НАУКА ЗА РУБЕЖОМ

Ноябрь, 2020 (№ 94)

НАУКА И ИННОВАЦИИ
В ЦИФРОВУЮ ЭПОХУ

Наука за рубежом

№ 94, ноябрь 2020

Ежемесячное аналитическое обозрение
Издается с 2011 г., индексируется в РИНЦ
Электронное издание:

www.issras.ru/global_science_review

DOI: <https://dx.doi.org/10.37437/2222517X-2020-94-9-1-49>

Редакционная коллегия:

Л. К. Пипия (руководитель проекта), В. С. Дорогокупец,
О. Е. Осипова, Н. В. Шашкова, В. А. Хохлова

Рубрики: **«Социальные и экономические науки и статистика»,
«Информационные и телекоммуникационные технологии
и вычислительная техника»**

Авторы выпуска: **Л. К. Пипия, В. С. Дорогокупец**

Перевод: **В. С. Дорогокупец**

Выпускающее подразделение: **Сектор анализа зарубежной науки**

Редактор О. Е. Осипова

Компьютерная верстка: Н. В. Шашкова

Художник А. Н. Горностаева

Размещение в сети Интернет: К. В. Никитин, Н. В. Шашкова

СОДЕРЖАНИЕ

1. Going digital: статистический анализ	4
2. Влияние цифровых технологий на проведение исследований и разработок	14
3. Цифровизация и инновации: межотраслевая динамика	28

ПРИЛОЖЕНИЕ	40
------------	----

Рис. 1. Десятая часть наиболее цитируемых документов в области информатики по странам: 2016	40
---	----

Рис. 2. Научные отрасли, связанные с развитием искусственного интеллекта: 2006–2016	41
---	----

Рис. 3. Самые цитируемые научные публикации по искусственному интеллекту	42
--	----

Рис. 4. Выпускники высших учебных заведений в области естественных наук, инжиниринга и ИКТ: 2016	43
--	----

Рис. 5. Модели цифровизации по отраслям наук: 2018	44
--	----

Рис. 6. Открытый доступ к научным документам: 2017	45
--	----

Рис. 7. Оценка взглядов ученых на цифровизацию науки по странам: 2018	46
---	----

Рис. 8. Расходы бизнес-сектора на исследования и разработки в целом и в отраслях ИКТ: 2016	47
--	----

Цифровизация уверенно шагает по планете. Так называемая пандемия коронавируса и мероприятия, с ней связанные, лишь ускорили процессы, которые интенсивно формировались в последние три десятилетия.

Хотя сфера научных исследований и разработок является источником для цифровых решений, ей предстоит испытывать эффект бумеранга, от которого она в значительной степени будет видоизменяться под воздействием всепроникающей цифровизации, все глубже охватывающей все этапы проведения научного исследования – от формулирования идеи и планирования экспериментов до публикации и распространения результатов.

Эксперты ОЭСР в одном из недавних докладов постарались дать исчерпывающий анализ влияния (в той мере, в которой это позволяют сделать доступные данные) развития исследований в области компьютерных наук и цифровизации на сферу науки и инноваций.

1. Going digital: статистический анализ

Разработка новых цифровых технологий основана на достижениях в области научных знаний. Преобразующее влияние данных технологий на сферу науки и инноваций вторично по отношению к этой сфере.

За последнее десятилетие ученые Китайской Народной Республики почти утроили свой вклад в научные журналы по информатике [1]. При этом Китай обогнал США по числу научных публикаций в этой области. Однако доля Китая в наиболее цитируемых публикациях в мире по-прежнему держится на отметке 7%, что значительно ниже 17% США¹ (рис. 1). Однако нельзя не заметить, что с 2006 г. доля Китая в наиболее часто цитируемых статьях увеличилась более чем в два раза, что ставит его на второе место среди создателей самых цитируемых публикаций в области компьютерных наук во всем мире. В некоторых странах, таких как Италия, Израиль, Люксембург и Польша, научные исследования в области компьютерных

¹ При оценке роли различных стран в научной публикационной активности необходимо всегда иметь в виду такие факторы, как язык публикации, а также страновую структуру научных журналов, индексируемых в международных базах данных и научных платформах, например Clarivate Analytics.

наук имеют гораздо более высокий уровень цитирования, чем общая научная продукция в этих странах. Почти 20% публикаций по информатике швейцарских авторов входят в число 10% самых цитируемых научных документов в мире. Этот показатель достигает 25% для Люксембурга, хотя научная производительность там гораздо меньше.

Исследования в области искусственного интеллекта (ИИ) десятилетиями были направлены на то, чтобы позволить машинам выполнять когнитивные функции человека. Прорывы в вычислительной мощности, доступность данных и алгоритмов значительно улучшили возможности ИИ. По некоторым узким направлениям его производительность все больше напоминает человеческую. Разработки последних лет позволяют компьютерным программам различать объекты на фотографиях и видео, а также интерпретировать текст с помощью обработки естественного языка с высоким уровнем точности. В подготовленных ОЭСР докладах по науке, технологиям и промышленности за 2017 г. представлены данные о быстром росте числа научных документов, относящихся к машинному обучению – сквозному методу, основанному на данных и базирующемуся на современных достижениях в области искусственного интеллекта.

Интерес к искусственному интеллекту вызвал к жизни непростую задачу измерить ИИ. Анализ ключевых слов в научных публикациях свидетельствует о том, что информатика является основополагающей областью в науке, связанной с искусственным интеллектом. На ее долю приходится чуть более трети всех публикаций по искусственному интеллекту за период с 1996 по 2016 г. (рис. 2).

Более четверти всех научных публикаций и материалов конференций по искусственному интеллекту появились в инженерных журналах и около 10% – в математических. Около 25% научных исследований, связанных с ИИ (либо опирающихся на ИИ, либо способствующих его общему развитию), относятся не к информатике, а к другим научным дисциплинам, таким как физика и астрономия, медицина и материаловедение. С 2006 по 2016 г. ежегодный объем публикаций, связанных с ИИ, вырос на 150%, при этом общий объем индексируемых научных публикаций увеличился лишь на 50%.

В Китае в настоящее время публикуется наибольшее число научных документов по ИИ. Несмотря на имеющийся скепсис, связанный с качеством научных публикаций в этой стране, эксперты признают, что научная ценность китайской публикационной продукции в этой области заметно улучшается. Уже в 2006 г. Китай был крупнейшим производителем научных публикаций, связанных с ИИ, и к 2016 г. его глобальная доля выросла до 27%.

В свою очередь, доля глобальных публикаций, приходящихся на ЕС-28 и США, снизилась за тот же период до 19 и 12% соответственно. Также следует отметить быстрый рост публикаций по искусственному интеллекту в Индии, на долю которой в 2016 г. пришлось 11% мирового объема публикаций. Однако в других областях различные научные публикации, связанные с ИИ, относятся к разным уровням того, что называется «влиянием цитирования».

В дальнейшем анализе имеет смысл сосредоточить внимание на тех публикациях по искусственному интеллекту, которые входят в число наиболее цитируемых (первые 10% из наиболее цитируемых документов в мире) в соответствующих дисциплинарных областях журналов. Как показано на рис. 3, на страны ЕС-28 и США по-прежнему приходится наибольшая доля самых цитируемых публикаций, связанных с ИИ, которые входят в число 10% наиболее цитируемых публикаций в мире. Однако с 2006 по 2016 г. их доля снизилась с 29 до 25% для ЕС-28 и с 31 до 21% для США. Китай, Индия, Иран и Малайзия за последнее десятилетие более чем удвоили свою долю в мировых наиболее цитируемых публикациях по искусственному интеллекту.

Учитывая трансформационный потенциал ИИ, немаловажную роль в его развитии играют масштабы и характер государственных и коммерческих инвестиций. В разных странах правительства выступили с множеством заявлений относительно такого финансирования. Однако эти заявления не позволяют осуществить корректные сравнения активности стран в этой области. В отчете Белого дома за 2016 г. указывалось, что США инвестировали 1,1 млрд долл. в исследования и разработки в области искусственного интеллекта в 2015 г., а в 2016 г. инвестиции увеличились до 1,2 млрд долл. По оценкам Европейской комиссии, с 2014 г. около 13% бюджета исследований и разработок было выделено на информа-

ционно-коммуникационные технологии (ИКТ). Исследовательский совет по инженерным и физическим наукам Великобритании выделил более 400 млн ф. ст. (527 млн долл. США) на исследования, связанные с наукой о данных и искусственным интеллектом. В декабре 2017 г. Министерство науки и ИКТ Кореи объявило о планах выделить в 2018 г. сумму, эквивалентную 1,5 млрд долл. США, на ИИ и связанные с ним области. Премьер-министр Японии создал стратегический совет по технологиям ИИ в 2016 г., чтобы обеспечить скоординированный подход к исследованиям ИИ между министерствами и ведомствами, включая новые лаборатории для работы над ИИ и дополнительные научно-исследовательские центры.

Поскольку данные о финансировании исследований в области ИИ не собираются специально статистическими органами государств, для получения более или менее достоверных и актуальных статистических оценок необходимо обращаться к другим, локальным, источникам информации. В имеющихся и доступных статистических данных отсутствует систематизированная детализированная информация о проектах, над которыми работают финансируемые государством исследователи. Информация о финансируемых правительством проектах (часто выделяемых на конкурсной основе) дает полезное, но неполное представление о структуре финансирования. Ни одна международная информационная инфраструктура не объединяет базы данных учреждений, финансирующих исследования, на основе четкого регламента, который позволяет эти данные сопоставить. Ряд коммерческих провайдеров предоставляют соответствующие информационные услуги, базируясь на информации, собранной из общедоступных источников, или двусторонних соглашениях об обмене данными. ОЭСР стремится устранить этот информационный пробел путем оценки целесообразности совместного использования ресурса данных для анализа в рамках пилотного проекта Fundstat. В странах ОЭСР ведется работа по выявлению тенденций финансирования исследований, при этом особое внимание уделяется искусственному интеллекту, учитывая его исключительную значимость.

На сегодняшний день тематические исследования ведут преимущественно два крупных американских агентства: первое – Национальные институты здоровья (NIH) – учреждение, которое является одним из основных мировых спонсоров биомедицинских исследований; второе – Национальный

научный фонд (NSF), который финансирует несколько областей, включая любительские исследования в области компьютерных наук. Менее чем за два десятилетия доля и объем финансирования направления ИИ со стороны обоих агентств значительно возросли. NIN в 2017 г. выделил на исследования, связанные с ИИ, около 820 млн долл. (т. е. 3,6% от их общего объема финансирования исследований и разработок), NSF выделил на аналогичные цели 388 млн. долл. (7,3% от общего финансирования Фонда).

Чтобы понять, каким образом наука и инновации испытывают на себе влияние цифровизации, необходимо обратиться прежде всего к вопросам развития навыков и компетенций, необходимых в процессе цифровизации самой науки, а также общества, и определить сферу применения этих навыков. Данные о распределении выпускников высших учебных заведений в области естественных наук, инженерии и ИКТ за 2016 г. представлены на рис. 4. Из приведенного графика следует, что Эстония, Финляндия, Индия и Ирландия имеют наибольшую долю выпускников в определенных областях ИКТ.

Анализ публикаций ОЭСР свидетельствуют о том, что на разных уровнях обучающих программ число выпускников по специальности ИКТ варьируется. Например, в европейских странах выпускается гораздо больше докторантов, чем магистрантов или бакалавров. В Корее, США и Индии относительно мало людей завершают обучение в докторантуре² по сравнению с теми, кто получил диплом бакалавра. Разница может быть связана с различиями в издержках, которые влечет за собой пребывание в докторантуре.

Высшие учебные заведения обучают специалистов использовать передовые навыки ИКТ в областях, отличных от компьютерных наук. В 2018 г. было проведено исследование, в задачу которого входило сравнение особенностей академических программ, научных публикаций и объявлений о вакансиях. Было выявлено, что навыки, которым обучают в вузе, в три-четыре раза ближе (с точки зрения сходства содержания) к навыкам, описанным в исследовательских статьях, чем к навыкам,

² Напомним читателю, что обучение в докторантуре в данном случае соответствует учебе в аспирантуре в нашей стране.

указанным в объявлениях о приеме на работу. Описание навыков, связанных с конкретным программным обеспечением и вычислительными инструментами, можно найти во всех трех направлениях. Однако они, как правило, являются узкоспециализированными (не присутствуют во многих курсах). И наоборот, общие исследовательские и управленческие навыки занимают центральное место как на академических курсах, так и в объявлениях о вакансиях. Навыки, связанные с вычислительными инструментами, как будто демонстрируют взаимную предсказуемость между научными публикациями и требованиями к работе. Может создаться впечатление, что предложения курсов одновременно предвосхищают и реагируют на потребности работодателей. Это подчеркивает тесную взаимозависимость науки и промышленности в конкретной области, и эта взаимозависимость не может быть отражена стандартными показателями встречных потоков знаний между наукой и промышленностью.

И здесь уместно задаться вопросом, готовят ли университеты достаточное число специалистов, способных проводить передовые исследования в области цифровых инструментов и систем? Данные о карьере докторантов за 2017 г. красноречиво свидетельствуют о том, что докторанты ИКТ составляют относительно небольшую их часть (как правило, с более низкой долей, чем в магистратуре или на уровне бакалавриата). Как на уровне докторантуры, так и на уровне магистратуры доля выпускников ИКТ среди мужчин значительно выше, чем среди женщин. Хотя в истории компьютерных наук были периоды, например в 1960-х гг., когда большинство программистов составляли женщины. Однако докторская степень в области информатики среди женщин была в то время редкостью. Первая докторская степень в этой области была присуждена в США женщине – Мэри Келлер только в 1965 г. В 2005 г. доля женщин среди поступающих в докторантуру в США была чуть ниже 20%, что близко к среднему показателю по ОЭСР. В большинстве стран доля женщин, поступающих в докторантуру, составляет менее 30%, что меньше, чем на инженерных факультетах. В рамках областей, ориентированных на цифровизацию, произошли существенные перераспределения. В частности, в США число докторантов из американских университетов в области компьютерных наук увеличилось на 20%, в то время как в области электротехники, электроники и связи за десятилетие с 2007 по 2017 г. сократилось на 3%. Специалисты, обладающие компетенциями, необходимыми исследователям, в предме-

тах, связанных с ИКТ, встречаются главным образом в индустрии ИКТ, за которой следуют профессиональные услуги (включая компании, специализирующиеся в исследованиях и разработках, а также сферу высшего образования). Обладатели докторских степеней в области ИКТ в большей степени ориентированы на работу в бизнес-секторе. Данные о докторантах показывают, что обладатели степеней в области ИКТ значительно более мобильны, чем их коллеги в других областях. Например, в США за последний год 30% докторантов сменили работу, тогда как средний показатель по отраслям варьируется в пределах 15%.

Использование современных цифровых инструментов, включая большие данные, является определяющей чертой компьютерных наук, но они также имеют колоссальное значение для междисциплинарных исследований, математики, естествознания, наук о материалах и инженерии (рис. 5). Именно в сферах, касающихся естествознания (за исключением фармацевтики) и физических наук (кроме инженерии), совершают наибольшие усилия, чтобы результаты исследований могли быть доступны и другим пользователям. Ученые в области инженерии сообщают об использовании инструментов повышения производительности относительно реже, чем их коллеги из других областей. Интересно отметить, что области, в которых в меньшей степени используются передовые цифровые технологии и средства распространения данных/кодов, а именно социальные науки, искусство и гуманитарные науки, с большей вероятностью будут заниматься деятельностью, способствующей расширению их цифрового присутствия и внешней коммуникации (например, использование социальных сетей).

Различия в моделях цифровизации зависят от личных и отраслевых характеристик. Молодые ученые с большей вероятностью будут заниматься всеми аспектами цифрового применения. Женщины-ученые реже, чем их коллеги-мужчины, используют и разрабатывают передовые цифровые инструменты. Однако они с большей вероятностью будут участвовать в расширении своего цифрового присутствия, идентичности и коммуникации, даже с учетом различий по областям и по странам. Авторы научных текстов, работающие в бизнес-секторе, более склонны использовать передовые цифровые инструменты, связанные с большими данными, и менее склонны участвовать в деятельности по распространению данных/кодов, больше ограничивают онлайн-присутствие и коммуникации, чем их колле-

ги из других секторов. Напротив, авторы, работающие в секторе высшего образования, более склонны применять цифровые инструменты, влияющие на производительность, а также использовать преимущества онлайн-присутствия и коммуникации.

Поскольку цифровые инструменты могут трансформировать способ проведения научных исследований, перед респондентами проведенного опроса была поставлена задача описать свою научно-исследовательскую работу, указав, каким образом она проводится: в рамках теоретических знаний, моделирования, эмпирических опытов, экспериментальной или неэкспериментальной деятельности, а также обозначив все возможные их комбинации. Между научно-исследовательской практикой и цифровой практикой существуют довольно сложные взаимосвязи. Исследователи, занимающиеся вычислительной работой и моделированием (37% респондентов), чаще всего используют передовые цифровые инструменты. Однако они менее склонны участвовать в онлайн-программах и коммуникационной деятельности. Вместе с исследователями, занимающимися экспериментальной работой (49%), они также наиболее склонны участвовать в практике распространения данных и кодов, например через такие платформы, как GitHub. Удивительно, что специалисты по сбору информации (37%) относятся к числу тех, кто с наибольшей вероятностью будут распространять данные и коды. Это предполагает значительные возможности для цифровизации их деятельности по распространению данных. В этой группе широко применяются цифровые инструменты повышения производительности. Те, кто занимается теоретической работой (46%), как правило, используют большинство цифровых возможностей с ограничениями. Распространенность цифровизации среди тех, кто занимается эмпирической (45%), не экспериментальной, работой отмечается в социальных науках. Однако такая работа относительно ограничена с точки зрения распространения данных/кодов (что создает проблему воспроизводимости) и передовых цифровых инструментов.

Очевидно, что доступ к научно-исследовательским статьям играет важную роль в распространении научных знаний. Цифровые технологии облегчают обмен научными знаниями, использование которых способствует проведению дальнейших исследований и инновационных программ. Показатели открытого доступа, представленные в ОЭСР (2017 г.), говорят о том, что от 60 до 80% контента, опубликованного в 2016 г., через

год были доступны читателям только по подписке или за плату (рис. 6). Открытый доступ через журналы (обычно именуемый «золотым»³) особенно практикуется в Бразилии и во многих других латиноамериканских странах. Открытый доступ на основе репозиториев (также известный как «зеленый»⁴) наиболее часто применяется авторами, работающими в Великобритании. Около 5% авторов, по-видимому, платят журналам, выходящим по подписке, за то, чтобы их опубликованные статьи остались в открытом доступе (такая модель называется «золотым гибридом» открытого доступа).

Оценка охвата цитирования, при котором публикации в открытом доступе цитируются чаще, чем публикации, которых там нет, помогают управляющим организациям оценить социальные издержки и выгоды альтернативных механизмов финансирования научных публикаций. Были предприняты попытки измерить «преимущество цитирования статей, предоставленных в открытом доступе». Библиометрический анализ подтверждает выводы о неоднородности результатов исследования, поскольку не все формы открытого доступа, по-видимому, дают преимущество цитирования. В целом информация в открытом доступе ассоциируется с более высокими показателями цитируемости среди документов, охватываемых основными индексами. Однако это не относится к документам, опубликованным в журналах открытого доступа, которые, как правило, являются более «свежими» и характеризуются более низкими показателями цитирования. В большинстве случаев самые высокие проценты цитирования обычно приходятся на статьи с «золотым гибридным» доступом. Это статьи, опубликованные в журналах по подписке, авторы которых платят издателям, чтобы обеспечить бесплатный онлайн-доступ к своим статьям со стороны потенциальных читателей. Некоторые исследования показали, что исследователи готовы платить за распространение результатов своего научного труда при условии, что их работа будет принята обществом. Авторы статей, выбирающие модель «золотого открытого доступа», сообщают о значительно более низких доходах, делая акцент на престиже, поскольку цель распространить информацию в цифровую эру уже менее актуальна.

³ Иными словами, эта модель изначально не предполагает платы за доступ к информации, т. е. статьи публикуются в журналах, которые распространяют информацию бесплатно и открыто.

⁴ Данная модель подразумевает, что авторы самостоятельно архивируют свои статьи либо на собственном сайте, либо в депозитарии института, либо в общедоступном архиве.

Факты указывают на то, что открытый доступ в науке все чаще становится нормой.

Понимание и измерение доступа к данным и коду важны для картирования открытых научных источников. Исследование показывает, что менее половины респондентов во всех областях науки предоставляют данные или код журналу или издателю в качестве поддержки для их публикации. Использование хранилищ для архивирования и распространения данных, по-видимому, наиболее характерно для респондентов в области естественных наук. Неформальный обмен данными или кодом между коллегами, по-видимому, является основным способом, с помощью которого исследователи во всех областях обеспечивают доступность данных другим людям.

Как сами ученые оценивают цифровую трансформацию научных исследований и ее последствия? Данные исследований, проведенных в 2018 г., свидетельствуют в целом о позитивной оценке (рис. 7). Многие респонденты считают, что цифровизация несет в себе позитивный потенциал для развития сотрудничества, особенно трансграничного, и повышения эффективности науки. Однако сохраняя общий позитивный настрой, ученые не столь оптимистично оценивают потенциальное влияние цифровизации на систему стимулов и вознаграждений. В частности, они опасаются, что оценка деятельности будет проходить на основе цифрового «следа», в виде публикаций и цитат, а также загрузки работ на доступные платформы. Более того, ученые выражают немалые сомнения относительно способности цифровизации объединить научные сообщества и ученых с общественностью. Наконец, они не совсем уверены, что частный сектор захочет делиться цифровыми решениями, которые окажутся полезными в их работе.

Исследования и разработки как деятельность, которая а priori характеризуется стремлением к новым знаниям, играют важную роль в продвижении цифровых технологий. Информационные отрасли вносят особенно значительный вклад в экономику стран с высокой интенсивностью исследований и разработок в бизнес-секторе, на долю которых в некоторых случаях приходится чуть более половины всех исследований и разработок (рис. 8). Информационные отрасли составляют более 40% исследований и разработок в бизнес-секторе таких стран, как Эстония,

Финляндия, Ирландия, Турция и США, что подтверждает наукоемкий характер этих отраслей. Оценки не позволяют точно определить степень вклада исследований и разработок в цифровизацию промышленных отраслей. Многие компании инвестируют в научные исследования и разработки для использования полученных разработок внутри компании или в качестве отправной точки для предоставления новых товаров и услуг. Не имея возможности судить об объеме исследований и разработок в других секторах, ИР в сфере программирования и информатики не могут предоставить достоверные данные об общем объеме ИР, направленных на создание нового программного обеспечения. Например, в то время как на долю создателей программного обеспечения в США приходится 10% всех ИР, американские компании фактически выделяют в три раза больше средств на создание внутреннего программного обеспечения, которое является лишь частью другого, более крупного, проекта.

2. Влияние цифровых технологий на проведение исследований и разработок

Результаты научных исследований традиционно публикуются в специализированных научных журналах после рецензирования рукописей коллегами. Расходы на рецензирование, выпуск и распространение журналов возмещаются за счет взимания платы с читателей (или академических библиотек). Со временем вокруг научных публикаций выросла крупная и прибыльная индустрия, и многие профессиональные научные общества стали компенсировать расходы, связанные с деятельностью сообществ за счет доходов от изданий. По мере роста научного сообщества число научных журналов значительно увеличивалось вместе с общей платой за подписку. Даже в академических кругах только наиболее обеспеченные институты, главным образом в развитых странах, сумели не отстать от этой экспансии. С появлением всемирной паутины и онлайн-публикаций предельные издержки распространения научной информации сократились почти до нуля, открыв новые возможности для более широкого доступа к научной информации. Возникли новые издательские модели публикаций в открытом доступе и серверы предварительной печати (например, arXiv.org для физиков или bioRxiv.org для биологов), мегажурналы (такие как PLOS One). Институтские репозитории и онлайн-агрегаторы научной информации (такие как PubMedCentral или LENS.org) облегчают и расши-

ряют доступ к научной информации. Переход к новым моделям научных публикаций вызвал озабоченность по поводу качества и долговременности научной документации. В новую эру публикаций, лежащих в открытом доступе, не совсем понятно, как будут протекать редакционные и экспертные процессы, а также как будет вестись и обновляться академический учет. Сметные расходы на публикацию значительно различаются. Для перехода от модели рынка «читатель платит» к модели рынка высокого качества и устойчивого развития, или модели «автор платит», потребуется более качественная информация. Примечательно в этой связи, что cOAlition S – консорциум спонсоров исследований – выявил отсутствие прозрачности в отношении сборов и расходов на публикацию в открытом доступе, что несомненно служит препятствием для продвижения таких публикаций.

По мере того как на рынке публикаций появляются новые действующие лица, возрастает озабоченность по поводу роста так называемых грабительских онлайн-журналов. Эти журналы взимают с авторов плату за публикацию, но практически не проводят рецензирование и контроль качества. Подобные публикации загрязняют поле научных данных и могут подорвать общественное доверие к науке. Онлайн-каталог «грабительских» журналов, созданный библиотекарем Джеффри Биллом в 2008 г., стал важным справочным сайтом для научного сообщества. В 2017 г. прекращение обновления каталога на сайте вызвало волну сожаления, были предприняты усилия, чтобы возродить сайт.

Огромный объем научных статей перегружает как журналы, так и исследователей, которые пытаются идти в ногу со временем. Рост научных публикаций пропорционален расширению мирового научного сообщества. Здесь налицо система академических стимулов «публикуй или погибни». Ученые достигли «пика чтения», и уже слишком много научных работ отличается сомнительным качеством. Даже перед самыми престижными журналами стоит проблема обеспечения качества, и число отказов авторам неизменно растет. В некоторых областях исследований, включая биологию и психологию, наблюдается кризис воспроизводимости, а случаи неправомерного поведения ученых стали очевидными в публикациях по всем областям науки. Онлайн-форумы, такие как Retractionwatch, помогают исследовательскому сообществу выявлять сомнительные публикации, а Комитет по публикационной этике предоставляет ценные рекоменда-

ции, помогающие редакторам справляться с некачественными статьями, но, несмотря на это, число публикуемых работ сомнительной ценности продолжает расти.

Хотя цифровые инструменты не могут устранить глубинные причины информационной перегрузки и отсутствия научной строгости, они обладают возможностью справиться с этими проблемами. ИКТ могут помочь в организации, обмене и анализе больших объемов научной информации. Новые инструменты и платформы позволяют исследователям быстро выявлять документы, соответствующие их интересам, и получать к ним доступ (например, IRIS.AI). Статьи могут быть автоматически «рекомендованы» ученым на основе предыдущих историй поиска в Интернете. Программное обеспечение для борьбы с плагиатом в сочетании с системами связи данных, такими как Crossref, помогает редакторам и издателям контролировать качество. Однако эти инструменты зависят от объема внедрения стандартов и уникальных цифровых идентификаторов, которые могут поддерживаться на уровне политики в области цифровых технологий. Например, несколько исследовательских фондов, равно как и издатели, требуют от индивидуальных исследователей, чтобы они получили буквенно-цифровой код, который однозначно идентифицирует их (Открытый идентификатор исследователя и участника – ORCID).

Цифровизация создает новые возможности для экспертной оценки, которая по-прежнему лежит в основе процесса научной публикации. В некоторых областях, включая физику и астрономию, существует традиция предоставления результатов в режиме онлайн для открытого обзора и комментариев до официальной публикации. Предварительные версии архивов и открытые экспертные оценки в настоящее время тестируются в других областях, включая биологические науки. Заглядывая в будущее, можно было бы представить себе это как один из этапов многоуровневого процесса публикации, при котором более ранняя научная информация делится и комментируется сообществом, и только часть из первоначального объема в конечном итоге официально публикуется в журналах. В некоторых областях тестирование экспертной оценки проводится после публикации, что потенциально помогает сохранить качество и строгость научной документации. Некоторые сайты, например PubPeer, играют важную роль в предоставлении сообществу возможности сообщать и

обсуждать проблемы, связанные с опубликованными результатами. Такие технологии, как блокчейн, в перспективе смогут помочь обеспечить точность экспертной оценки, одновременно ускоряя процесс вознаграждения рецензентов.

Как подчеркивалось ранее, преобладающей моделью передачи научной информации на сегодняшний день является выпуск рецензируемых публикаций в конце исследовательского процесса. Однако большая часть полезной информации, получаемая в ходе исследований, включая отрицательные результаты, которые могут быть важны с точки зрения воспроизводимости, никогда не публикуется. В то время как на одном уровне ученые перегружены информацией, на другом уровне ее катастрофически не хватает, несмотря на то, что она может быть легко доступна. Здесь на помощь придут цифровые технологии. Открытые лабораторные записи в сети способны обеспечить доступ к первичным экспериментальным данным и информации. Например, историческая публикация об обнаружении гравитационных волн, которая привела к присуждению Нобелевской премии по физике в 2017 г., сопровождалась записями о проведенных экспериментах, выложенными в открытом доступе в блокноте Jupyter. Научная статья будущего имеет возможность превзойти простое повествование с краткими результатами. Например, она может включать прямые ссылки на все вспомогательные данные и запись процесса, в ходе которого эти данные были получены и проанализированы.

Цифровизация открывает возможности для передачи научных результатов и информации различными способами, которые будут не только дополнять, но и заменят традиционные научные статьи в журналах. Не все научные дисциплины в равной степени зависят от научных статей как основного средства передачи результатов. В некоторых областях общественных наук основным результатом академической работы являются монографии, а в компьютерных науках наиболее важным механизмом обмена результатами являются материалы конференций. Опять же, цифровизация и инструменты, доступные онлайн, могут расширить доступ к этим выходным данным. Использование социальных сетей, таких как Facebook и Twitter, наделено преобразующим потенциалом во всех областях науки. Уже сейчас научные блоги (например, LSE, ND) становятся важными источниками информации и все чаще цитируются в научных статьях. Публикация научных статей в наше время часто сопровождается твитами. Альтернатив-

ные метрики, или альтметрики⁵, разрабатываются для измерения влияния традиционных научных публикаций через их распространение в социальных сетях. Однако необходимо провести дополнительные эксперименты, чтобы проверить, какое влияние они действительно оказывают и как их использование в оценках может повлиять на научное поведение и доверие к науке.

Данные, которые используются в исследованиях и/или создаются в результате исследований, являются источником жизненной силы научного предприятия. Некоторые области науки сталкиваются с кризисом воспроизводимости, и в этом случае открытый доступ к данным (и коду), которые обеспечивают основу для опубликованных научных результатов, важен, поскольку он позволяет эти результаты проверить. Вторичный анализ данных и применение одних и тех же данных в различных областях исследований может дать жизнь новым научным идеям. Более широкий доступ к данным поможет сделать науку более инклюзивной и продуктивной, позволив новым субъектам участвовать в научном процессе. Интеграция данных из различных источников имеет большое значение для того, чтобы наука могла решать сложные социальные проблемы. Данные исследований также могут быть важным субстратом для инноваций и экономического роста. Особенно это касается случаев, когда данные сочетаются с математическими алгоритмами, моделями и высокопроизводительными вычислениями.

Данные, доступные онлайн, и связанные с ними сервисы кардинально изменили многие области науки – от геномики до астрономии. Глобальная система наблюдения Земли, объединяющая огромные объемы данных из космоса, океанов и наземных наблюдательных приборов, необходима для понимания того, как устроена планета, на которой мы живем, и того, как она меняется. Данные социальных сетей позволяют по-новому взглянуть на поведение человека и даже на распространение болезней. Тем не менее, несмотря на всеобщее согласие в отношении справедливых принципов, доступ к данным сдерживается рядом существенных препятствий. К ним относятся:

- затраты и бизнес-модели для хранилищ данных;
- доверие и транснациональные барьеры;

⁵ Альтметрика – изучение и использование научных мер воздействия, основанных на активности в онлайн-сервисах и средах.

- конфиденциальность и этические соображения;
- доступ к кибер-инфраструктуре и навыкам управления данными и их анализа;
- стимулы и вознаграждения.

Бизнес-модели для хранилищ данных

Хранилища исследовательских данных являются основным направлением реализации принципов FAIR⁶. Однако по мере увеличения объемов данных и роста потребностей пользователей расходы на управление данными приводят к увеличению расходов на исследования. Недавний анализ почти 50 хранилищ данных в различных областях исследований выявил ключевые параметры, способные повысить долгосрочную устойчивость этих важных инфраструктур. Следовательно, репозитории должны рассматриваться как неотъемлемая часть инфраструктуры исследований и иметь четко сформулированные бизнес-модели. Это, в свою очередь, влияет на способы финансирования и, в частности, распределение государственного финансирования. Необходимо активно использовать возможности оптимизации затрат, включая масштабность и технический прогресс. Если коммерческий сектор предоставляет хранилища и связанные с ними услуги по обработке данных для проведения исследований, то он должен ставить перед собой цель обеспечить долгосрочный доступ к ним. При этом следует избегать монопольных соглашений, которые опасны долгосрочными негативными последствиями.

Доверие и транснациональные барьеры

Международные сети передачи данных играют важную роль в обеспечении качества передачи данных через границы. Обмен данными исследований через национальные границы имеет решающее значение для многих областей науки, и в большинстве случаев это зависит не только от отдельных глобальных хранилищ данных, но и от интегрированных международных сетей передачи данных. Примерами таких сетей являются Междисциплинарная всемирная система данных, Международный альянс виртуальных обсерваторий в области астрономии и Межуниверситетская

⁶ Принципы, которыми руководствуется ОЭСР, касающиеся доступа к исследовательским данным, полученным благодаря государственному финансированию, состоят из 13 очень емких положений. Совсем недавно суть этой более ранней концепции (с акцентом на открытую науку) была кратко сведена к четырем принципам: удобный для поиска, доступный, пригодный для многоцелевого и повторного использования (FAIR – Findable, Accessible, Interoperable and Re-usable).

глобальная сеть наблюдений за верхними слоями атмосферы. Эти сети играют важную роль в обеспечении качества данных, причем членство в них зависит от соответствия согласованным стандартам и признанным системам аккредитации. Как и в случае с отдельными репозиториями, эти сети должны иметь четко определенные бизнес-модели и ценные предложения.

Однако создание и поддержание таких сетей сопряжено с рядом дополнительных проблем. Основными препятствиями для трансграничного обмена данными являются отсутствие согласованности политики и доверия между различными обществами. Несмотря на признание принципов FAIR в качестве желательной цели, на оперативном уровне существуют значительные разногласия относительно того, к каким данным, кому и каким образом открывать доступ, – отсутствуют общепринятые правовые и этические рамки для обмена различными типами данных исследований, проводимых государственными институтами.

Хотя ни одна модель не удовлетворяет требованиям всех сторон, для эффективного функционирования сетей необходимо решить ряд организационных вопросов. В частности, согласовать различные цели и потребности пользователей, а также механизмы управления. Особую трудность представляют вопросы интеграции и уважения различий в культурных ценностях и вопросы ограничения потенциала. Поскольку все эти проблемы связаны с размерами финансирования, необходимо, чтобы финансирующие организации участвовали в международных дискуссиях и форумах, таких как Research Data Alliance, для координации стратегий и поддержки инфраструктуры данных.

Отдавая должное важности технических вопросов, следует отметить, что установление доверия, возможно, является главным препятствием на пути расширения доступа к данным и реализации справедливых принципов. Это относится как к поставщикам данных, так и к пользователям. В ходе недавней работы ОЭСР по обмену научными данными и информацией во время кризисов было отмечено, что отсутствие доверия является основным препятствием для межотраслевого и транснационального сотрудничества. Безусловно, существует ряд мер, которые, вероятно, помогут достигнуть взаимопонимания и доверия, но для этого прежде всего необходимо иметь желание вести диалог.

Конфиденциальность и этика

Вопрос доверия является особенно важным в отношении доступа к персональным данным. Персональные данные становятся доступными в цифровом формате из многих источников, начиная от транзакций в супермаркетах и заканчивая социальными сетями. Они имеют огромную потенциальную ценность для исследований, особенно в сочетании с административными данными, записями, сделанными в системе общественного здравоохранения и традиционными данными, полученными в ходе исследования населения. Комбинации данных позволяют лучше понять поведение людей, экономическую систему и определить социальные детерминанты здоровья и благополучия. Стремительное развитие технологий поднимает этические вопросы об использовании персональных данных, которые выходят за рамки существующих правовых соглашений. Отдельные правовые нормы, в первую очередь Общий регламент защиты данных в Европе, содержат некоторые указания и устанавливают ограничения на использование персональных данных. Однако цифровые технологии развиваются так быстро, что новые возможности использования данных в исследованиях приводят к этическим дилеммам. Порой использование определенных данных может быть законным, но неприемлемо с точки зрения этики.

Растущая озабоченность по поводу конфиденциальности и безопасности данных подтолкнула науку адаптировать механизмы управления, которые в ней существуют. Ранее основными требованиями к использованию данных человека-субъекта в исследованиях были согласие последнего и анонимность. Однако в настоящее время оба эти вопроса ставятся под сомнение в связи с достижениями в области ИКТ. Например, можно ли получить согласие от всех людей на проведения исследований с определенной целью, если объем данных социальных сетей, где ведутся исследования, чрезмерно велик? могут ли персональные данные из одного источника быть действительно анонимными, когда их связь с другими персональными данными необходима для исследования?

Существует ряд институциональных наблюдательных советов и/или комитетов по этике исследований, которые обеспечивают надзор за тем, какие исследования проводятся с использованием новых форм персональных данных. Эти органы нуждаются в полномочиях, поддержке и экспертных знаниях, необходимых для соблюдения баланса между защитой частной

жизни и обеспечением общественного блага. Возникает острая необходимость – как внутри научного сообщества, так и за его пределами – прийти к пониманию того, где проходят границы использования новых форм данных. Трудно предвидеть все, и на этом пути возможны ошибки. Прозрачность и подотчетность будут иметь решающее значение для формирования консенсуса в отношении использования новых форм данных. Директивные органы играют важную роль в управлении и поддержке необходимых процессов, консультаций и формировании консенсуса. Например, в Великобритании мнение общественности играет важную роль в определении основных направлений политики в сфере цифровых технологий и исследовательской деятельности в рамках сети административных данных.

Более широкое вовлечение в науку

Более широкое вовлечение в науку – это третий столп концепции открытой науки. Цифровизация приподнимает завесу над научным процессом, и различные социальные субъекты, включая группы пациентов, исследователей-любителей, неправительственные организации, представителей промышленности и политики, могут с ним ознакомиться. Этот сдвиг имеет значительный потенциал для повышения качества, актуальности и внедрения в практику научных исследований. Вовлечение общества может осуществляться на протяжении всего исследовательского процесса – от разработки программы до совместного проведения исследований и распространения научной информации. В зависимости от фокуса внимания социальное взаимодействие охватывает такие концепции, как компетентные исследования и инновации, а также междисциплинарные исследования. Вовлеченность, которая зависит от доступа к научной информации и данным, трансформируется с помощью цифровых инструментов. Многие страны поощряют участие граждан, чтобы помочь обеспечить актуальность исследований и содействовать прозрачности и доверию к науке. Если наука должна обеспечить решение насущных социальных проблем, то, возможно, она должна быть более тесно связана с обществом. В этом контексте цифровизация предоставляет мощные инструменты для содействия вовлечению общества.

Первым и, вероятно, самым важным шагом в привлечении интереса граждан к науке является разработка программ исследований и определение приоритетов для инвестиций в исследования. Были определены

десять ключевых вопросов, которые следует рассмотреть при разработке эффективных открытых процессов формирования целей и задач. Прежде всего необходимо четко обосновать проведение консультаций, выбрать соответствующий методологический подход, рассмотреть, какие последствия работа будет иметь для ресурсов, и оценить ее воздействие. После изучения этих вопросов цели и задачи приобретут актуальность. В качестве примера можно привести Большой новозеландский научный проект (Great New Zealand Science Project) – национальная кампания по определению научных приоритетов, в процессе которой граждане заявили о необходимости проведения дополнительных исследований по вопросам ухода за пожилыми людьми, а не разработки лекарств для них.

Исследовательские инфраструктуры предоставляют различные общие услуги исследовательскому сообществу во всех областях науки. Цифровизация во многом меняет функционирование этих инфраструктур. Некоторые из них стоят на пороге революции в области больших данных, включая разработку соответствующего оборудования, программного обеспечения и стандартов. Исследовательские инфраструктуры находятся в центре многих вопросов, связанных с открытой наукой, – от управления информацией и данными до безопасности данных, защиты частной жизни, анализа и обучения, а также любительской науки. Действительно, рост объема данных и акцент на данные FAIR ставят под угрозу финансовую устойчивость многих исследовательских инфраструктур.

На более приземленном уровне менеджеры исследовательских инфраструктур, финансирующие организации и потенциальные пользователи постоянно сталкиваются с проблемой: определить, что такое исследовательская инфраструктура, что с ней можно делать и как к ней можно получить доступ. Ученые, вероятно, знакомы с основными исследовательскими инфраструктурами, которые обычно используются в их сфере. Однако необходимость в доступе к средствам и ресурсам в других областях исследований ощущается все более остро. Другим потенциальным пользователям этих инфраструктур – компаниям, представителям государственного сектора или любительской науки, вероятно, трудно изучить возможности исследовательских инфраструктур, связанные с их интересами. Оптимизация использования зависит в первую очередь от доступа к систематически собираемой, актуальной информации. И здесь может помочь цифровизация. Эксперты ОЭСР пришли к выводу, что реше-

нием проблемы, возможно, будет использование специальных цифровых платформ для содействия более широкому доступу к исследовательским инфраструктурам и их более эффективному использованию. Платформы варьируются от цифровых каталогов, предоставляющих стандартизированные метаданные о ресурсах, имеющихся в конкретной научной области, до национальных и региональных сервисных платформ, обеспечивающих виртуальный доступ или онлайн-бронирование объектов. Для обеспечения устойчивого и качественного обслуживания пользователей необходимо расширять трансграничное сотрудничество в области определений, стандартов и многоцелевого использования цифровых платформ.

В ходе работы группы экспертов ОЭСР были определены семь областей, требующих внимания. Из них наиболее важной является международное сотрудничество в области определений, стандартов и многоцелевого использования. Различные страны и учреждения разрабатывают специальные решения для удовлетворения своих собственных потребностей в агрегировании данных. Вместе с тем ведется долгосрочное планирование и сотрудничество с другими участниками. Например, в рамках инициативы «Картографирование ландшафта европейской исследовательской инфраструктуры» были проведены многочисленные консультации для разработки определений, глоссариев и классификаций исследовательских инфраструктур вместе с моделью метаданных. Все они находились в открытом доступе для других пользователей, но их использование было ограничено.

Помимо сбора и анализа данных ИКТ могут способствовать вовлечению сетевой общественности в новые формы открытий. Например, в 2011 г. игроки онлайн-игры по сворачиванию белков – Foldit – превзошли ученых, обнаружив структуру белка, участвующего в распространении вируса Мейсона – Пфайзера среди обезьян. Этому открытию помогло наличие сложного программного обеспечения, которое позволяло людям, не являющимся специалистами в области биохимии, визуализировать формы белков, использовать навыки распознавания и модификации форм.

На прикладном уровне многие компании используют онлайн-платформы краудсорсинга, такие как InnoCentive, чтобы содействовать решению технологических проблем, причем тем, кому удастся решить проблему, присуждаются значительные призы. Хакатоны, или марафоны

программирования, которые объединяют заинтересованных участников в режиме онлайн, являются обычным способом решения проблем разработки программного обеспечения и все чаще организуются совместно с традиционными научными конгрессами. Через сервис Kaggle, который принадлежит компании Google, специалисты по обработке данных и пользователи собираются вместе в режиме онлайн, чтобы решить те проблемы, которые представлены исследовательскими группами и частными компаниями. Открытие науки для субъектов из любительского сообщества ставит новые проблемы с точки зрения сохранения качества, обеспечения надлежащей атрибуции и этики. Привлечение нужной аудитории и поощрение эффективного участия может обернуться сложной задачей, особенно когда речь идет о наиболее важных вопросах. Лицам, принимающим решения в области цифровизации, предстоит определить, в каких конкретно областях подходы любительской науки окажутся наиболее ценными и как получить от них наилучший результат.

Продвижение и управление открытыми научными системами в цифровом мире

Существует множество действующих лиц в научной среде – учреждения и отдельные лица, на которые возлагаются определенные обязанности. Эти субъекты часто имеют различные, а порой даже противоречивые, ожидания в отношении науки. Например, декан престижного университета, ведущего исследовательскую деятельность, в первую очередь заинтересован в публикациях, вышедших из-под пера его коллег. А министерство, которое финансирует исследования, более заинтересовано в открытых данных для инноваций. Кроме того, в цифровом мире расстояние и местоположение имеют меньшее значение, чем доступ к данным и информации. Это смещает акцент на международное сотрудничество и/или конкуренцию и создает новые проблемы для управления наукой в целом. Хотя цифровизация может сделать науку более инклюзивной и более продуктивной, при переходе от старого к новому необходимо решить ряд важных политических вопросов. Они пронизывают всю науку и проявляются в различных масштабах – от локальных до глобальных. По мере того как ИКТ развиваются и открывают новые возможности, становится очевидным, что формальные правовые рамки, правила интеллектуальной собственности (ИС) и процессы установления стандартов уже не удовлетворяют требованиям времени. Коммерческие субъекты, а в некоторых случаях

конкретные исследовательские сообщества устанавливают фактические стандарты для работы в цифровом мире. Именно они определяют, как используются данные, информация и технологии. Механизмы владения и лицензирования цифровой информации и данных могут либо способствовать открытости, либо ограничивать доступ и повторное использование. Например, что касается интеллектуального анализа текста и данных, то некоторые страны недавно пересмотрели свои нормативы относительно авторского права, чтобы частично снять ограничения для исследований. Поддержание оптимального баланса между защитой ИС (которая может способствовать инновациям) и открытостью (для повышения эффективности и результативности исследований) является довольно сложной задачей. Интересно, что в некоторых областях медицинских исследований субъекты государственного и частного секторов создают новые открытые научные партнерства, в которых открытый доступ и обмен данными, информацией и последующими технологиями являются нормой.

Обеспечение происхождения научных данных и информации имеет важное значение с точки зрения гарантии качества, подотчетности и аккредитации. Цифровые следы отдельных лиц, исследовательских групп, учреждений и их научных результатов становятся существенной частью процессов оценки воздействия на науку.

Предоставление полномочий и стимулов часто наиболее эффективно, когда они используются в совокупности. Это подтверждает недавний запуск проекта Plan S, который направлен на обеспечение полного и немедленного открытого доступа к публикациям, касающимся исследований, финансируемых государством. Все получатели финансирования исследований от любого из партнеров коалиции, продвигающих Plan S, обязаны публиковаться в соответствующих журналах. В то же время финансирующие организации совместно разрабатывают новые стимулы для проведения открытых исследований. Предложения по Plan S включают переходный период, в течение которого журналы, как ожидается, станут совместными. Однако очевидно, что системы вознаграждения и признания научных исследований должны будут оценить публикацию, выложенную в открытом доступе, при условии, что она будет широко принята академическим сообществом. Примечательно, что Research Excellence Framework при оценке британских высших учебных заведений отдает предпочтение научным результатам, нежели журнальным публикациям.

Цифровизация очень быстро трансформирует науку, и это вызывает вопросы в отношении навыков, которые требуются нынешним и будущим научным работникам. Цифровые навыки занимают важное место в повестке дня образования во всех странах ОЭСР, и с экономической точки зрения наличие надлежащим образом подготовленного населения считается одним из ключевых факторов, определяющих будущую производительность. С точки зрения исследовательской политики возникает ряд вопросов: каковы дополнительные или особые цифровые навыки, которые требуются или будут необходимы для интенсивной обработки данных в науке? какие навыки необходимы научным работникам? как будут обеспечиваться необходимые навыки и что они значат для научного образования и подготовки кадров?

«Специалист по обработке данных» – это общий термин, который охватывает множество различных навыков и функций. И хотя потребности варьируются в зависимости от области, нехватка специалистов по обработке данных в государственном секторе исследований ощущается очень остро. Существует мнение, что для того, чтобы европейское открытое научное облако было эффективным, в течение следующих пяти-десяти лет потребуется подготовить 500 тыс. экспертов по данным. Трудность восполнения такого дефицита усугубляется рядом факторов. Пока неясно, в чем именно заключаются эти потребности, но в то же время появляется множество новых образовательных и учебных курсов по цифровым навыкам для научных целей. Если посмотреть на эту проблему с противоположной точки зрения, то неизвестно, насколько соответствуют новые образовательные и учебные курсы реальным потребностям. Наука о данных в ее различных проявлениях часто плохо согласуется с существующими системами академических кредитов и вознаграждений, которые зависят от результатов публикаций. Кроме того, существует острая конкуренция со стороны коммерческого сектора за квалифицированных экспертов в области цифровых технологий, которые, специализируясь на «горячих» областях, таких как искусственный интеллект, могут получать зарплату значительно выше той, что предлагается в академических кругах. Необходим стратегический подход, учитывающий все вышеперечисленные факторы.

Во многих странах практикуются значительные инвестиции в цифровую инфраструктуру, необходимую для поддержки науки. В частности, необходимо развивать хранилища данных, а также такую киберинфраструктуру,

как высокопроизводительные или облачные вычисления. Значительные средства вкладываются в технологии «следующего поколения», например квантовые вычисления. В Европе уже существует инициатива по интеграции национальных политик в сфере цифровых технологий в европейское открытое научное облако. Аналогичные тенденции могут быть прослежены в США и, в более скромном масштабе, в Африке и других регионах. Эти инициативы включают поставщиков услуг как государственного, так и коммерческого сектора, например в области хранения данных и вычислительной техники. Это вызвано тем, что в будущем важно обеспечить их долгосрочную устойчивость и адаптивность, а также избежать «блокировки», которая может возникнуть в случае монополизации. Важную роль должны играть глобальные институты, которые объединяют специалистов в сфере работы с данными и политиков для разработки стандартов сообщества, технических рекомендаций и социальных сетей (например, Альянс исследовательских данных).

Несмотря на то что открытая наука имеет большие перспективы, в современных условиях все чаще доверие к экспертам подвергается сомнению, а «альтернативные факты» становятся разменной монетой в социальных сетях и на политических форумах. Открытая наука привержена большей прозрачности и подотчетности, но это также означает более пристальное внимание к субъектам, для которых доступ к науке ранее был ограничен. Как показали дискуссии об изменении климата или безопасности вакцинации, некоторые группы ученых охотно присваивают, искажают или переосмысливают научную информацию и данные в своих собственных целях. В сегодняшней более открытой среде чрезвычайно важно, чтобы сохранялась целостность самой науки, чтобы наука была строгой, а опубликованные результаты исследований воспроизводимыми. Цифровые технологии, такие как блокчейн и искусственный интеллект, потенциально могут помочь в этом поиске. Однако еще большее значение будут иметь квалифицированный исследовательский персонал и правильная структура поощрений и вознаграждений.

3. Цифровизация и инновации: межотраслевая динамика

Цифровые технологии снизили издержки производства, связанные с информацией, и повысили «оборот» инновационных продуктов. Оцифрованные знания (т. е. знания, которые принимают форму данных) и

информация теперь могут циркулировать и воспроизводиться мгновенно любым числом субъектов независимо от их местоположения. Вследствие изменений в издержках и обороте, обусловленных наступлением цифровой эпохи, сразу несколько тенденций стали оказывать влияние на все сектора экономики.

Во-первых, основным вкладом в инновации являются сами данные. Они поступают из самых разнообразных источников (привычки покупателей, бизнес-процессы, исследования и т. д.). Данные позволили разработать совершенно новые сервисы и бизнес-модели, прежде всего благодаря наличию и возможности использовать большие объемы данных в реальном времени. В частности, появились интеллектуальные фермерские услуги, услуги по предоставлению жилья (например, Airbnb), услуги таксистов по требованию (например, Uber) и платформы для поиска, сравнения и бронирования вариантов размещения и транспорта. Бизнес-данные все чаще используются для оптимизации процессов внутри фирм, а также в цепочках поставок. Международная логистическая компания UPS использует систему управления автопарком, улучшенную с помощью анализа данных. Это позволяет оптимизировать маршрут, повысить эффективность и гибкость процессов доставки, а также снизить расход топлива. Данные также используются для прогнозирования потребностей производственных систем, что значительно снижает затраты на техническое обслуживание по сравнению с незапланированным техническим обслуживанием и ремонтом. В сельском хозяйстве данные, поступающие от множества датчиков, помогают фермерам оптимизировать использование воды и других ресурсов для повышения урожайности.

Во-вторых, цифровые услуги обеспечивают появление инноваций в сфере услуг. Цифровые технологии открывают возможности для создания совершенно новых сервисов. Службам прогнозирования технического обслуживания, например, помогает интернет вещей, который дает возможность использовать датчики и исполнительные механизмы, подключенные к программным системам. Появился веб-бизнес. Новые цифровые технологии способствовали расширению сервисов совместного использования и большей индивидуализации. Например, модели аренды оборудования как услуги могут заменить его продажу, а предприятия используют программное обеспечение и данные для адаптации продукции к конкретным

потребностям клиентов. Происходит постепенное стирание границ между инновациями в сфере производства и услуг. С одной стороны, производственные компании все чаще предлагают инновационные услуги в дополнение к товарам – процесс, известный как «сервитизация» производства, т. е. процесс расширения услуг. Например, компания John Deere, производитель сельскохозяйственной техники, разработала программную платформу, которая предоставляет услуги поддержки управления фермерскими хозяйствами на основе данных, получаемых от датчиков. С другой стороны, поставщики услуг все больше инвестируют в цифровые технологии, чтобы улучшить свою деятельность.

В-третьих, происходит ускорение инновационных циклов. Новые технологии стимулируют выход на рынок тестовых (бета) версий, которые регулярно обновляются с учетом отзывов потребителей. Это обычная практика для запуска программного обеспечения. Многие компании применяют метод «бережливого стартапа», который заключается в создании минимально жизнеспособных на рынке продуктов. После запуска производители собирают обратную связь от пользователей и дорабатывают продукт согласно полученным отзывам. Например, система FastWorks GE Appliances, основанная на принципах бережливых инноваций, вовлекает потребителей на ранних стадиях разработки новых холодильников.

В-четвертых, инновационные экосистемы отличаются все большей открытостью и разнообразием. В результате взаимодействия компаний с научно-исследовательскими институтами они получают доступ к более широкому кругу знаний и навыков, дополняющих их собственные компетенции (например, анализу данных). Такое сотрудничество позволяет разделить издержки и риски неопределенных инвестиций в цифровые инновации и, кроме того, за счет снижения затрат на коммуникацию расширить взаимодействие между участниками инновационной деятельности независимо от их местонахождения. Сотрудничество может принимать различные формы, в том числе обмен данными, партнерство, создание общих платформ, приобретение перспективных стартапов.

Цифровые технологии по-разному объединяют и трансформируют отрасли. Наиболее важными являются преобразования в сельском хозяйстве, автомобилестроении и розничной торговле, которые в целом

считаются репрезентативными для первичного, вторичного и третичного секторов.

Сельскохозяйственный сектор

Тракторы и другая сельскохозяйственная техника оснащены большим количеством датчиков, которые фиксируют информацию, относящуюся к агрокультурам (например, состояние почвы, орошение, качество воздуха, наличие вредителей). Оснащенные датчиками дроны используются для опрыскивания сельскохозяйственных культур. Данные, полученные с помощью датчиков *in situ* (на месте), установленных на беспилотных летательных аппаратах и спутниках, позволяют лучше контролировать здоровье сельскохозяйственных культур, оценивать качество почвы и оптимизировать использование ресурсов, что положительно сказывается на урожайности.

Еще одной немаловажной тенденцией в сельском хозяйстве является внедрение роботов. Сбор фруктов, уборка урожая и доение являются примерами повторяющихся и стандартизированных задач, выполняемых сельскохозяйственными роботами. Роботы также генерируют данные, которые могут быть использованы для различных целей. Например, компания Lely Industry, производитель доильных роботов, собирает данные, чтобы сопоставить информацию о кормах, здоровье животных и качестве молока отдельных коров. Хотя сельскохозяйственная робототехника находится на ранних стадиях развития, ожидается, что в ближайшем будущем она повысит эффективность сельскохозяйственного труда.

Крупные производители сельскохозяйственной техники и поставщики сырья, такие как John Deere, используют большие объемы данных, собранных с помощью интернета вещей благодаря фермерским приложениям и роботам. Полученная информация интегрируется с другими данными, например о погоде или рынках, чтобы разработать услуги «умного земледелия». Компания использует аналитику больших данных и искусственный интеллект для принятия решений по управлению фермами. Такие системы помогают фермерам определить, когда сажать или собирать урожай, какой тип культуры выбрать для посадки в зависимости от состояния почвы и рыночных цен. Кроме того, эти системы автоматически инструк-

тируют сельскохозяйственных роботов при выполнении определенных задач. Однако точное и разумное земледелие является привилегией крупных производителей. Более мелкие производители не склонны внедрять технологии точного земледелия из-за затрат на инвестиции, обучение персонала и адаптацию производственных процессов.

Автомобилестроение

В автопроме быстрое развитие цифровых технологий полностью меняет индустрию. К цифровым технологиям относятся автомобильные инновации (например, подключенные автомобили, автономное вождение), инновации в производстве (с помощью интеллектуальных фабрик или приложений «Промышленность 4.0») и новые бизнес-модели (с предоставлением послепродажных услуг и расширением услуг мобильности по требованию). Цифровые технологии привели к появлению подключенных автомобилей, которые создают, получают и обрабатывают данные, а также подключаются к другим автомобилям и устройствам. Подключенные автомобили обеспечивают повышенную безопасность и удобство водителя. Новые услуги включают в себя автоматические экстренные вызовы после аварии и предупреждения о дорожно-транспортных происшествиях в режиме реального времени, диагностику ремонта автомобилей и системы экономии времени сетевой парковки. Кроме того, навигационные системы оптимизируют планирование маршрута, учитывая условия движения в режиме реального времени.

Розничная торговля

В сфере розничной торговли цифровые инновации направлены на улучшение потребительского опыта (как в физических, так и в онлайн-магазинах) и оптимизацию процессов (например, логистику, управление складом). Самые крупные инвестиции сосредоточены на сборе данных (например, покупке и просмотре данных) и возможностях анализа данных. Такие данные дают представление о потребностях и предпочтениях потребителей, которые используются для настройки персональных сообщений, например рекламные объявления и информация о рекламных акциях. Компания Sephora использует данные из истории покупок клиентов в Интернете, применяя маяки в своих магазинах. Эти маяки посылают уведомления на смартфон, когда клиенты приближаются к товару, который они ранее добавили в цифровую корзину покупок. Однако и оффлайн-инновации не заставляют себя ждать. Умные гардеробные,

например, могут рекомендовать определенные предметы одежды. Цифровые зеркала дают возможность клиентам сравнить несколько нарядов. А автоматические платежные системы позволяют клиентам не стоять в очереди при выезде из магазина. Amazon Go недавно открыл в Сиэтле магазин без кассиров. Благодаря датчикам, камерам и другим цифровым технологиям в магазине производится оплата товаров в автоматическом режиме без необходимости сканировать штрих-коды. Инновации в онлайн-магазинах включают в себя приложения для создания или персонализации продукции (например, обуви) с помощью 3D-визуализации. Однако все эти инновации остаются единичными и в основном внедряются крупными розничными торговцами.

Степень внедрения цифровых технологий варьируется в зависимости от сектора экономики. Будущие технологические разработки имеют высокую степень неопределенности. Тем не менее, учитывая обилие цифровых технологий, некоторые сектора, вероятно, претерпят колоссальные изменения (не в последнюю очередь из-за искусственного интеллекта, интернета вещей, беспилотных летательных аппаратов, 3D-печати). Трудно предугадать, насколько резко и быстро будет происходить трансформация и какие формы она примет. В зависимости от отраслевых особенностей цифровые технологии предлагают различные возможности для следующих целей: цифровизации конечных продуктов и услуг, цифровизации бизнес-процессов и создания новых цифровых рынков и моделей.

Неравный доступ компаний к данным может создать неравномерные возможности в рамках одного и того же сектора, что, в свою очередь, будет способствовать повышению концентрации рынка. Amazon и Google, в частности, имеют гораздо больший доступ к большим объемам потребительских данных по сравнению с другими розничными торговцами. Очевидно, что существует ряд различий между сельскохозяйственным и автомобильным секторами, а также сектором розничной торговли в отношении типа данных, необходимых для инновационных целей, а также возможностей и проблем, связанных с этими типами данных. Отраслевые оценки, например, показывают, что такие сектора, как автомобилестроение и финансовые услуги, лидируют по внедрению искусственного интеллекта. Ключевые факторы, влияющие на внедрение цифровых технологий, зависят от: возможностей для освоения новых технологий, давления со

стороны рыночной конкуренции, особых характеристик сектора и его структуры, изменений запросов потребителей и уровня резистентности к изменению этих запросов.

Эффективная инновационная политика в эпоху цифровых технологий требует от правительств принятия комплекса мер, учитывающих меняющиеся условия, создаваемые цифровой трансформацией. Новый комплекс мер должен включать пять ключевых целей:

- обеспечить доступ к данным для инноваций;
- оказать поддержку и стимулировать инновации и предпринимательство;
- создать мощную государственную исследовательскую систему и обеспечить наличие квалифицированной рабочей силы;
- содействовать созданию совместных конкурентоспособных инновационных экосистем;
- разработать национальную политику в сфере инновационных технологий, которая бы учитывала не только глобальный контекст, но и интересы граждан.

Цифровая трансформация требует изменений, затрагивающих всю инновационную политику, но в разной степени. Некоторые области политики должны адаптировать свои цели к цифровым инновациям, при этом не упуская из виду основные цели. В качестве примера здесь уместно привести политику поддержки предпринимательства, внедрение цифровых технологий в МСП и разработку технологий общего назначения. Другие области нуждаются в более глубоких изменениях, включая переосмысление обоснования политики, в частности речь идет о государственной исследовательской политике (переход к открытой науке).

В связи с этим директивным органам предстоит решить ряд проблем. Национальная политика требует большей оперативности и гибкости с учетом изменений на глобальных рынках. Граждане не только должны быть хорошо информированы о новых технологиях, но и иметь возможность влиять на решения относительно финансирования тех или иных технологий, исходя из своих представлений о пользе. Наконец, правительство должно в полной мере осваивать новые навыки (например, в области искусственного интеллекта) и получить данные, необходимые

для разработки соответствующих нормативных актов, гарантирующих, что новые технологии не нанесут ущерба интересам общества.

Парадоксально, но на инновации оказывают влияние многие области, которые, на первый взгляд, не ориентированы на инновации. К ним относятся образование, налогообложение, здравоохранение, охрана окружающей среды, транспорта и поддержание здоровой конкуренции. Политика в области конкуренции особенно важна для инноваций, поскольку только правильная конкурентная среда будет стимулировать компании применять инновационные технологии на практике и тем самым стимулировать инновационный рост.

Поскольку данные в настоящее время представляют собой основной вклад в инновации, доступ к ним, а также к инструментам, которые собирают и помогают интерпретировать данные, определит, кто и каким образом участвует в цифровых инновациях. Очевидно, что на повестке дня стоит вопрос, касающийся доступа к данным. Здесь важно сохранить баланс между двумя направлениями. С одной стороны, политика в сфере данных должна обеспечивать максимально широкий доступ к данным и знаниям (стимулируя совместное использование и повторное использование) в интересах конкуренции и инноваций. С другой стороны, необходимо соблюсти ограничения, касающиеся конфиденциальности данных, этических соображений, экономических издержек и выгод (т. е. стимулов к производству данных) и прав на интеллектуальную собственность. Следовательно, необходимо учитывать не только разнообразие типов данных и систему ограничений доступа к ним, но и проблемы, связанные с формированием и использованием этих данных. Доступ к публичным исследовательским данным, например, позволяет проверять достоверность научных исследований, воспроизводить их, а также повторно использовать в дальнейших исследованиях. Некоторые правительства обеспечивают открытый доступ к данным, которые были получены государственными службами (например, мониторинг погоды, состояние городского транспорта и т. д.). Некоторые данные можно найти на сайтах государственных структур, в частности данные Великобритании (data.gov.uk), Канады (open.canada.ca), Франции (data.gouv.fr), Японии (data.go.jp) и США (data.gov).

Необходимо наличие соответствующих условий для появления рынков данных. Данные могут способствовать разработке инноваций, а также определять цену на создание данных, тем самым облегчая формирование еще большего количества данных. Рынки данных облегчают появление стартапов, которые еще не располагают достаточными данными, но нуждаются в них как части своей бизнес-модели.

Политика поддержки инноваций и предпринимательства фокусируется на четырех основных направлениях.

Во-первых, необходимо сделать так, чтобы сама политика являлась упреждающей, реагирующей на изменения и, следовательно, гибкой. Для этого необходимо провести маломасштабные эксперименты и оценить их результаты. Это позволит оценить актуальность и эффективность выбранной политики в условиях высокой неопределенности. Кроме того, в условиях быстрых изменений крайне важно оптимизировать процедуры применения инструментов поддержки инноваций. Например, программа Pass French Tech предлагает быстрорастущим стартапам упрощенный и незамедлительный доступ к услугам, помогающим им развиваться. К ним относятся услуги в таких областях, как финансирование, доступ к новым рынкам, инновации и развитие бизнеса.

Использование цифровых инструментов для разработки инновационной политики и мониторинга целевых показателей политики – это еще один способ ускорить и повысить эффективность принятия решений. Например, семантический анализ позволяет выявлять политические тенденции и прогнозировать технологические тенденции путем изучения большого объема текстовой информации (например, документов по инновационной политике, патентов, научных статей). Хотя семантический анализ все еще относится к категории экспериментальных, он позволяет выявить сильные стороны в конкретных областях исследований на основе текстовой информации, содержащейся в публикациях. Анализ дополняется сведениями из финансирующих инновационные исследования учреждений. Однако некоторые сферы, включая государственные закупки, где выставляются особые требования к безопасности данных, не оставляют места для внедрения новых технологий. В этих случаях может оказаться полезным создание государственных институтов, которые были бы связаны с развитием технологий в частном секторе. Такие институты

могли бы информировать правительства о последних технологических разработках, а также о потенциальных выгодах и вредных последствиях. Примерами могут служить такие организации, как Data61 в Австралии и Digital Catapult в Великобритании.

Во-вторых, необходимо поддерживать инновации в сфере услуг для использования потенциала цифровых технологий. Многие инновационные стратегии были разработаны для внедрения инноваций в промышленное производство. Особенностью таких стратегий являлось проведение интенсивных исследований и разработок, которые часто заканчивались получением патентов. Однако в условиях, когда ключевым направлением инновационной деятельности становятся услуги, возникают новые потребности в инновациях непосредственно в сфере услуг. В качестве примера можно привести ваучеры на проектирование услуг для промышленных МСП в Нидерландах.

В-третьих, необходимо адаптировать системы интеллектуальной собственности. Цифровизация трансформирует систему ИС, которая была разработана для осязаемых изобретений, воплощенных в физических продуктах и процессах. Цифровизация в системе ИС сталкивается с принципиально новыми вопросами. Они включают в себя способы стимулирования создания данных в контексте все более открытых систем данных, касаются права собственности на потенциально патентуемые изобретения, которые являются объектами ИИ, и риска подделки нематериальных компонентов продукции. Новые цифровые технологии способствуют обеспечению соблюдения прав ИС. В конечном счете усиленная блокчейном ИС для целого ряда нематериальных товаров (например, фотографий, музыки, фильмов) и даже некоторых материальных товаров (таких как 3D-печатные изделия с уникальными цифровыми идентификаторами) может помочь создать систему защиты для самой интеллектуальной собственности.

В-четвертых, политика должна обеспечивать разработку многоцелевых цифровых технологий для достижения коммерческих, социальных и экологических целей. Государственные исследования часто стимулируют прогресс в этих областях, в то время как все большее число некоммерческих организаций и частных компаний в последнее время преследуют такие же цели. Существует много примеров применения ИИ для решения социальных и экологических проблем. Например, спутниковые снимки по-

зволяют выявлять незаконные рыболовные суда и отслеживать изменения в коралловых рифах для своевременного проведения природоохранных мероприятий. Звуковые датчики способны обнаруживать незаконные лесозаготовки. А распознавание лиц, анализ социальных сетей и обработка естественного языка могут идентифицировать жертв сексуального насилия в Интернете.

Политика в сфере исследований и образования фокусируется на двух направлениях. Прежде всего это продвижение цифровизации в секторе государственных исследований. Например, в некоторых странах вводятся конкретные мероприятия по подготовке кадров и наращиванию потенциала. В этом заключается основная цель стратегии цифровизации сектора высшего образования Норвегии (2017–2021 гг.). Такие меры сопровождаются инвестициями в цифровые инструменты и инфраструктуры, остро необходимые для исследований (например, платформы для обмена данными, мощные компьютеры для искусственного интеллекта). Япония ежегодно инвестирует более 120 млн долл. США в строительство инфраструктуры для высокопроизводительных вычислений. Она будет доступна университетам и государственным исследовательским центрам для научно-исследовательских целей в различных областях. Стимулирование междисциплинарных исследований (например, межведомственных исследовательских проектов) и налаживание партнерских отношений с другими исследовательскими институтами и промышленными предприятиями является одним из приоритетов в контексте цифровых инноваций. В частности, приложения для науки о данных открывают новые возможности для различных академических дисциплин. Что касается партнерских отношений между промышленными предприятиями и научными центрами, то тут, безусловно, главная роль по-прежнему принадлежит отношениям в физическом пространстве. Однако цифровые платформы способны дополнить физическое пространство и создать возможности для новых видов сотрудничества, для которых географические границы не будут помехой.

Второе направление, на которое ориентируется политика в сфере исследований и образования, касается формирования цифровых навыков, в том числе в области анализа данных. Образовательные и научные учреждения играют ключевую роль в формировании цифровых навыков, необходимых всей экономике. Предполагается, что органы управления инновациями должны сотрудничать с ними для достижения сразу

нескольких целей. Во-первых, они помогают выявить новые навыки, необходимые в контексте цифровой трансформации. Во-вторых, они должны усовершенствовать программы университетской и профессиональной подготовки для восполнения острой нехватки специализированного персонала (например, специалистов по обработке данных), что часто требует создания междисциплинарных учебных программ. Органы по инновациям также содействуют подготовке кадров для МСП в традиционных секторах, чтобы обеспечить им эффективное использование потенциала цифровых технологий.

Очевидно, что в создавшихся условиях необходимо осуществлять стимулирование конкурентных, совместных и инклюзивных инновационных экосистем. Диалог между антимонопольными службами и ведомствами, ответственными за инновационную политику, должен затрагивать ключевые вопросы. К ним относятся использование данных в качестве источника обретения власти над рынком и конкурентность рынков, основной особенностью которых являются цифровые инновации. Такие рынки а priori характеризуются быстрыми инновациями (источниками конкуренции) и стремлением к экономии масштаба (источникам постоянной концентрации). Новая политика должна признавать важность масштабности, обеспечивая при этом равный доступ к рынкам и ресурсам. Поскольку конкуренция на цифровых рынках носит глобальный характер, может также потребоваться более широкое сотрудничество между юрисдикциями различных стран.

В цифровом контексте инновационная политика должна будет продолжать поддерживать совместные инновационные экосистемы. Новые подходы к стимулированию совместных инноваций включают использование краудсорсинга и создание «живых лабораторий»⁷. Эти подходы могут помочь найти инновационные решения насущных проблем и способствовать сотрудничеству между различными участниками процесса.

⁷ Концепция «живой лаборатории» основана на систематическом совместном создании продукции или услуги в интегрированных инновационных и исследовательских процессах. Интеграция проходит путем совместного создания, исследования, проведения экспериментов и оценки инновационных идей, сценариев, концепций и связанных с ними технологических артефактов, которые возможно применить в условиях реальной жизни. Эти варианты использования подразумевают, что сообщества пользователей будут выступать не только в качестве наблюдателей, но и в качестве создателей. Такой подход позволяет всем заинтересованным сторонам учитывать как общую производительность продукта или услуги, так и потенциальное принятие пользователями.

Приложение

Рисунок 1. **Десятая часть наиболее цитируемых документов в области информатики по странам: 2016**

Доля национальных документов в 10% документов с наиболее высоким рейтингом цитируемости

Примечание. Публикации по информатике состоят из цитируемых документов (статей, материалов конференций и обзоров), опубликованных в журналах, специализирующихся в этой области. Наиболее цитируемые публикации – это 10% наиболее цитируемых статей, классифицированных по научной области и типу документа. Вместо многократного подсчета публикаций, если в них участвуют две или более стран, дробный подсчет распределяет эти публикации между участниками таким образом, чтобы все публикации имели одинаковый вес.

Рисунок 2. Научные отрасли, связанные с развитием искусственного интеллекта: 2006–2016

Журнальная классификация научных документов, связанных с ИИ, в процентах от всех документов по ИИ

Рисунок 3. Самые цитируемые научные публикации по искусственному интеллекту

Страны с наибольшим количеством документов, связанных с ИИ, среди 10% наиболее цитируемых публикаций

Рисунок 4. Выпускники высших учебных заведений в области естественных наук, инжиниринга и ИКТ: 2016

В процентах от числа всех выпускников высших учебных заведений

Примечание. ИКТ – информационно-коммуникационные технологии. Данные о выпускниках ИКТ для Японии включают и данные других областей. В данные по Нидерландам не включены докторанты. Данные по Китаю не включены из-за различий в отчетности. Естественные и технические науки составляют около 25% выпускников высших учебных заведений (60% – новые докторские степени).

Рисунок 5. **Модели цифровизации по отраслям наук: 2018**
Средние стандартизированные коэффициенты оценки для четырех различных аспектов цифровизации в разбивке по отраслям наук

* Под общей наукой (general science) понимают междисциплинарную область, позволяющую ориентироваться в целом ряде основных дисциплин, таких как биология, химия, компьютерная наука, физика, психология. Обучение в этой области предполагает также изучение математики, по крайней мере в течение одного учебного года.

Примечание. Экспериментальный показатель. На этом рисунке представлены средние баллы по четырем латентным факторам, отражающим различные аспекты цифровизации для каждой научной области. Факторный анализ основан на ответах ученых на 36 вопросов, касающихся цифровых технологий. Они объединены в четыре синтетических показателя, которые были нормализованы, чтобы иметь общее нулевое среднее значение и идентичную дисперсию. Как читать этот рисунок: самый высокий балл информатики для фактора, представляющего использование передовых цифровых инструментов (серая линия), показывает высокую относительную интенсивность в этом аспекте. И наоборот, низкая относительная интенсивность наблюдается в цифровом аспекте, представляющем онлайн-присутствие и коммуникацию ученых, работающих в этой области.

Рисунок 6. **Открытый доступ к научным документам: 2017**

В процентах от случайной выборки из 100 000 документов, опубликованных в 2016 г., в разбивке по странам принадлежности

Рисунок 7. **Оценка взглядов ученых на цифровизацию науки по странам: 2018**

Среднее отношение к «позитивному» сценарию цифровизации как отклонение от среднего диапазона возможных мнений в процентах

Примечание. Это экспериментальный показатель. Межстрановые сравнения следует интерпретировать с осторожностью, поскольку принявшие участие в опросе ученые не обязательно представляют соответствующее научное сообщество. Страны, по которым было получено менее 75 ответов на опрос, были удалены. Средние баллы были взвешены с учетом плана выборки и отсутствия ответов.

Рисунок 8. Расходы бизнес-сектора на исследования и разработки в целом и в отраслях ИКТ: 2016

В процентах к ВВП

Обзор выполнен на основе следующих публикаций:

1. OECD (2020), *The Digitalisation of Science, Technology and Innovation: Key Developments and Policies*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/b9e4a2c0-en>.

Аэронавтика и космос

Биотехнологии и генетика. Сельское хозяйство, пищевая и химическая промышленность

**Информационные
и телекоммуникационные технологии
и вычислительная техника**

Исследования в области ядерной и квантовой физики

Медицинские технологии и оборудование

Нанотехнологии и новые материалы, микроэлектроника

**Социальные и экономические науки
и статистика**

Энергетика и транспорт

Экология и рациональное природопользование