

SISTEMA SCIENCE

СОБЫТИЕ

ДЕНЬ ИННОВАЦИЙ – 2021

От глобального потепления
к водородному будущему

стр. 12

НА ОСТРИЕ ЭПОХИ

ИММУНИТЕТ ИЗ МАТРИЦЫ

Как работают мРНК-вакцины

стр. 16

КЛЮЧЕВОЙ ВОПРОС

CRISPR В МЕДИЦИНЕ

Новая боеголовка на старой ракете

стр. 34

КЕЙС

ПЕРВЫЙ РОССИЙСКИЙ «ЕДИНОРОГ»

в области фармацевтики

стр. 46

ХРОНОЛОГИЯ

УКРОЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ

Взгляд сквозь тысячелетия

стр. 50

ПРОСТРАНСТВО ВОЗМОЖНОГО

ЛЕТО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

О синтезе идей и развитии материй

стр. 62

СТРУКТУРА СЛОЖНОСТИ

УЧЕНЫЕ В ПОИСКАХ НОВЫХ СМЫСЛОВ И ФОРМУЛ



АКЦИОНЕРНАЯ ФИНАНСОВАЯ КОРПОРАЦИЯ

СИСТЕМА

КРИЗИС РЕПЛИКАЦИИ

ПОЧЕМУ СОВРЕМЕННАЯ НАУКА СТАЛА ЧАЩЕ ЗАБЫВАТЬ ПРО ДОСТОВЕРНОСТЬ



С МОМЕНТА первого обнаружения COVID-19 стал горячей темой для научных исследований. По данным журнала Nature, более 200 тысяч научных статей и препринтов по данной теме были опубликованы в 2020 году. Многие из них критиковались научным сообществом за слабую доказательную базу, недостаточный уровень проработки и впоследствии были удалены. В результате пандемия обострила наблюдаемый в науке кризис воспроизводимости, описанный в 2005 году в статье профессора медицины Джона Иоаннидиса.



Термин «кризис репликации» ввел в обращение Джон Иоаннидис в своей статье 2005 года. Он означает, что большинство результатов актуальных исследований не могут быть воспроизведены в ходе повторного эксперимента, т. е. с высокой вероятностью их первоначальный результат является ложным.

Научно-техническая революция 50-х годов XX века и появление компьютера дали сильнейший толчок развитию прикладных научных направлений. Жизнь человека качественно изменилась. Параллельно с наукой шло активное развитие СМИ и распространение интернета, результатом стала информационная революция, оказавшая, в частности, значительное влияние на научное сообщество. Если в 2000 году в мире насчитывалось менее 10 тыс. научных журналов и около 800–900 тыс. научных публикаций, то к 2018 году цифры выросли до 30 тыс. журналов и более 2,5 млн публикаций в год. Рост значимости технологий также привел к тесному переплетению экономики и науки, инновации стали залогом успеха в бизнесе. В результате исследования и новые разработки превратились в важный источник дохода для научных институтов.

НЕПРОСТОЙ КОМПРОМИСС

По мнению немецкого социолога XX века Никласа Лумана, усиление связей между наукой, экономикой и СМИ привело к тому, что наука как система перестала отвечать на главный присущий ей вопрос — «правда или ложь» — в части проводимых исследований. Его приоритет стали оспаривать экономика («прибыльно/убыточно») и СМИ («популярно/непопулярно»). В результате цель научных исследований стала компромиссом между научной новизной, заработком и ростом популярности ученого.

Одним из первых вопросов качества научных исследований в XXI веке поднял профессор медицины и политики в области здравоохранения Стэнфордского университета Джон Иоаннидис. В своей статье 2005 года «Почему большинство опубликованных результатов исследований ложны» Иоаннидис на основе собственного опыта неудачных репликаций экспериментов других ученых выступил с мнением и математическим обоснованием, что многие, если не большинство, научные исследования в области медицины ложны, а методы их доказательства не соответствуют высоким научным стандартам. Впоследствии подобные анализы проводились и для других наук.

Масштабное исследование журнала Nature (*Nature*, «Is there a reproducibility crisis?», 26 May 2016), в рамках которого был проведен опрос более 1500 ученых, подтвердило гипотезу Иоаннидиса: более 70 % респондентов хотя бы раз сталкивались с невозможностью воспроизвести результаты эксперимента другого ученого. В целом

90 % опрошенных согласились с утверждением, что в современной науке наблюдается кризис воспроизводимости.

ПУБЛИКУЙСЯ ИЛИ ПОГИБНЕШЬ

По мнению респондентов, в более чем в 90 % случаев невозможно повторить результаты экспериментов, т. к. в погоне за славой новых открытий ученые публикуют только части исследований, подтверждающих их гипотезы, или в свет выходят недостаточно проработанные исследования из-за давления на ученых по принципу «публикуйся или погибнешь» (publish or perish), который подразумевает, что успешный исследователь должен регулярно публиковаться. Остальные причины чаще всего связаны

Факт
С увеличением сложности проводимых исследований растет и сложность идентификации сделанных в ходе эксперимента ошибок.

с плохим качеством выборки, нечетким описанием хода исследования, неоднозначными формулировками и так далее.

Стоит отметить, что с увеличением сложности проводимых исследований растет и сложность идентификации сделанных в ходе эксперимента ошибок. Благодаря развитию технологий анализа больших данных и искусственному интеллекту, в XXI веке наблюдается взрывной рост использования компьютерных программ для моделирования и проведения экспериментов, особенно в естественных науках. При этом для большинства ученых программы являются черным ящиком, т. к. разработчики ограничивают доступ к исходному коду либо зачастую у исследователей не хватает навыков программирования, чтобы разобраться в нем и скорректировать.

Так, в 2019 году группа шведских ученых обнаружила, что после очередного обновления одна из наиболее популярных программ для моделирования белков, липидов и нуклеиновых кислот — Gromacs — стала выдавать результаты, отличные от полученных в ходе аналогичных экспериментов, проведенных ранее. Причиной стала ошибка в коде программы, из-за которой научная

Уловки шарлатанов

На фоне роста популярности здорового питания, сопровождаемого публикациями научных статей о полезности тех или иных продуктов, Джонатан Шенфельд и Джон Иоаннидис провели интересное исследование: случайным образом они выбрали 50 ингредиентов, включающих сахар, молоко, разные виды мяса и прочее, из «Поваренной книги Бостонской школы поваров» и проверили наличие научных публикаций, связывающих отобранные ингредиенты с развитием онкологических заболеваний. В результате они обнаружили научные статьи, доказывающие связь 40 ингредиентов из 50 отобранных с развитием раковых заболеваний, при этом в 80 % случаев исследования имели столь слабую статистическую доказательную базу, что, по мнению Шенфельда и Иоаннидиса, не могли считаться достоверными. В результате авторы сделали вывод о возможной несостоятельности большинства нутрициологических исследований и необходимости унификации подходов к проведению экспериментов в этой области науки.

значимость более 150 опубликованных работ оказалась под вопросом.

СИМПТОМ ФУДЖИ

Нередки в науке и случаи преднамеренного мошенничества, подгона результатов и фальсификации данных, имеющие под собой корыстные цели. Лидером по количеству сфабрикованных результатов исследований считается японский анестезиолог Ёши-така Фуджи, на счету которого 183 опровергнутые научные работы, по части из них эксперименты не проводились вовсе. Другим ярким примером ученого-фальсификатора является голландский психолог Дидрик Александр Штапель, основатель Института исследований в области бихевиоральной экономики, 30 из 130 работ которого были признаны сфальсифицированными. Этот список можно продолжать и далее, точно количество неблагодетельных ученых, к сожалению, никому неизвестно.

Важно отметить, что кризис репликации в науке оказывает серьезное влияние на бизнес, для которого растут издержки поиска перспективных и достоверных научных разработок, а также возрастают риски инвестиций в технологии, которые никогда не получат практического применения.

Можно с уверенностью заявить, что наблюдаемый в науке кризис репликации не только подрывает доверие к новым открытиям, но и может иметь более серьезные последствия в медицине, психологии и других науках, которые непосредственно взаимодействуют с человеком, высокотехнологичных бизнес-направлениях.

Для борьбы с проблемой научное сообщество предлагает повышать стандарты подготов-

ки и описания исследований, уделять больше внимания качеству исследований молодых ученых и их менторингу, снижать важность цитируемости и частоты публикаций в оценке работы ученых, однако преодолеть сложившуюся ситуацию пока не удалось.

Чтобы лучше понять причины кризиса и его остроту, мы обратились к российским ученым из разных областей науки, которые поделились с нами своим мнением по данному вопросу.



Дмитрий Алексеевич ЛЕОНТЬЕВ, профессор, доктор психологических наук, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Международная лаборатория позитивной психологии личности и мотивации:

Кризис репликации является частью общей тенденции повышения качества данных и достоверности уровня выводов, которая, в частности, вызвана опережающими темпами развития методов математической обработки данных, позволяющими отделять «научное» от «ненаучного». На практике четко воспроизводимые данные являются идеалом, который не всегда достижим.

В психологии последнее время появляется достаточно много статей, посвященных невозможности воспроизвести классические эксперименты 60–70-х годов, которые проводились при менее строгих стандартах сбора и обработки экспериментальных данных. Некоторые из них носят панический характер, делая предположение о ложности почти 70 % научных экспериментов в психологии.

При этом важно понимать, что с момента зарождения психологии как науки постоянно ведутся дискуссии о том, должна ли она строиться по образцу и подобию других наук или же должна иметь собственную специфику. Один из величайших психологов XX века Курт Левин писал о том, что неправильно считать, что психология исследует только статистические закономерности, психические закономерности тоже подчиняются законам, однако число переменных и факторов, влияющих на них, настолько велико, что все их невозможно учесть. Из-за этого возникает иллюзия невозможности данных, хотя на самом деле два эксперимента различаются важными переменными, которые не были учтены.

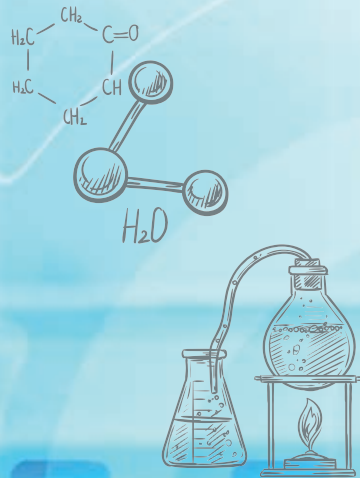
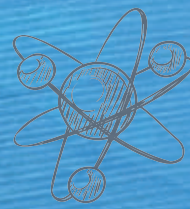
Также стоит учитывать, что психологические данные не всегда устойчивы во времени. Один и тот же человек может вести себя по-разному в рамках одного эксперимента в разное время, т. к. его состояние изменчиво. Человек живет в огромном количестве параллельно существующих для него контекстов, и исследователь не может учесть их все в ходе эксперимента, что отличает кризис репликации в психологии от общего его понимания.

Для повышения точности экспериментов обычно используются коллективные исследования, когда один и тот же эксперимент с предварительно зарегистрированной схемой проведения и сформулированными гипотезами проводится сразу несколькими группами ученых, что позволяет усреднить данные и снизить предвзятость.

Важной особенностью экспериментов в психологии являются их этические аспекты. Например, сейчас уже невозможно репликация нашумевшего Стэнфордского тюремного эксперимента именно в связи с тем, что его морально-этическая сторона неприемлема в современном обществе.

Тюрьма как декорация

Стэнфордский тюремный эксперимент был проведен в 1971 году американским психологом Филиппом Зимбардо. Для целей эксперимента в подвале Стэнфордского университета была организована условная тюрьма для 24 испытуемых, которые случайным образом были разделены поровну на охранников и заключенных. Эксперимент был прекращен на 6-й день из-за слишком жестокого поведения охранников. В результате автор эксперимента сделал вывод, что внешнее окружение и оправдывающая поведение людей идеология оказывают на человека большее влияние, чем внутренние особенности его личности. Исследование и его результаты неоднократно подвергались критике не только по этическим соображениям, но и из-за ограниченности выборки (в эксперименте участвовали только белые мужчины в возрасте от 20 до 25 лет), методов поиска участников и прочее. Также, по мнению ряда психологов, эксперимент был постановочным, на что могут указывать некоторые записи, сохранившиеся в Стэнфордском университете.



Владимир Константинович ИВАНОВ,

доктор химических наук, член-корреспондент Российской академии наук, Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН:

Чем дальше мы занимаемся наукой, тем более сложные системы мы изучаем. Такие системы могут вести себя непредсказуемо, что снижает вероятность успешной воспроизводимости экспериментов. Хорошим примером может служить теория детерминированного хаоса, когда незначительное малое изменение одного параметра приводит к сколь угодно большому изменению в системе в целом.

Другой объективной причиной кризиса воспроизводимости является отсутствие идеальных схем и дизайнов экспериментов. Стандартным приемом у экспериментаторов остается метод проверки отклика системы на изменение одного из параметров, когда остальные зафиксированы. Но это не всегда удается сделать, так как не всегда понятно, какие параметры являются управляющими и способны оказывать влияние на систему. Например, во время экспериментов обычно не фиксируют атмосферное давление,

которое может влиять на концентрацию растворенного в воде кислорода и, как результат, сказываться на результатах химического эксперимента.

В основе кризиса воспроизводимости лежат и субъективные причины, такие как неполное документирование хода эксперимента и его условий. В химии скорость реакции может, например, зависеть от того, из какого материала изготовлена химическая посуда, при этом зачастую на такие детали не обращают внимания, что может мешать точно воспроизведению эксперимента. Другие возможные причины снижения вероятности воспроизводимости в химии — чистота реактора и качество реактивов, которые могут различаться в разных лабораториях.

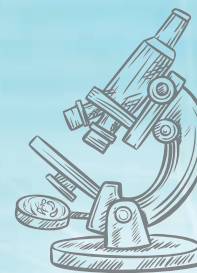
Самым же негативным сценарием является сознательная фальсификация данных. Чаще всего в основе фальсификации лежит необходимость чрезвычайно активно публиковаться для достижения карьерного роста. Лидерами по фальсификации можно назвать Китай, Индию и некоторые другие азиатские страны, а по тематике это обычно биология и медицина.

Для борьбы с фальсификациями лучшие мировые научные журналы запрашивают у авторов статей «сырые» данные, полученные непосредственно с приборов, т. к. их подделка стоит очень дорого либо вообще невозможна, что снижает экономическую целесообразность публикации фальсифицированных статей.

В целом главенствующее стремление к росту числа публикаций и их цитируемости ведет к проявлению в науке принципа «монетаристского минимализма», описанного Пелевиним, когда во главу угла ставится факт публикации в популярных журналах, а не ее содержание и научная ценность.



ФОТО: ИВАН БУДДИКОВ



Последняя капля

Крупнейшим фиаско XXI века не только в науке, но и в бизнесе можно назвать компанию Theranos, основанную Элизабет Холмс, которой на момент основания компании не было и 20 лет. Компания обещала создать компактное устройство, способное проводить сложные исследования всего по капле крови. Компания привлекла более \$700 млн инвестиций и на пике оценивалась в \$9 млрд. Однако в 2016 году прокуратура США завела дело в связи с вводом инвесторов и властей в заблуждение из-за отсутствия реальных научных достижений и мошенничеством с результатами испытаний нового устройства.



Иван Леонидович ЕРМОЛОВ,

профессор РАН, доктор технических наук, Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН, Научный совет по робототехнике и механике Российской академии наук:

Фундаментальная причина кризиса воспроизводимости является в первую очередь нравственной: финансовые показатели стали доминирующими для вузов и науки, они мотивируют увеличение количества публикаций, при этом их качество закономерно снижается. На самом же деле финансы должны являться для науки средством, а не целью. В бизнесе это явление также проявляется в том, что если раньше на 10 инженеров приходился 1 маркетолог, то сейчас ситуация поменялась с точностью до наоборот: главным стал вопрос «как продать», а не «что». И, конечно, эта ситуация не обошла науку стороной.

Другие причины являются прикладными и связаны с отсутствием унифицированного экспериментального оборудования, что особенно проявляется в таких отраслях, как ядерная энергетика, где оборудование является очень дорогим, или в тех отраслях, где оно быстро устаревает, как, например, в робототехнике. Также к негативным факторам можно отнести недостаточное количество проведенных экспериментов для подтверждения гипотез (что может быть вызвано финансовыми или временными ограничениями) и невозможность учета/воспроизводства всех условий проведения эксперимента.

В России особенно остро стоит вопрос обновления экспериментального оборудования, так как большая его часть является устаревшей и не позволяет проводить современные сложные эксперименты. Иногда известные научные журналы не принимают статьи российских ученых, потому что заведомо знают, что не смогут повторить результаты эксперимента, ведь он был проведен на устаревшем по мировым стандартам оборудовании. Хотя последние годы ситуация стала улучшаться: происходит определенное обновление приборной базы в рамках национального проекта «Наука».

Для снижения остроты проблемы важна работа с молодыми учеными, необходимо учить студентов правильно проводить эксперименты, чему в России уделяется недостаточно времени. Отдельного внимания требует получение навыка работы с оборудованием, что особенно важно для студентов технических вузов, т. к. излиянная цифровизация может негативно влиять на качество экспериментов, в частности ввиду отсутствия полного доступа к исходному коду ПО и оборудования.