраструктуры и доступа к ней, радикального упрощения процедур сертификации и создания единого окна для этой процедуры, упрощения процедур работы с персональными данными.

Отдельного внимания требует постквантовая миграция криптографических средств как задача публичного управления. Зарубежная практика показывает, что переход к криптографии, устойчивой к атакам с использованием квантовых вычислений, реализуется через инвентаризацию уязвимых информационных систем, приоритизацию критических сегментов и поэтапное планирование сроков внедрения. Для российской правовой системы это означает необходимость не только технических решений и стандартов, но и «юридического» перехода: определения ответственных субъектов, требований к планам миграции для критических контуров и механизмов мониторинга исполнения.

Наконец, еще одним направлением развития регулирования квантовых технологий является оформление общих контуров международного сотрудничества. Несмотря на отмеченную ранее в настоящей статье тенденцию к «национализации» квантовой повестки, этот аспект является важным в силу разных причин. Переходные направления научных исследований на настоящий момент носят глобальный характер, и прорывные результаты исследовательской деятельности во многом обеспечиваются совместными усилиями ученых из разных стран. Другой аспект важности международного сотрудничества в анализируемой сфере представляет собой необходимость перехода к справедливым принципам устройства системы международных отношений. Отмечавшаяся в настоящей статье угроза «квантового неравенства» – отставания стран Юга в развитии пере-

⁴⁹ Об экспериментальных правовых режимах в сфере цифровых и технологических инноваций в Российской Федерации. № 258-ФЗ от 31.07.2020. (2020). Собрание законодательства РФ. № 31 (ч. 1). Ст. 5017.

довых технологий – устраняется, прежде всего, вовлечением ученых этих стран в совместные исследования. Указанные соображения укладываются и в основные принципы и направления внешней политики России⁵⁰.

С учетом современной архитектуры международных отношений развитие сотрудничества в сфере квантовых технологий должно, на наш взгляд, происходить, прежде всего, в рамках международных форматов, сочетающих институциональную устойчивость, политическую предсказуемость и общность геополитического курса. К ним, прежде всего, относятся БРИКС и ЕАЭС.

Документы этих международных объединений уже задают нормативно-организационную основу для научно-технологического сотрудничества. В БРИКС закреплены устойчивые форматы взаимодействия в сфере науки, технологий и инноваций (включая совместные конкурсы исследовательских проектов и координационные механизмы)⁵¹, а в документах председательства последних лет прямо отражена квантовая тематика как одно из направлений совместной повестки⁵². В ЕАЭС, в свою очередь, научно-техническое взаимодействие институционализировано через рамочные программы⁵³ и механизмы кооперации, а «цифровая повестка»⁵⁴ Союза формирует условия реализации для трансграничных проектов и согласования требований в технологической сфере.

Вместе с тем переход от общих установок к прикладным правовым механизмам сотрудничества в квантовой сфере требует создания специализированных форматов, рассчитанных на измеримый результат и управляемость рисков. К ним могут относиться квантовые консорциумы (по квантовым коммуникациям, постквантовой криптографии и прикладным квантовым вычислениям) с проектным управлением и распределением ролей; сеть совместных испытательных полигонов (лабораторий) с согласованными методиками испытаний; инструменты «мягкого» права – хартия (протокол) квантовой совместимости, фиксирующая терминологию, минимальные требования безопасности и правила обмена данными; процедуры взаимного признания отдельных результатов испытаний и оценок соответствия в пределах пилотных контуров; программы кадровой мобильности и совместной подготовки специалистов, увязанные с режимами доступа к инфраструктуре.

Для систематизации результатов сравнительно-правового анализа представляется целесообразным в табличной форме обобщить ключевые подходы к регулированию квантовых технологий в анализируемых правовых порядках.

Критерий / Criterion	США / USA	ЕС / EU	Франция / France	Россия / Russia
Наличие специализированных программ / Presence of specialized programs	Закон о национальной квантовой инициативе / National Quantum Initiative Act	Стратегия «Квантовая Европа» / Quantum Europe Strategy	Plan quantique	Концепции и дорожные карты / Concepts and roadmaps
Подход к постквантовой криптографии / Approach to postquantum cryptography	Обязательная подготовка федеральных ведомств / Obligatory preparation of federal agencies	Дорожная карта перехода / Transition roadmap	Интеграция в кибербезопасность / Integration to cybersecurity	Формирование подходов / Shaping approaches
Институциональная модель / Institutional model	Междисциплинарные центры / Interdisciplinary centers	Квантовые кластеры / Quantum clusters	Государственные программы / Public initiatives	«Компании-лидеры» / Leading companies
Степень системности регулирования / Degree of regulation systematicity	Высокая / High	Координационная / Coordinational	Централизованная / Centralized	Фрагментированная / Fragmented

⁵⁰ См.: Указ Президента РФ № 229 от 31.03.2023. (2023). Собрание законодательства РФ. № 14. Ст. 2406.

⁵¹ См., напр.: BRICS STI Framework Programme 1st coordinated call for BRICS innovation projects 2025. (2025, November 5). http://brics-sti.org/files/BRICS_STI_Framework_Programme_Innovation_Call_2025.pdf

⁵² См.: BRICS. (2025). Cooperation in Science, Technology, and Innovation. ISSUE NOTE. <https://brics.br/pt-br/documentos/ciencia-tecnologia-e-inovacao/cooperation-in-science-technology-and-innovation.pdf/@download/file>; BRICS. (2025). Декларация Рио-де-Жанейро. Укрепление сотрудничества Глобального Юга для более инклюзивного и устойчивого управления Рио-де-Жанейро, Бразилия 6 июля 2025 года. <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/gvTArkWauqwuryk9xzLt3Huul7EBmqrC.pdf>

⁵³ О Стратегической программе научно-технического развития Евразийского экономического союза на долгосрочный период «рамочного характера»: Рекомендация Совета Евразийской экономической комиссии № 1 от 12.09.2025. (2025). СПС «КонсультантПлюс». https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_518281/2491ecef3bfb212873ab444ee94e455d36328f4/

⁵⁴ ЕЭК. Цифровая повестка ЕАЭС. https://eec.eaeunion.org/comission/departament/inftech/kk_wg/workgroup/materials/docs.php

Заключение

Проведенный сравнительно-правовой анализ позволяет выявить ряд устойчивых закономерностей регулирования квантовых технологий. Во-первых, на ранних этапах развития отрасли преобладают стратегические и программные акты, формирующие институциональную архитектуру и приоритеты государственной политики. Во-вторых, регулирование строится на сочетании стимулирующих мер (финансирование, инфраструктура, стандартизация) и ограничительных режимов (экспортный контроль, требования безопасности). В-третьих, ключевым юридическим драйвером выступает переход к постквантовой криптографии как условие сохранения цифрового доверия. В-четвертых, наблюдается фрагментация регулирования по сегментам технологий при опережающем развитии правовых режимов квантовых коммуникаций. В-пятых, характерна институциональная опора на крупных инфраструктурных операторов и «национальных чемпионов». В-шестых, возрастает роль технических стандартов как гибкого инструмента правового воздействия. Наконец, развитие квантовых технологий сопровождается геополитизацией правового регулирования и формированием предпосылок технологического неравенства, что усиливает потребность в формировании «квантового права» как специализированного юридического дискурса.

В качестве приоритетов предлагается создать координационный контур и единый понятийный аппарат для всей квантовой повестки; развивать экспериментальные правовые режимы как основной инструмент внедрения, закрепляя отклонения от общего регулирования при сохранении обязательных требований безопасности и мониторинга; оформить постквантовую миграцию как проект публичного управления; выстраивать международную кооперацию в форматах БРИКС и ЕАЭС через консорциумы, совместные испытательные полигоны и протоколы совместимости, одновременно учитывая экспортный контроль и требования «исследовательской безопасности».

Список литературы

- Добробаба, М. Б., Чаннов, С. Е., Минбалеев, А. В. (2022). Квантовые коммуникации: перспективы правового регулирования. *Вестник Университета имени О. Е. Кутафина (МГЮА)*, 4, 25–37. EDN: MAOMPT. DOI: 10.17803/2311-5998.2022.92.4.025-037
- Евсиков, К. С. (2022). Информационная безопасность цифрового государства в квантовую эпоху. *Вестник Университета имени О. Е. Кутафина (МГЮА)*, 4, 46–58. EDN: CFTPLY. DOI: 10.17803/2311-5998.2022.92.4.046-058
- Евсиков, К. С. (2024). Правовой режим линий квантовой связи в свободном пространстве. *Вестник Университета имени О. Е. Кутафина (МГЮА)*, 10, 117–125. <https://doi.org/10.17803/2311-5998.2024.122.10.117-125>
- Холодная, Е. В. (2022). Квантовые технологии как объект права. *Вестник Университета имени О. Е. Кутафина (МГЮА)*, 4, 38–45. EDN: AAYHPK. DOI: 10.17803/2311-5998.2022.92.4.038-045
- Abelard, S., & Perret, L. (2025). Transition post-quantique: état des lieux 10 ans après l'annonce choc de la NSA. *Annales Des Mines – Enjeux Numériques*, 4(32), 37–44. (In French). EDN: XFGFKA. DOI: 10.3917/ennu.032.0037
- Baseri, Y., Chouhan, V., Ghorbani, A., & Chow, A. (2025). Evaluation framework for quantum security risk assessment: A comprehensive strategy for quantum-safe transition. *Computers & Security*, 150, 104272. EDN: VUHBJC. DOI: 10.1016/j.cose.2024.104272
- Bloch, I., Dalibard, J., & Zwerger, W. (2008). Many-body physics with ultracold gases. *Reviews of Modern Physics*, 80(3), 885–964. EDN: MNAVFX. DOI: 10.1103/RevModPhys.80.885
- Bourdieu, P. (1986). La force du droit: Éléments pour une sociologie du champ juridique. *Actes de la Recherche en Sciences Sociales*, 64, 3–19. <https://doi.org/10.3406/arss.1986.2332>
- Comandè, G., & Varilek, M. (2024). The many features which make the eIDAS 2 Digital Wallet either risky or the ideal vehicle for the transition to post-quantum encryption. *Computer Law & Security Review*, 54, 106022. EDN: JTSJLF. DOI: 10.1016/j.clsr.2024.106022
- Dalibard, J., & Gigan, S. (2022). A Nobel prize for Alain Aspect, John Clauser and Anton Zeilinger. *Photoniques*, 116, 23–25. EDN: VPQHUD. DOI: 10.1051/photon/202211623
- Dekker, T., & Martin-Bariteau, F. (2023). Regulating uncertain states: A risk-based policy agenda for quantum technologies. *Canadian Journal of Law and Technology*, 20(2), 179–210.
- Deutsch, I. H. (2020). Harnessing the power of the second quantum revolution. *PRX Quantum*, 1(2), 020101. EDN: GPCWPX. DOI: 10.1103/PRXQuantum.1.020101

- Dowling, J. P., & Milburn, G. J. (2003). Quantum technology: The second quantum revolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 361(1809), 1655–1674. EDN: MFUHXH. DOI: 10.1098/rsta.2003.1227
- Easterbrook, F. H. (1996). Cyberspace and the law of the horse. *University of Chicago Legal Forum*, 1996(1), 207–216.
- Fauseweh, B. (2024). Quantum many-body simulations on digital quantum computers: State-of-the-art and future challenges. *Nature Communications*, 15, 2123. EDN: XSAJGH. DOI: 10.1038/s41467-024-46402-9
- Funk, P. (2007). Is there an expressive function of law? An empirical analysis of voting laws with symbolic fines. *American Law and Economics Review*, 9(1), 135–159. EDN: IKHXVZ. DOI: 10.1093/aler/ahm002
- Gibney, E., & Castelvecchi, D. (2025). Groundbreaking quantum-tunnelling experiments win physics Nobel. *Nature*, 646, 523–524. EDN: RRSBKC. DOI: 10.1038/d41586-025-03194-2
- Herrero-Collantes, M., & García-Escartín, J. C. (2017). Quantum random number generators. *Reviews of Modern Physics*, 89(1), 015004. EDN: YYBPPP. DOI: 10.1103/RevModPhys.89.015004
- Khodaiemehr, H., Bagheri, K., & Feng, C. (2026). Navigating the quantum computing threat landscape for blockchains: A comprehensive survey. *Computer Science Review*, 59, 100846. EDN: OYLUQO. DOI: 10.1016/j.cosrev.2025.100846
- Kimble, H. J. (2008). The quantum internet. *Nature*, 453, 1023–1030. EDN: MJYECN. DOI: 10.1038/nature07127
- Kop, M. (2025). Towards a European Quantum Act: A Two-Pillar Framework for Regulation and Innovation. *Columbia Journal of European Law*, 31(1). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5480630>
- Ludlow, A. D., Boyd, M. M., Ye, J., Peik, E., & Schmidt, P. O. (2015). Optical atomic clocks. *Reviews of Modern Physics*, 87(2), 637–701. EDN: UOVWCZ. DOI: 10.1103/RevModPhys.87.637
- Ma, X., Yuan, X., Cao, Z., Qi, B., & Zhang, Z. (2016). Quantum random number generation. *NPJ Quantum Information*, 2(1), 16021. EDN: XRQVBC. DOI: 10.1038/npjqi.2016.21
- Maurel, R. (2023). Droit des technologies quantiques: Entre enjeux géopolitiques et impératifs de sécurité. *Revue Générale du Droit*, 33, 1–15. (In French).
- Mulder, L. B., Kurz, T., Prosser, A. M. B., & Fonseca, M. A. (2024). The presence of laws and mandates is associated with increased social norm enforcement. *Journal of Economic Psychology*, 101, 102703. EDN: GILXNU. DOI: 10.1016/j.joep.2024.102703
- Neuwirth, R. J. (2025). A future European Union ‘Quantum Act’? Critical lessons from the global AI governance debate. *Macau Journal of Global Legal Studies*, 2, 1–56.
- Ozawa, M. (2001). Operations, disturbance, and simultaneous measurability. *Physical Review A*, 63, 032109. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.63.032109>
- Paris, M. G. A. (2012). The modern tools of quantum mechanics: A tutorial on quantum states, measurements, and operations. *The European Physical Journal Special Topics*, 203, 61–86. EDN: KRXLAP. DOI: 10.1140/epjst/e2012-01535-1
- Pirandola, S., Andersen, U. L., Banchi, L., Berta, M., Bunandar, D., Colbeck, R., Englund, D., Gehring, T., Lupo, C., Ottaviani, C., Pereira, J. L., Razavi, M., Shamsul Shaari, J., Tomamichel, M., Usenko, V. C., Vallone, G., Villoresi, P., & Wallden, P. (2020). Advances in quantum cryptography. *Advances in Optics and Photonics*, 12(4), 1012–1236. EDN: TMZLCW. DOI: 10.1364/AOP.361502
- Quinton, F. A., Myhr, P. A. S., Barani, M., Crespo del Granado, P., & Zhang, H. (2025). Quantum annealing applications, challenges and limitations for optimisation problems compared to classical solvers. *Scientific Reports*, 15(1), 12733. EDN: RMEQZL. DOI: 10.1038/s41598-025-96220-2
- Riehle, F. (2015). Towards a redefinition of the second based on optical atomic clocks. *Comptes Rendus Physique*, 16(5), 506–515. EDN: UQZZWL. DOI: 10.1016/j.crhy.2015.03.012
- Scarani, V., Bechmann-Pasquinucci, H., Cerf, N. J., Dušek, M., Lütkenhaus, N., & Peev, M. (2009). The security of practical quantum key distribution. *Reviews of Modern Physics*, 81(3), 1301–1350. EDN: MYPJLD. DOI: 10.1103/RevModPhys.81.1301
- Schlosshauer, M. (2019). Quantum decoherence. *Physics Reports*, 831, 1–57. EDN: PTXNOQ. DOI: 10.1016/j.physrep.2019.10.001
- Schmitz, L., & Seidl, T. (2023). As open as possible, as autonomous as necessary: Understanding the rise of open strategic autonomy in EU trade policy. *Journal of Common Market Studies*, 61(3), 834–852. EDN: BHDXGZ. DOI: 10.1111/jcms.13428
- Shor, P. W. (1997). Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer. *SIAM Journal on Computing*, 26(5), 1484–1509. <https://doi.org/10.1137/S0097539795293172>
- Simon, C. (2017). Towards a global quantum network. *Nature Photonics*, 11, 678–680. <https://doi.org/10.1038/s41566-017-0032-0>
- Vovrosh, J., Dragomir, A., Stray, B., & Boddice, D. (2023) Advances in Portable Atom Interferometry-Based Gravity Sensing. *Sensors*, 23(17), 7651. <https://doi.org/10.3390/s23177651>
- Wehner, S., Elkouss, D., & Hanson, R. (2018). Quantum internet: A vision for the road ahead. *Science*, 362(6412), eaam9288. <https://doi.org/10.1126/science.aam9288>
- Xu, M., Kendrick, L. H., Kale, A., Gang, Y., Feng, Ch., Zhang, Sh., Young, A. W., Lebrat, M., & Greiner, M. (2025). A neutral-atom Hubbard quantum simulator in the cryogenic regime. *Nature*, 642, 909–915. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09112-w>
- Yi, H. (2023). A post-quantum blockchain notary scheme for cross-blockchain exchange. *Computers and Electrical Engineering*, 110, 108832. EDN: JBVOYH. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2023.108832

References

- Abelard, S., & Perret, L. (2025). Transition post-quantique: état des lieux 10 ans après l'annonce choc de la NSA. *Annales Des Mines – Enjeux Numériques*, 4(32), 37–44. (In French). <https://doi.org/10.3917/ennu.032.0037>
- Baseri, Y., Chouhan, V., Ghorbani, A., & Chow, A. (2025). Evaluation framework for quantum security risk assessment: A comprehensive strategy for quantum-safe transition. *Computers & Security*, 150, 104272. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2024.104272>
- Bloch, I., Dalibard, J., & Zwerger, W. (2008). Many-body physics with ultracold gases. *Reviews of Modern Physics*, 80(3), 885–964. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.80.885>
- Bourdieu, P. (1986). La force du droit: Éléments pour une sociologie du champ juridique. *Actes de la Recherche en Sciences Sociales*, 64, 3–19. <https://doi.org/10.3406/arss.1986.2332>
- Comandè, G., & Varilek, M. (2024). The many features which make the eIDAS 2 Digital Wallet either risky or the ideal vehicle for the transition to post-quantum encryption. *Computer Law & Security Review*, 54, 106022. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2024.106022>
- Dalibard, J., & Gigan, S. (2022). A Nobel prize for Alain Aspect, John Clauser and Anton Zeilinger. *Photoniques*, 116, 23–25. <https://doi.org/10.1051/photon/202211623>
- Dekker, T., & Martin-Bariteau, F. (2023). Regulating uncertain states: A risk-based policy agenda for quantum technologies. *Canadian Journal of Law and Technology*, 20(2), 179–210.
- Deutsch, I. H. (2020). Harnessing the power of the second quantum revolution. *PRX Quantum*, 1(2), 020101. <https://doi.org/10.1103/PRXQuantum.1.020101>
- Dobrobaba, M. B., Channov, S. E., & Minbaleev, A. V. (2022). Quantum communications: Prospects for legal regulation. *Courier of the Kutafin Moscow State Law University (MSAL)*, 4, 25–37. <https://doi.org/10.17803/2311-5998.2022.92.4.025-037>
- Dowling, J. P., & Milburn, G. J. (2003). Quantum technology: The second quantum revolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 361(1809), 1655–1674. <https://doi.org/10.1098/rsta.2003.1227>
- Easterbrook, F. H. (1996). Cyberspace and the law of the horse. *University of Chicago Legal Forum*, 1996(1), 207–216.
- Evsikov, K. S. (2022). Information security of the digital state in the quantum era. *Courier of the Kutafin Moscow State Law University (MSAL)*, 4, 46–58. <https://doi.org/10.17803/2311-5998.2022.92.4.046-058>
- Evsikov, K. S. (2024). Legal regime of free-space quantum communication lines. *Courier of the Kutafin Moscow State Law University (MSAL)*, 10, 117–125. <https://doi.org/10.17803/2311-5998.2024.122.10.117-125>
- Fauseweh, B. (2024). Quantum many-body simulations on digital quantum computers: State-of-the-art and future challenges. *Nature Communications*, 15, 2123. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46402-9>
- Funk, P. (2007). Is there an expressive function of law? An empirical analysis of voting laws with symbolic fines. *American Law and Economics Review*, 9(1), 135–159. <https://doi.org/10.1093/aler/ahm002>
- Gibney, E., & Castelvechi, D. (2025). Groundbreaking quantum-tunnelling experiments win physics Nobel. *Nature*, 646, 523–524. <https://doi.org/10.1038/d41586-025-03194-2>
- Herrero-Collantes, M., & García-Escartín, J. C. (2017). Quantum random number generators. *Reviews of Modern Physics*, 89(1), 015004. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.89.015004>
- Khodaiemehr, H., Bagheri, K., & Feng, C. (2026). Navigating the quantum computing threat landscape for blockchains: A comprehensive survey. *Computer Science Review*, 59, 100846. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2025.100846>
- Kholodnaya, E. V. (2022). Quantum technologies as an object of law. *Courier of the Kutafin Moscow State Law University (MSAL)*, 4, 38–45. <https://doi.org/10.17803/2311-5998.2022.92.4.038-045>
- Kimble, H. J. (2008). The quantum internet. *Nature*, 453, 1023–1030. <https://doi.org/10.1038/nature07127>
- Kop, M. (2025). Towards a European Quantum Act: A Two-Pillar Framework for Regulation and Innovation. *Columbia Journal of European Law*, 31(1). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5480630>
- Ludlow, A. D., Boyd, M. M., Ye, J., Peik, E., & Schmidt, P. O. (2015). Optical atomic clocks. *Reviews of Modern Physics*, 87(2), 637–701. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.87.637>
- Ma, X., Yuan, X., Cao, Z., Qi, B., & Zhang, Z. (2016). Quantum random number generation. *NPJ Quantum Information*, 2(1), 16021. <https://doi.org/10.1038/npjqi.2016.21>
- Maurel, R. (2023). Droit des technologies quantiques: Entre enjeux géopolitiques et impératifs de sécurité. *Revue Générale du Droit*, 33, 1–15. (In French).
- Mulder, L. B., Kurz, T., Prosser, A. M. B., & Fonseca, M. A. (2024). The presence of laws and mandates is associated with increased social norm enforcement. *Journal of Economic Psychology*, 101, 102703. <https://doi.org/10.1016/j.joep.2024.102703>
- Neuwirth, R. J. (2025). A future European Union 'Quantum Act'? Critical lessons from the global AI governance debate. *Macaul Journal of Global Legal Studies*, 2, 1–56.
- Ozawa, M. (2001). Operations, disturbance, and simultaneous measurability. *Physical Review A*, 63, 032109. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.63.032109>
- Paris, M. G. A. (2012). The modern tools of quantum mechanics: A tutorial on quantum states, measurements, and operations. *The European Physical Journal Special Topics*, 203, 61–86. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01535-1>

- Pirandola, S., Andersen, U. L., Banchi, L., Berta, M., Bunandar, D., Colbeck, R., Englund, D., Gehring, T., Lupo, C., Ottaviani, C., Pereira, J. L., Razavi, M., Shamsul Shaari, J., Tomamichel, M., Usenko, V. C., Vallone, G., Villoresi, P., & Wallden, P. (2020). Advances in quantum cryptography. *Advances in Optics and Photonics*, 12(4), 1012–1236. <https://doi.org/10.1364/AOP.361502>
- Quinton, F. A., Myhr, P. A. S., Barani, M., Crespo del Granado, P., & Zhang, H. (2025). Quantum annealing applications, challenges and limitations for optimisation problems compared to classical solvers. *Scientific Reports*, 15(1), 12733. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-96220-2>
- Riehle, F. (2015). Towards a redefinition of the second based on optical atomic clocks. *Comptes Rendus Physique*, 16(5), 506–515. <https://doi.org/10.1016/j.crhy.2015.03.012>
- Scarani, V., Bechmann-Pasquinucci, H., Cerf, N. J., Dušek, M., Lütkenhaus, N., & Peev, M. (2009). The security of practical quantum key distribution. *Reviews of Modern Physics*, 81(3), 1301–1350. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.81.1301>
- Schlosshauer, M. (2019). Quantum decoherence. *Physics Reports*, 831, 1–57. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2019.10.001>
- Schmitz, L., & Seidl, T. (2023). As open as possible, as autonomous as necessary: Understanding the rise of open strategic autonomy in EU trade policy. *Journal of Common Market Studies*, 61(3), 834–852. <https://doi.org/10.1111/jcms.13428>
- Shor, P. W. (1997). Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer. *SIAM Journal on Computing*, 26(5), 1484–1509. <https://doi.org/10.1137/S0097539795293172>
- Simon, C. (2017). Towards a global quantum network. *Nature Photonics*, 11, 678–680. <https://doi.org/10.1038/s41566-017-0032-0>
- Vovrosh, J., Dragomir, A., Stray, B., & Boddice, D. (2023) Advances in Portable Atom Interferometry-Based Gravity Sensing. *Sensors*, 23(17), 7651. <https://doi.org/10.3390/s23177651>
- Wehner, S., Elkouss, D., & Hanson, R. (2018). Quantum internet: A vision for the road ahead. *Science*, 362(6412), eaam9288. <https://doi.org/10.1126/science.aam9288>
- Xu, M., Kendrick, L. H., Kale, A., Gang, Y., Feng, Ch., Zhang, Sh., Young, A. W., Lebrat, M., & Greiner, M. (2025). A neutral-atom Hubbard quantum simulator in the cryogenic regime. *Nature*, 642, 909–915. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09112-w>
- Yi, H. (2023). A post-quantum blockchain notary scheme for cross-blockchain exchange. *Computers and Electrical Engineering*, 110, 108832. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2023.108832>

Вклад автора

Автор подтверждает, что полностью отвечает за все аспекты представленной работы.

Author's contribution

The author confirms sole responsibility for all aspects of the work.

Информация об использовании искусственного интеллекта

ИИ не использовался.

Information about the use of artificial intelligence

AI was not used.

Конфликт интересов / Conflict of Interest

Автором не заявлен / No conflict of interest is declared by the author

История статьи / Article history

Дата поступления / Received 28.01.2026

Дата одобрения после рецензирования / Date of approval after reviewing 20.03.2026

Дата принятия в печать / Accepted 18.05.2026