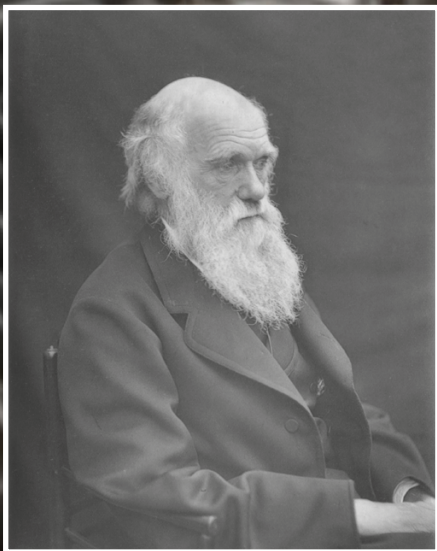


газета, выпускаемая учеными и научными журналистами

## О ЧЕМ БЫ Я ХОТЕЛ ПОГОВОРИТЬ С ДАРВИНОМ



Удастся ли нам понять, как возникла жизнь? Нужно ли беспокоиться о том, кому (не) дают Нобелевскую премию? Какова роль метафор во взаимовлиянии лингвистики, физики и биологии? Почему научная работа бывает похожа на обливание кота пивом, а в лучших случаях — коней шампанским? Об этом и многих других проблемах биоинформатик Михаил Гельфанд побеседовал с эволюционистом Евгением Куниным в рамках нового проекта «Разговоры за жизнь».

— Немного странное занятие брать интервью у человека, которого давно и довольно хорошо знаешь, но они обычно хорошо и получают. Женя, кем вы себя внутренне называете? Когда вас спрашивают, кто вы как ученый, какое у вас самоназвание: биолог, биоинформатик, молекулярный биолог?

— У меня есть разные шляпы. Но точно не биоинформатик. Я предпочитаю говорить: evolutionary biologist. «Эволюционный биолог» по-русски звучит по-дурацки, наверно, — это может звучать «эволюционист», что ли, я не знаю.

— Ну вот сразу и начинается: эволюционисты, креационисты...

— Вот именно! Поэтому это что-то другое, да.  
— Это модная наука?  
— Как вам сказать... В общем, по-видимому, теперь довольно-таки да.

— Последний год, я понимаю...

— Нет-нет, последний год — это вишенка на торте. Не в последний год, а в последние двадцать — двадцать пять лет благодаря геномам, потом high-throughput sequencing, experimental evolution всё это стало выглядеть по-другому — и наука эта стала модной... Но может быть, это лишь wishful thinking. Однако, безусловно, эта область исследований стала уважаемой. Когда я всё это начинал, лет тридцать назад и даже чуть больше, в общем-то, оно уважаемым и не было. А теперь определенно стало.

— Лет десять назад мы с Анной Любецкой, моей студенткой, составили список всех биоинформатиков — формально всех, кто публиковался в журналах со словом «биоинформатика» в названии, — потом подобрали все их статьи, не только в биоинформатических журналах, собрали все ключевые слова в этих статьях и каждому слову приписали в каждый заданный год вес — насколько чаще или реже оно стало употребляться в этом году по сравнению с предыдущим. После этого каждому биоинформатику приписали сумму весов тех слов, которые он употреблял в своих статьях в каждом году.

— И таким образом меряется то, что можно назвать trendiness...

— Если сумма положительная, мы это назвали *vogue*, а если отрицательная, то, чтобы никого не обижать, *vin tage*.

— Ну хорошо...  
— И угадайте: кто оказался самым винтажным автором?

— Ну как кто — естественно, ваш покорный слуга, кто же еще?

— Вот именно. Получается, что это не модная наука.

— Я не уверен, что это сейчас так уж бы воспроизвелось. Я думаю, что в последнюю декаду это дело выходит на передний план; я не утверждаю, что там стало *literally in vogue*, но тем не менее оно выходит на передний план.

— В том, что вы делаете, какое соотношение внутренней научной программы и некоторого оппортунизма: подвернулась хорошая коллаборация — вот мы что-то с ней сделали, или подвернулись хорошие данные, какой-то интересный геном — вот мы тоже свой кусочек...

— Или случилась, не приведи Господи, пандемия...

— И пандемия тоже...

— Это хороший вопрос. Давайте скажем так, чтобы обидно не было: пятьдесят на пятьдесят, потому что я совершенно не отрицаю оппортунизм, да и не осуждаю.

— Так вы себя называете эволюционным биологом, а биоинформатики-то — они по определению оппортунисты.

— Да, конечно. Я надеюсь, что в эти оппортунистические отношения мы все-таки тоже вносим фундаментальный компонент — эволюционную биологию. Поскольку, как известно, «биология приобретает смысл только в свете эволюции», вот мы и стараемся этому всегда следовать, поэтому пятьдесят на пятьдесят. И это еще немножко *flattering*. Может, там, если поточнее разобраться, и шестьдесят процентов оппортунизма.

— Что самого интересного происходило в эволюционной биологии за последний год? Не год, а десять лет... За какой-нибудь разумный срок... Я даже не знаю, какой срок разумный — за год, за десять лет, за пять? Всё меняется с такой скоростью... Это сразу два

вопроса: что самого интересного происходит вокруг и что самое интересное, чем вы больше всего довольны, что у вас лучше всего получалось?

— Давайте вокруг — из того, что делаем мы. Меня сейчас больше всего интересует *experimental evolution*. И тут, понятное дело, работы Ричарда Ленского (Richard Lensky), но теперь это уже, конечно, далеко не только он, но и многие другие, и это ужасно увлекательно: видеть, как всякие явления — селекция, фиксация чего-то случайного и неслучайного, то, что называется *clonal interference*, замена одной линии другой, — как это всё происходит в динамике непосредственного эксперимента. Это очень интересно наблюдать.

А внутреннее... а внутреннего на самом деле за последние пять лет было довольно много, и я тут, наверное, могу показаться нескромным. Мне кажется, как я говорил в своем докладе на недавно проходившей конференции<sup>1</sup>, к моему собственному изумлению, нам удалось в основном разобраться в истории вирусов: как происходила эволюция всего того разнообразия, которое мы видим. И соответственно, в структуре этого разнообразия. Произошла кристаллизация нашего понимания, что меня самого очень поразило: там всё дополняется, но не разваливается — это прекрасно.

— Вы ожидаете, что никаких принципиально новых вирусных полимераз не обнаружится?

— Нет, не обнаружится. Я вполне могу предсказать, какие полимеразы, которые уже есть у хозяев, могли бы быть захвачены и использованы какими-то достаточно редкими вирусами (потому что, если не редкими, мы бы это знали). А вот принципиально новых нет и не будет.

Но с другой стороны, раз мы коснулись проблемы «разнообразие vs единство» (*diversity versus unity*), есть еще всякие удивительные открытия, в которых мы поучаствовали... Тут

Окончание см. на стр. 2–3

<sup>1</sup> Moscow Conference on Computational Molecular Biology, 30 июля — 2 августа 2021 года.

### В номере

#### «Разговоры за жизнь»

Беседа Михаила Гельфанда с Евгением Куниным открывает новую серию интервью по биологии — стр. 1–3

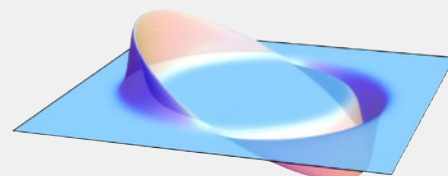
#### Сохранить «Мемориал»\*

Фрагменты выступлений просветителей во время Чрезвычайного марафона в Zoom — стр. 4–5



#### Наука будущего

Виктор Березин, Вячеслав Докучаев и Юрий Ерошенко о варп-двигателе — стр. 6–7

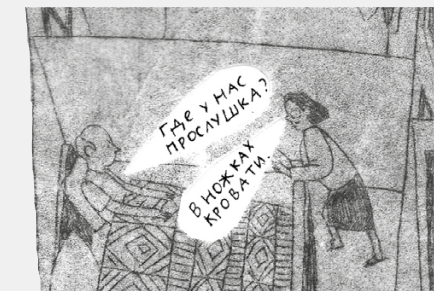


#### На переднем крае

Диалог Бориса Штерна с Игорем Ткачевым о загадке темной материи — стр. 8–9

#### Личность

Катя Гуцина о выставке в «Мемориале»\*, посвященной А.Д. Сахарову, — стр. 10



#### Образование

Леонид Перлов о страстях вокруг ЕГЭ — стр. 11

#### Диссернет

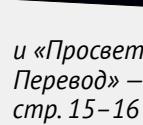
Лариса Мелихова о переходе от имитации науки к имитации общественной деятельности — стр. 12

#### Don't Panic!

Елена Клещенко о новом штамме омикрон — стр. 14–15

Дмитрий Зимин: «За радость познания!»

Названы имена лауреатов премий «Просветитель»



\* В реестре «иноагентов» Минюста РФ.

Окончание. Начало см. на стр. 1

надо сказать — чтобы уж совсем не быть скромным — и про других. Есть, в частности, Ротем Сорек (Rotem Sorek) в Вейцмановском институте, довольно замечательный. И мы с ним как-то параллельно исследуем разнообразие и эволюцию систем иммунитета, защиты от вирусов и прочих генетических паразитов...

**— Бактериального иммунитета?**

— Да. Мы наблюдаем ряд совершенно поразительных явлений. Комбинаторное разнообразие строится из сравнительно небольшого числа элементарных блоков, элементарных частиц в некотором смысле, а число комбинаций — невероятное, как в химии, особенно органической: атомов мало, а что из них наделывается — это какая-то «жуть».

**— Вы занимаетесь самыми глубокими эволюционными историями, какие только можно себе представить. Эволюция вирусов — это может быть даже до эволюции всего остального.**

— Сложный вопрос, но глубокий.



**— Во всяком случае, это самое глубокое, куда мы можем залезть — в обычной, в клеточной жизни, дальше LUCA<sup>2</sup> мы пройти не можем, — но с вирусами вы, по-видимому, залезаете дальше.**

— Это не совсем верно, можно заглянуть и в историю существенно глубже.

**— Паралоги (гомологичные гены, которые разошлись в результате дупликации. — Ред.) еще можно смотреть.**

— Вот именно.

**— Немного дальше...**

— Намного. Конечно, LUCA давно был, но в принципе — немного.

**— Изучение паралогов не так много скажет про этих предков LUCA.**

— Про то, какие они были, — к сожалению, да, очень мало.

**— Тем не менее вирусы — это самая глубокая эволюционная реконструкция, которую можно себе представить. Глубже этого только происхождение генетического кода, про который вы тоже высказывались.**

— Я думаю высказаться и про то, что было еще раньше.

**— Это уже к химикам. А с другой стороны, вы говорите, что самое интересное, что сейчас происходит, — это эволюционные эксперименты, где исследуются как раз события быстрые и недавние. Я понимаю, если бы это было интересно мне, потому что я вообще смотрю, как штаммы эволюционируют.**

— Я тоже смотрю, как штаммы эволюционируют.

**— Как у вас в одной голове сидит такая глубокая эволюция и очень поверхностная?**

— Вот это тоже отличный вопрос. Сидит, и еще более глубокая, чем мы с вами обсуждали, вплоть до неких теорий, которые обобщаются до эволюции (не вполне органической). Однако сидит. Мне это нравится. Я сознательно, нарочно так делаю, так живу.

**— А какая область эволюционной биологии или упомянутой выше биоинформатики вам неинтересна?**

— «Неинтересно» в отношении эволюционной биологии — это плохое слово.

**— Не сидит в голове.**

— На это легко ответить. Всё то, что называется evo-devo<sup>3</sup>, эволюция многоклеточных организмов и особенно их развитие в деталях.

**Нам надо серьезно поговорить... за жизнь**

Никита Лавренов, научный журналист, зам. главреда «Кот Шрёдингера», биолог

Были времена, когда биологи именovali себя естествоиспытателями. Они путешествовали по джунглям и пустыням, привозя в мировые столицы чучела птиц и зверей, банки с гадами в формалине, черенки и семена диких растений. На смену им пришла эра биологов, изменивших мир открытиями, совершенными в четырех стенах лаборатории: Луи Пастер, разоблачивший концепцию самозарождения жизни, а позже Александр Флеминг, по оплошности открывший мир антибиотиков, Томас Морган, установивший законы наследования признаков, Джеймс Уотсон с Фрэнсисом Криком, выяснившие молекулярный принцип этого наследования... Даже после революционного открытия последних наши представления о жизни существенно изменились и продолжают изменяться, а в контексте пандемии они еще и вызывают неподдельный интерес широкой общественности. Заниматься вопросами живого теперь прерогатива не только биологов; математики, физики, химии, медики — и биология вышла за рамки самой себя, стала чем-то большим, что на Западе обрело лаконичное название life sciences.

Важных событий и открытий в этих самых life sciences теперь столько, что даже специалисты едва успевают следить за тем, что же происходит в соседней отрасли. Чтобы сложить некий глобальный портрет «наук о жизни», Сколтех в партнерстве с Российским научным фондом и при поддержке ведущих СМИ запускает новый медиапроект, имя которому — «Разговоры за жизнь». Это цикл интервью с самыми яркими фигурами из наук о жизни: российских и зарубежными; «классическими» биологами, «мокрыми» и биоинформатиками; корифеями и молодежью, добившейся ярких успехов на научном поприще. Среди героев, в частности, главный врач ГКБ № 23 имени И. В. Давыдовского кардиолог Елена Васильева; профессор Сколтеха эволюционист Георгий Базыкин; иммунолог профессор МГУ, заведующий лабораторией иммуногенетики ЦНИИТ РАМН Александр Апт.

«Троицкий вариант — Наука» открывает этот проект беседой за жизнь с Евгением Куниным.

**Зоолог Александр Цетлин, профессор, директор Беломорской биологической станции МГУ, рассказывает Михаилу Гельфанду о современных студентах и червях с причудливыми челюстями. Фото Евгения Гурко**

**Нейробиолог Филипп Хайтович в «Разговорах за жизнь» делится взглядами на воспитание детей по науке. Фото Евгения Гурко**



**— Почему?**

— На это очень трудно ответить, тут играет роль уже и какая-то... не подберу русское слово... contingency.

**— Привычка? Преимущество?**

— Да, преимущество, история, случай.

**— Двадцать лет назад не с кем было делать всякие омиксы<sup>4</sup>, просто потому что не подвернулось, а потом так уже и пошло?**

— Вроде того.

**— Evo-devo в значительной степени сидит на омиксах.**

— Не сложилось, не хотелось, да и данных не было. С другой стороны, evo-devo сидит на понимании биологии такого уровня сложности, который меня совершенно пугает. Я хочу хотя бы как-то представлять то, чем мы занимаемся. Когда я смотрю книгу Эрика Дэвидсона (Eric H. Davidson) — царствие ему небесное, замечательный был человек, — то схемы, которые я там вижу, у меня вызывают полный ужас. Нарисовать-то можно, а вот на человеческом языке объяснить — по-моему, нет. Я таким не хочу заниматься.

**— Может, вам просто мясорубки<sup>5</sup> не нравятся?**

— Мясорубки тоже не очень. А с другой стороны, какая область биоинформатики меня

<sup>4</sup> Эксперименты по получению и анализу больших данных в биологии.

<sup>5</sup> Программы для анализа больших данных в биологии.

интересует? Да почти никакая, в общем-то, не интересует.

**— Биоинформатика в данном случае — инструмент, у нее нет областей, так же как и у электронной микроскопии.**

— Не могу с вами согласиться: и там, и там есть области настоящих, серьезных исследований. Есть замечательные люди, которые интересуются алгоритмами.

**— Это замечательные люди, которые нам делают новый микроскоп, спасибо им за это.**

— Есть люди, которые получили свои глубоко заслуженные Нобелевские премии за новые микроскопы.

**— За что бы могли дать Нобелевскую премию в эволюционной биологии или биоинформатике?**

— В эволюционной биологии, наверное, ни за что, потому что она не встраивается в рубрикации Нобелевских премий...

**— Не канает под медицину и физиологию? Или по нынешним временам anything goes?**

— Увы, ни под вышеперечисленное, ни под химию. Вот за что дать Нобелевскую премию в биоинформатике — тут я четко знаю, у меня есть даже некоторое внутреннее знание, конкретное. Безусловно, нужно дать за программы поиска сходства последовательностей... Скрининга баз данных на сходство последовательности, FASTA, BLAST и так далее.

**— Мы с Джимом Фиккетом<sup>6</sup> уже очень давно, лет двадцать назад, обсуждали, за что могли бы дать Нобелевку математическим биологам, и придумали, что за структуру белка.**

— И за это в какой-то мере, да.

**— То есть получается, что Нобелевку надо давать «Гуглу»<sup>7</sup>?**

— За некоторые варианты структурного моделирования уже дали Майклу Левитту<sup>8</sup>; «Гуглу» и Дэвиду Бейкеру<sup>9</sup>, конечно, надо дать. Но с другой стороны, это несправедливо, потому что сравнение последовательностей на практике, по крайней мере пока, гораздо важнее, на этом весь мир держится.

**— Это кому как — это важнее вам, потому что вы занимаетесь глубокими эволюционными изысканиями...**

— Нет-нет... Любому биологу...

**— ...А людям важнее структура.**

— Но ведь это небольшое комьюнити. ▶

<sup>6</sup> James Fickett, один из основателей GenBank.

<sup>7</sup> За программу AlphaFold (Jumper et al. // Nature. 2021. DOI: 10.1038/s41586-021-03819-2).

<sup>8</sup> Michael Levitt, Нобелевская премия 2013 года по химии «за развитие многомасштабных моделей сложных химических систем».

<sup>9</sup> David Baker, имеется в виду программа RoseTTaFold (Baek et al. // Science. 2021. DOI: 10.1126/science.abj8754).



**Елена Васильева во время дневного обхода — неотъемлемого эпизода ее будней. Фото Евгения Гурко**

**Михаил Гельфанд, вице-президент по биомедицинским исследованиям Сколтеха, научный руководитель медиапроекта «Разговоры за жизнь»:**

«События последних двух лет показали, что биология — это самая важная из наук (впрочем, биологи это знали давно, если не всегда). Если же серьезно, то именно в биологии происходит наиболее быстрый и глубокий прогресс: от понимания молекулярных механизмов работы клетки до эволюционной истории человека. В проекте участвуют ученые, которые работают в очень разных областях — от классической зоологии до молекулярных основ работы мозга, от эволюционной биологии до биомедицины, — и потому он дает представление не просто о многообразии, но о единстве биологии и о пронизывающих ее связях».







**Введение  
и история вопроса**

Специальная теория относительности (СТО) — прекрасный хрустальный дворец для физиков, но она лежит камнем преткновения, досадным препятствием на пути у писателей-фантастов. Согласно СТО нельзя двигаться быстрее света, поэтому стремительные межзвездные путешествия становятся невозможными. Правда, для самих путешественников время сокращается, и еще (по мысли фантастов) их можно погрузить в длительный сон. Но остающиеся на Земле соратники получают радиосообщение от другой звезды в лучшем случае спустя несколько лет после старта корабля. Что уж говорить о путешествиях на тысячи световых лет или к другим галактикам... Это ограничение одновременно подстегивало фантазию, и в своих книгах фантасты все препятствия без труда преодолевали. Они придумали нырки через подпространства, нуль-транспортировки и многое другое. В целом была надежда, что в будущем наука нечто подобное откроет, а техника — реализует.

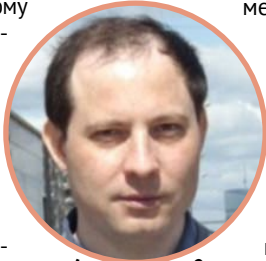
А что могут сказать об этом физики-теоретики с позиций сегодняшнего дня, основываясь только на более-менее установленных фактах и концепциях? Одним из предложенных способов обойти (но не нарушить!) ограничение по скорости света стали кротовые норы — решения общей теории относительности в виде трубок или тоннелей. Для поддержания кротовой норы требуется вещество со специальными свойствами — обычно это «экзотическое вещество», нарушающее так называемые энергетические условия. Оно обладает отрицательной плотностью массы и/или большим по величине отрицательным давлением. Однако даже если научиться производить такое вещество в больших объемах, непонятно, как можно организовать пространственно-временной тоннель, который имел бы выход в заданной точке в далекой области Вселенной. Вероятно, само строительство тоннеля займет много времени, так что сразу быстро перелетать из одного места в другое, скорее всего, не получится.

Но относительно недавно, в 1994 году, Мигель Алькубьерре (Miguel Alcubierre) предложил новый способ перелетов, который (пока лишь в теории) позволяет свободно перемещаться в любых направлениях без предварительного строительства тоннеля. Мигель так наглядно объясняет свою идею: позади космического корабля пространство раздувается, а спереди, наоборот, сжимается. За счет этого корабль может перемещаться вперед со сколь угодно большой скоростью относительно внешних наблюдателей. Речь идет о варп-двигателе, называемом в англоязычной литературе Warp Drive, а мы его можем назвать «космическим Тянитолкаем». Тянитолкай — сказочное животное с двумя головами, спереди и сзади, одна половина которого тянет всё туловище вперед, а другая его толкает.

Интересно, что идея движения, основанного на сжатии пространства, эксплуатировалась фантастами уже давно. Например, принцип работы варп-двигателя представлен в одной из серий фантастического фильма «Стартрек» (Star Trek). Сжатие и расширение пространства означает выход за пределы СТО, и Мигель Алькубьерре действительно смог записать



Вячеслав Докучаев



Юрий Ерошенко

метрику, создаваемую варп-двигателем, в рамках общей теории относительности (ОТО). Тем самым варп-двигатель из разряда гипотез писателей-фантастов перешел в разряд научно обсуждаемых вещей. И теперь, когда мысль сформулирована на математическом языке, ее уже можно детально обсуждать с научной точки зрения. Далее мы кратко остановимся на нескольких ключевых моментах идеи варп-двигателя.

**СТО, ОТО  
и сверхсветовые скорости**

Напомним об основных положениях СТО и ОТО (общей теории относительности), важных для понимания проблемы варп-двигателя. СТО базируется на двух постулатах: скорость света одинакова во всех инерциальных системах отсчета и физические процессы во всех таких системах одинаковы. Из этих постулатов, в частности, следует, что скорость света является максимально возможной для любого материального тела. В вакууме безмассовые поля (и, конечно, сам свет) движутся точно со скоростью света, а массивные тела, как бы мы их ни разгоняли, могут лишь стремиться к скорости света, но никогда ее не достигнут.

Именно на этом основано ограничение для дальних космических перелетов. Какой бы мощный двигатель мы ни установили на ракету, свет она не догонит. Оставшиеся на Земле люди вынуждены будут ждать годы и десятилетия, пока космический корабль долетит до ближайших звезд, даже если его разогнать до релятивистской скорости. Релятивистской называют скорость, близкую к скорости света (от английского *relative*, относительный, по названию теории относительности). А лететь, например, к центру нашей Галактики с релятивистской скоростью придется двадцать пять тысяч лет. Результаты столь дальних перелетов станут известны лишь далеким потомкам тех, кто запустил ракету. Кстати, еще одно следствие постулатов СТО — сокращение времени. Поэтому сами путешественники, двигающиеся с релятивистской скоростью относительно Земли, имеют шансы достигнуть отдаленных мест еще при жизни.

# Варп-двигатель — космический Тянитолкай

Виктор Березин, Вячеслав Докучаев и Юрий Ерошенко  
(Институт ядерных исследований РАН)

Отметим, что предельный характер скорости света не означает, что вообще ничто не может двигаться быстрее света. Речь идет только о материальных телах и сигналах. Если, например, посветить фонариком на Луну и быстро двигать рукой, держащей фонарик, то граница тени будет бежать по поверхности Луны быстрее скорости света.

Что нового привнесла ОТО? Прежде всего — это можно назвать сущностью теории — было понято, что четырехмерное пространство-время не плоское, а может быть искривлено. Искривление вызывается материальными телами или, более точно, тензором энергии-импульса материальных тел. Это искривление математически описывается уравнениями Эйнштейна. Величина искривления, например, в Солнечной системе составляет тысячные доли процента, но этого искривления достаточно для движения планет по орбитам вокруг Солнца. Вся Вселенная в одной из моделей может быть искривлена так, что в больших масштабах она замкнута сама на себя, хотя на малых расстояниях это искривление практически незаметно.

Но искривление пространства-времени может быть и очень значительным. При выгорании в звездах ядерного топлива их центральные части могут сжиматься до очень малого объема; при этом гравитационное поле нарастает так сильно, что даже свет не может вырваться из такого объекта. Это — черная дыра. Существование черных дыр уже практически доказано: сложно сомневаться в их наличии во Вселенной после наблюдения гравитационных волн от столкновений объектов, обладающих предсказываемыми свойствами черных дыр, и после наблюдения тени черной дыры в галактике M87.

Другой интересный вариант искривления пространства, пока только гипотетический, — это упоминавшиеся выше кротовые норы. Прямая связь между варп-двигателем и кротовыми норами, по-видимому, нет. В предложенных до сих пор вариантах теории это разные метрики пространства-времени, и одну в другую не удается перевести каким-либо преобразованием координат.

**Что предложил  
Мигель Алькубьерре?**

Как мы уже сказали, кротовую нору нужно предварительно построить и лишь затем по ней путешество-

вать. Это не очень удобно. А нельзя ли создать нечто подобное динамической кротовой норе, которую космический корабль будет непрерывно достраивать спереди от себя и закрывать сзади, при этом перемещаясь вперед по имеющемуся кусочку тоннеля?

Примерно так должен действовать двигатель Мигеля Алькубьерре, который был описан строго математически в рамках ОТО в статье, опубликованной в одном из лучших научных журналов *Classical and Quantum Gravity* [1]. Только кусочек тоннеля в этом случае более правильно называют «пузырем Алькубьерре», так как он не имеет топологии трубки.

Если говорить на математическом языке, автор статьи использовал 3+1 формализм и задал буст в одном из пространственных направлений с помощью вектора сдвига. Этот вектор является произведением скорости перемещения и функции, определяющей форму пузыря, в котором находятся путешественники. Альку-



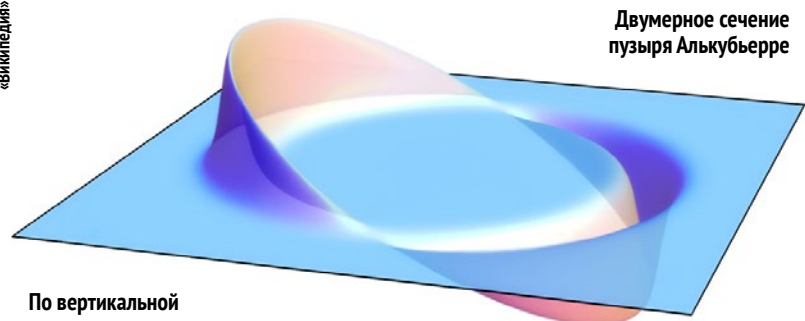
Виктор Березин

личина давления меньше по величине, чем плотность, — естественные требования для «обычной» материи. Нарушение этих условий ведет к необходимости экзотической материи для реализации варп-двигателя. Позже были предложены другие варианты варп-двигателя без экзотической материи.

Решение Мигеля Алькубьерре имеет горизонт событий на границе пузыря. Это означает, что свет изнутри пузыря не сможет достигнуть его внешней границы и поэтому у пилота звездолета не будет способов перераспределять экзотическую материю по поверхности пузыря и тем самым управлять движением пузыря. Не исключено, что эту проблему как-то можно преодолеть; например, можно заранее наметить траекторию движения пузыря, чтобы не было необходимости в корректировке курса.

**Почему варп-двигатель  
не противоречит  
теории относительности**

Мы видим, что кротовые норы и варп-двигатель способны обойти ограничение, связанное с предельным характером скорости света. Не нарушить, а именно обойти. Если фотон летит в вакууме, то никакой материальный объект, двигаясь по той же траектории, не сможет этот фотон обогнать. Но в стороне от траек-



Двумерное сечение  
пузыря Алькубьерре

По вертикальной  
оси показана величина сжатия  
и расширения пространства

бьерре записал один из возможных видов этой функции (в форме шляпы), но возможны и другие варианты. Скорость перемещения может превосходить скорость света и формально быть любой, однако при этом потребуются разные энергетические затраты. Еще одна важная особенность решения М. Алькубьерре заключается в том, что собственное время пилотов звездолета внутри пузыря равно внешнему координатному времени, т. е. в данном случае отсутствует известное из СТО сокращение времени — весь полет и процессы внутри звездолета происходят «в реальном времени» земных наблюдателей.

Автор написал (т. е. фактически «нарисовал», не решая уравнения Эйнштейна) метрику пространства-времени «звездолета», и затем подставил эту придуманную метрику в уравнения Эйнштейна (в левую их часть, ответственную за геометрию) и вычислил правую часть — тензор энергии-импульса необходимой для этого материи. Назвать это решением очень проблематично. Такой метод «решения» физики-гравитационисты называют «обратной инженерией»: сначала задается метрика, а затем из уравнений Эйнштейна находится соответствующий ей тензор энергии-импульса.

Оказалось, что для поддержания «пузыря Алькубьерре» требуется совершенно особое вещество с отрицательной плотностью. В решении Алькубьерре нарушается слабое энергетическое условие и условие энергодоминантности. Эти условия означают, что плотность энергии, измеряемая любым наблюдателем, должна быть положительной и что абсолютная ве-

теории фотона можно так искривить пространство-время, что в заданную точку можно будет прилететь раньше фотона через кротовую нору или с помощью варп-двигателя. Мы не обгоним фотон, а просто придем в ту же точку по более короткому пути в искривленном пространстве-времени. Похоже на то, как было с кротовой норой, но только здесь реализована другая идея обхода.

Простой пример. Вам нужно перейти через высокий горный перевал на другую сторону. Вы можете сначала подняться на вершину, а потом спуститься вниз. Но если есть более короткий тоннель сквозь гору, то по нему вы можете пройти до пункта назначения гораздо быстрее. Скорость света является предельной только локально, однако наличие разных путей в пространстве-времени дает возможность попасть в нужную точку раньше света, если свет движется по более длинному пути. В плоском пространстве-времени (как говорят, в пространстве Минковского) для света существует лишь один путь. Но наше пространство не плоское, поэтому ОТО дает принципиальную возможность построения разных путей в виде кротовых нор, варп-двигателей и, возможно, чего-то еще, более удивительного и ошеломляющего.

Когда говорят, что варп-двигатель позволяет двигаться быстрее света, то имеют в виду, что вне траектории его движения пространство может быть плоским, как в СТО. Поэтому с точки зрения внешних наблюдателей нечто движется быстрее света, который мог бы двигаться вдоль той же линии в этом плоском пространстве. Как мы уже объяснили выше, в ОТО такая ситуация вполне возможна, если имеется экзотическая материя. ▶



Доктор Айболит с Тянитолкаем.  
Иллюстрация В. Конашевича к сказке  
К. Чуковского «Доктор Айболит»



— Мой первый вопрос — о современном статусе темной материи. Мы уверены, что она реальна. Сохранились ли до сих пор исследователи, которые в своих статьях пытаются заменить темную энергию модификацией физических законов? Например, модифицированной ньютоновской динамикой...

— Конечно, такие есть. Однако свидетельств о существовании темной материи много, и они железобетонные. Давайте напишем простые школьные формулы. Центробежное ускорение тела в поле тяготения тела массой  $M$ :  $a = GM/r^2$ , откуда скорость тела, вращающегося по орбите вокруг этого тела:  $v = \sqrt{GM/r}$ .

В Солнечной системе скорость именно так и падает. Когда мы смотрим на галактики, мы можем измерить скорости пробных тел, а именно скорость газа, который вращается в галактике, как функцию радиуса. Для орбитального вращения в галактике скорость сначала растет с радиусом, поскольку растет масса вещества внутри радиуса. Потом, за пределами галакти-

# Нескучная темная материя



О разных гипотезах происхождения темной материи, о том, какие гипотезы уже можно отвергнуть, а какие кажутся перспективными, главред нашей газеты **Борис Штерн** поговорил с астрофизиком академиком РАН **Игорем Ткачевым**.

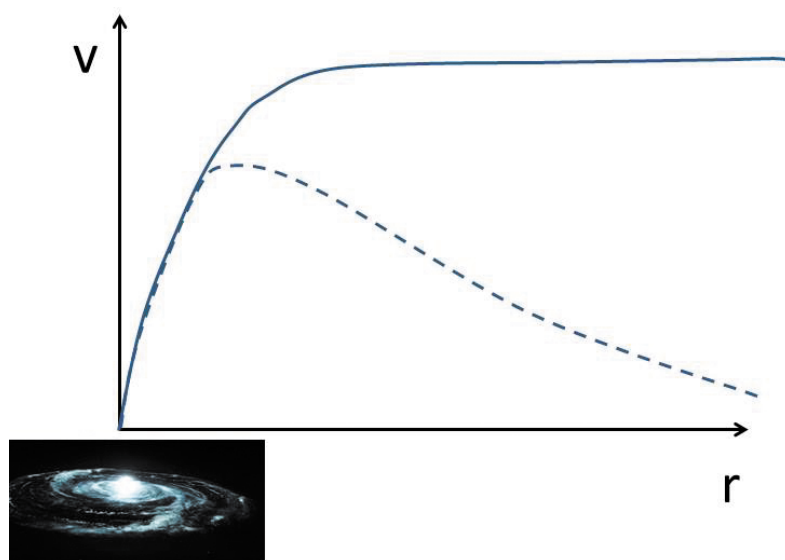


Рис. 1. Зависимость скорости орбитального вращения газа от радиуса орбиты

ки, скорость должна падать как  $1/\sqrt{r}$ , но здесь этот закон нарушается — получается очень красивая зависимость (см. рис. 1) скорости вращения от радиуса. Причем сама галактика, высвечиваемая звездами, имеет на рисунке довольно малый размер.

Получается довольно интересная зависимость: чтобы скорость оставалась постоянной, масса тяготеющего вещества, заключенная внутри радиуса  $r$ , на каком-то интервале уже вне галактики пропорциональна этому радиусу:  $m \sim r$ , причем звезд там уже нет. Это лишь один из аргументов в пользу существования темной материи; если их все перечислять, то у меня не хватит пальцев на руке.

На самом деле еще в 1980-х годах придумали, как объяснить именно этот феномен без темной материи. Может быть, надо модифицировать выражение для центростремительного ускорения? Сейчас это называется «модифицированная гравитация», изначально это называлось «модифицированной ньютоновской динамикой» (МОНД). Скоро стало понятно, что модифицированная динамика не сработает, поскольку не будут выполняться законы сохранения импульса, но для простого варианта модифицированной гравитации сохранилось название МОНД. Она в принципе работает на галактических масштабах, но, как я уже сказал выше, аргументов [за темную материю] гораздо больше, и в скоплениях галактик МОНД уже не работает — там приходится ввести темную материю и добавлять ее к модифицированной гравитации, что некрасиво. Кроме того, модифицированная гравитация — нерелятивистская теория, а требуется релятивистское обобщение — нужно модифициро-

вать общую теорию относительности. Ученые интенсивно работают, но теории, которая всё бы объяснила и заменила бы теорию Эйнштейна, пока нет, хотя исключить существование такой теории нельзя.

— А как такая теория объяснила бы космологию?

— Мы поймем, как это было бы в космологии, когда найдем, чем заменить уравнения Эйнштейна. А пока один из аргументов такой: если бы не было темной материи, галактики не успели бы образоваться. Эйнштейну было хорошо: у него в руках был принцип эквивалентности, он знал, как модифицировать законы Ньютона, — тогда однозначная теория гравитации появляется на кончике пера. Для модификации теории Эйнштейна такой путеводной звезды уже нет: слишком много вариантов, и ни один не работает.

— Но мне кажется, слишком много зацепок, свидетельствующих именно о темной материи.

— Да, зацепок по наблюдательным данным много, повторюсь, что пальцев не хватит для независимых свидетельств, которые надо было бы объяснить, если отбросить идею темной материи. Напротив, она объясняет их все, ну, почти все — есть нестыковки, но они на уровне ошибок измерений. Другое дело, что, сколько бы аргументов ни приводилось в пользу теории, ее нельзя доказать. Можно только опровергнуть — для этого достаточно одного факта, который бы не укладывался в теорию.

— В принципе динамику галактик и скоплений можно объяснить протокирпичами: летают себе протокирпичи или астероиды в пространстве, они же не светятся. С этого ведь и начали.

— Да, с этого и начали, для объяснения кривых вращения галактик этого достаточно. Еще погасшие звезды, черные дыры. Такие гипотезы были популярны до 1980-х.

— Так почему все-таки протокирпичей недостаточно?

— Если бы темная материя была протокирпичами, тогда галактики не успели бы образоваться. Вселенная на ранних стадиях была заполнена ионизированной плазмой, причем протокирпичи входили в ее состав, и эта плазма мешала первоначально неоднородностям сформироваться в галактики. А неоднородности из электрически нейтральной темной материи могут начать развиваться раньше. Из материала протокирпичей не образуются структур.

— А что может быть темной материей? Если частицы, то каких масс? Что-то еще?

— Интересных вариантов сейчас не так уж много. Это могут быть новые частицы — известные частицы не годятся — либо первичные черные дыры, хотя и это непросто: в простых теориях инфляционной Вселенной они не образуются. Да и широкий интервал масс первичных черных дыр исключен наблюдениями.

— Насколько я помню, для того чтобы первичные черные дыры составляли темную материю, их массы должны быть как у астероидов и маленьких планет. Иначе они видны в микролинзировании. А меньшие по массе испарятся.

— Микролинзирование — это уже старая история; сейчас основной источник информации — гравитационные волны. Гипотеза, что черные дыры — это темная материя, не исключена,

но сейчас столбовая дорога по объяснению существования темной материи — новые частицы.

— Какой массы они могут быть?

— Любой. Больше, чем  $10^{-24}$  эВ, ну или, наверно, меньше планковской, если это частицы.

—  $10^{-24}$  — это ограничение из-за огромной комптоновской длины волны? Частица не помещается в галактике?

— Да, частица не помещается в карликовую галактику, когда ее комптоновская длина волны — килопарсек.

— Теперь недоумение по поводу легких частиц. Они формировались в молодой Вселенной и по идее были в термодинамическом равновесии с другими частицами, с теми же фотонами. Значит, во времена формирования галактик они должны были иметь энергию в доли электронвольта — это скорей релятивистская, чем холодная материя.

— Так и думали на ранних стадиях развития теории. Но такое заключение справедливо, если частицы темной материи имеют достаточно сильное взаимодействие. Но это предположение не имеет обоснований.

— Ну нейтрино же рассматривались как вариант темной материи. Они же взаимодействуют слабо, но термализовались.

— Вопрос, насколько сильно, насколько слабо.

— То есть предполагается, что легкие частицы темной материи взаимодействуют гораздо слабее, чем нейтрино?

— В общем, да. Самый хороший пример — аксионы. Они очень легкие: самый предпочтительный порядок их масс —  $10^{-5}$  эВ. Есть всякие

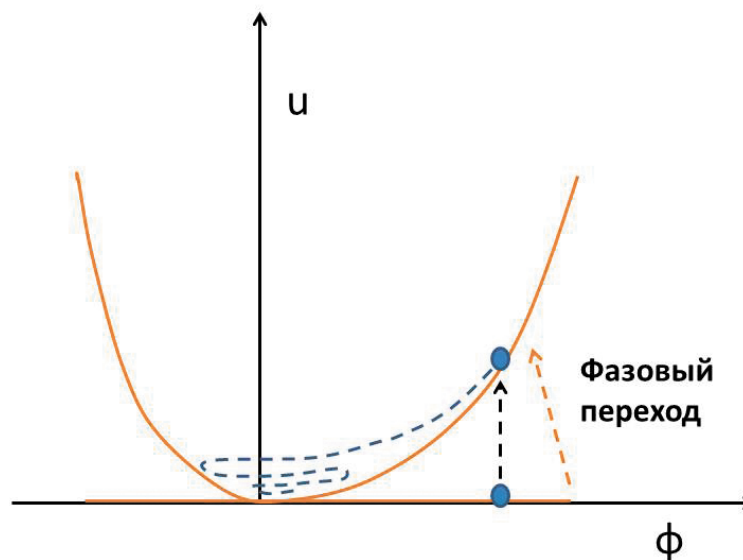


Рис. 2. При температуре ниже, чем масштаб квантовой хронодинамики, потенциал поля становится параболическим

обобщения, возникающие в теории струн, которые дают массу до  $10^{-24}$  эВ. Эти аксионы образуются нетермальным механизмом, он очень простой. Чтобы легкие частицы создали достаточно глубокую гравитационную яму, этих частиц должно быть очень много. Если частицы — фермионы, то такой вариант отпадает: из легких фермионов этого сделать нельзя. А если это бозоны — из них можно сделать классическое поле, как электромагнитное. И уже надо рассуждать не в терминах частиц, а в терминах поля.

Есть несколько способов возбудить это поле в ранней Вселенной. Самый простой выглядит так. У любого поля есть потенциал. У аксионного поля он зависит от температуры. На ранних этапах он был нулевым, а само поле генерируется. Так устроена квантовая теория вкупе с гравитацией. Утрируя: если что-то может генерироваться, то оно и появляется. При температуре ниже, чем масштаб квантовой хронодинамики, потенциал становится параболическим, как на рис. 2, и поле оказывается на «склоне» потенциала и начинает скатываться к минимуму, где начинает осциллировать. Эти осцилляции — не что иное, как колебания классического поля, где очень много частиц в одном состоянии с импульсом близким к нулю. А если импульс мал, значит, они холодные, несмотря на то что очень легкие, причем не успевают термализоваться из-за того, что очень слабо взаимодействуют.

— Отлично. То есть аксионы, несмотря на свою малую массу, остаются холодной темной материей?

— Даже ультрахолодной.

— Но почему они должны быть связаны именно с хромодинамикой?

— В принципе мы можем взять частицу любой массы с потолка и объяснить с ее помощью существование темной материи. Но это неинтересно. Интересно, когда такая частица предсказывается из каких-то других соображений, а затем оказывается хорошим кандидатом на роль темной материи.

Аксион как раз такой. Его ввели в теорию из следующих соображений. Известно, что в сильных взаимодействиях четность почему-то не нарушается, но если посмотреть на лагранжиан теории, то это очень странно — вообще говоря, она должна нарушаться.

Поэтому придумали такую модель, в которой нарушение четности компенсировано аксионным полем. Как только поле скатывается в ноль, нарушение четности в сильных взаимодействиях исчезает. Это очень красиво. Сначала, когда ввели эту теорию, думали, что масса аксиона — порядка характерного масштаба хромодинамики, примерно как у пи-мезона. Но очень быстро стало понятно, что если аксионы столь тяжелы, то и взаимодействуют сильно. Сразу поставили эксперименты на ускорителях и нашли, что таких тяжелых аксионов быть не может, что аксион должен быть легче 1 эВ. Тогда они взаимодействуют очень слабо, что не мешает им решать проблему сохранения четности в сильных взаимодействиях. Вариант  $10^{-5}$  эВ прекрасно решает все проблемы.

— Значит, то, что мы ищем в первую очередь, это холодная темная материя? Но есть же еще вариант теплой.

— Есть теплая, есть горячая, хотя варианты с горячей темной материей уже закрыты. Характерные скорости в галактике —  $10^{-3}$  от скорости света. Квадрат этой скорости примерно равен гравитационному потенциалу ямы. При большей скорости, как у горячих частиц, галактики из них просто не образуются, а частицы разлетаются.

— Правильно ли я понимаю, что на роль холодной темной материи годятся и аксионы, и WIMP-ы (ВИМП, WIMP — Weakly Interacting Massive





# Прожить рождение и смерть Сахарова



Я считаю, что лучшая мотивация для творчества — это дедлайн. Сложно сказать, собралась бы я делать проект про Андрея Сахарова, если бы не приближавшийся дипломный год в университете. Я заканчивала магистратуру ВШЭ. Что такое диплом в Школе дизайна? Это самостоятельное произведение, серия рисунков, инсталляция, фильм, коллекция, книга... Мой профиль обучения называется «печатная графика» — это особая техника создания изображения и его тиражирования. Специализация узкая, сложная и немного волшебная: все эти пляски с кислотой, бумагой, красками и огромными печатными станками позволяют почувствовать свою исключительность. Я решила, что буду делать графический роман — это вполне отвечало и моему желанию завершить учебу в Вышке чем-то монументальным, и требованиям к диплому как к законченному произведению. Герой нашлся быстро. Я сама из Нижнего Новгорода, и Сахаров всегда будто был где-то неподалеку: как физик, потому что мой отец — радиофизик; как ссыльный, о котором я узнала из рассказов родителей папиных друзей; и как автор бомбы (это единственное, что было сказано об А.Д. Сахарове в школьных учебниках). Графический роман состоит из текста и изображений. Я начала с текста — и выписала себе двухтомник сахаровских «Воспоминаний» в хорошем издании. Решила, что, раз передо мной стоит настолько сложная задача, стоит в качестве поддержки окружить себя эстетически красивыми вещами. В двухтомнике были фото-

графии, большие сноски и приятный шрифт, но самым главным было содержание. Я начала читать его в небольшом пути в метро к подруге и через полтора часа вышла со станции с улыбкой. Книга была замечательная. При ее прочтении в голове начинало проигрываться яркое кино, и мне оставалось только успевать зарисовывать кадры оттуда. Дом детства и дворовые игры, бескрайнее звездное небо в Ашхабаде, куда эвакуировали МГУ, лаборантки среди груд патронов на заводе в Ульяновске... И везде была какая-то причина для улыбки: в дворовых играх Чунгачук охотился на Дубровского, звездное небо сияло над спящими от жары на крышах студентами, а среди лаборанток с учебниками пристроился Андрей: его выгнали из парткабинета на заводе, узнав, что он читает не Маркса и не Энгельса. Вот этими улыбками и шутками, разгоняющими тучи, и пронизана вся биография Сахарова. Я выписывала и иллюстрировала их, но скоро мне стало тревожно. Имею ли я вообще право смеяться в такой серьезной работе? Ведь это были очень тяжелые времена, и ты никогда не мог быть уверен, что

мана, я поставила на слайде логотип «Мемориала»\* с подписью: «„Мемориал“ разрешил смеяться». В ожидании своей очереди на предзащиту я нервно листала один из Сахаровских сборников и наткнулась на письмо Андрею Дмитриевичу из маленькой деревни во Владимирской области. Фамилия отправителя письма была Гущин. Больше я не волновалась... Предзащита прошла хорошо, и я получила разрешение вернуться в магистерскую. Текст для книги был готов, и я чувствовала радостное головокружение, ведь получалось, что я сделаю к диплому и текст, и картинку, то есть в два раза больше, чем обычно требуется. Началось самое ответственное во всей дипломной работе: печатный процесс. Для каждого изображения готовится пластина — кусок прозрачного пластика, по которому процарапывается изображение. В ход идут игла, резак, наждачная бумага — словом, всё, что может оставить след. Если это, например, сцена выступления Сахарова на Втором съезде народных депутатов, то я предварительно ищу как можно больше информации об этом событии: фотографии, реплики, воспоминания, делаю скриншоты из того самого видео с Сахаровым на трибуне (я не могу смотреть его без слез; моего мужа, который старше меня на девять лет, это умиляет). Когда пластина готова, в нее втирают краску, кладут

общественного деятеля). Так что экскурсию для своих гостей я проводила в духе «бульдозерной выставки»: вытаскивая спрятанные рамы из самых неожиданных мест. В эмалированной кастрюле лежал попкорн, а шампанское мы пили из больших хрустальных советских стопок (раздобыть десять венгерских бокалов за пару дней до защиты оказалось невозможным). Сразу же после защиты я получила от «Мемориала»\* приглашение выставиться в их пространстве. Идею выставки поддержало представительство Евросоюза в России. Пространство было непросто: это холл, куда выходит три двери из помещений сотрудников. Я визуальнo разделила его на три части, три эпохи в жизни Сахарова: учеба и бомба; диссиденты; ссылка. Каждую из дверей заклеили этой периодом, соответственно: МГУ и эвакуация; кремлевский банкет, на котором Хрущев сказал, что «будет последним слюнтяем, если будет слушать таких, как Сахаров»; и съезд народных депутатов. Четвертая дверь вела к большому залу, и мы закрыли ее картиной с траурной процессией на похоронах. Эта дверь всегда была приоткрыта — получался именно тот эффект, на который я рассчитывала: что смерти нет и что мы можем всегда пройти через нее туда и обратно, чтобы вернуться в это пространство памяти.



Чтобы добавить объема выставке картин, Саша предложила поставить депутатское кресло Сахарова — тогда у посетителя появлялась возможность как-то взаимодействовать с выставкой. Есть известная фотография, как на кресло Сахарова во Дворце съездов после его смерти приносили цветы и записки. Копию кресла нам сделало бюро «Два вершка», гвоздики и розы мы стараемся регулярно менять, а записки пишу посетители после экскурсий.

Еще один выделяющийся экспонат — это стена с портретами, которые были напечатаны на мастер-классах. Вместе с посетителями мы читаем письма, которые приходили Сахарову, и пытаемся понять: а что за люди их отправляли? Ведь в письмах есть и угрозы, и просьбы защиты, и чертежи летающих велосипедов! Мы продумываем, как могли выглядеть эти персонажи, потом царапаем их по пластику и печатаем в той же технике, в которой сделаны остальные работы выставки. Получается такая галерея лиц — печальных, вдохновенных, агрессивных и тревожных, — которая дополняет ряд картин.

Практически каждые выходные я провожу экскурсии и мастер-классы. Это непростое занятие: обычная экскурсия длится не менее часа, это очень эмоциональный рассказ. Мы переживаем за Андрея, только поступившего на работу на патронный завод, смеемся над тем, как ему пришлось бежать за рецензентами перед защитой диссертации (студенты, которые приходят на экскурсию, не смеются, а плачут — эти мучения им знакомы), разглядываем карту «Арзамаса-16», ведем обратный отсчет до взрыва бомбы, смеемся над слезкой, тревожимся во время голодовок, гордимся выступлением на съезде, а потом горюем во время похорон. Многие посетители не могут сдержать слез в конце. Мне тоже тяжело. Но они уйдут, придет следующая группа, и мне придется снова прожить рождение и смерть, и так много-много раз.

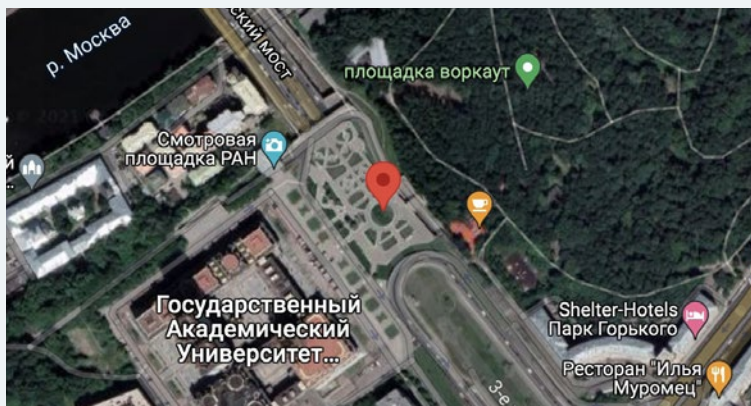
Когда против «Мемориала»\* возбудили дело, я ходила рисовать на суды. Там я встречала много знакомых лиц. Те, кто был у меня на экскурсии, приходили к зданию суда, подписывали петиции, делали посты в социальных сетях. Многие из них узнали о важности работы «Мемориала»\* (и, будем честны, некоторые узнали о его существовании) благодаря этой выставке. Получается, что Сахаров снова помог «Мемориалу»\* — теперь уже после своей смерти.

На свой дипломный просмотр я позвала мемориальцев, своего преподавателя из музея Егора Ларичева и Полину Филиппову из Сахаровского центра, которой накануне отправила готовую книгу на одобрение. После официальной части я пригласила своих гостей в зал с картинками. Накануне повздорил со своим куратором из-за развеса: он запретил вывешивать все 60 картинок и настоял, чтобы пространство было белым, с картиной — взрывом водородной бомбы посередине (уверена, это не потому, что он считал Сахарова-ученого превыше Сахарова —

случится завтра: тебя наградят премией или отберут всё, что есть, к твоему мнению прислушаются или все от тебя отвернутся? Все-таки эти события происходят от нас не так далеко по временной шкале. На тот момент я только что закончила свою третью книгу, «Сто причин, почему плачет Лев Толстой» (выйдет в Ad Marginem в феврале 2022 года), и много думала об исследовательско-художественной оптике. Мы можем немного смеяться над Толстым, ведь он жил сто, сто пятьдесят лет назад и его время уже изучено и осмыслено, но мы не можем пока что не то чтобы смеяться над, мы пока даже не можем смеяться вместе с Сахаровым! Мне нужно было обсудить с кем-то эти мысли. И я пришла в «Мемориал»\*. За пару лет до этого я познакомилась с работающей там Александрой Поливановой. Мы должны были сделать совместный проект, но, как только началась работа, я, стыдно признаюсь, сачканула. Тогда я впервые познакомилась с документами о репрессиях и терроре, об истинном их масштабе, — напугалась и исчезла. Надо отдать Саше должное, что при моем втором появлении в «Мемориале»\* она не только простила меня за тот инцидент, но и оказала максимальную помощь и поддержку. Вместе с Алексеем Макаровым они не только ответили на все мои вопросы, но и рассказали мне сотни диссидентских анекдотов. Потому что иначе пережить эти времена было просто невозможно! Стала вырисовываться общая стилистика: смех против тьмы. Даже на предзащите диплома, обновившая стилистику графического ро-

## Памятник Сахарова установят в Москве

Вот место установки памятника А.Д. Сахарову, которое мы сегодня утвердили решением совета депутатов.



В этом году Андрею Дмитриевичу исполнилось бы 100 лет. Среди мемориальных мероприятий значилась и установка памятника в Москве, но никак не могли подобрать место. Варианты, которые предлагал оргкомитет по подготовке и проведению мероприятий, посвященных 100-летию со дня рождения А.Д. Сахарова, не нравились родным Андрея Дмитриевича. Поиски затянулись, и вот наконец этот вариант у здания РАН устроил семью А. Д. и был одобрен Академией наук. По закону место установки предполагаемого памятника в обязательном порядке утверждается советом депутатов муниципального округа. Только после этого начинается собственно процедура подготовки и создания памятника — проводится творческий конкурс, утверждается проект. Теперь эта процедура начнется. Я искренне надеюсь, что конкурс будет гласным, прозрачным и открытым и все желающие смогут принять участие в обсуждении проектов. Ждем с нетерпением!

Елена Русакова, глава муниципального округа Гагаринский

Катя Гущина  
Фото из личного архива автора

\*В реестре «иноагентов» Минюста РФ.

# Страсти по ЕГЭ

Леонид Перлов, учитель, почетный работник  
общего образования РФ (г. Москва)

**П**редседатель Следственного комитета России доктор юридических наук профессор, заслуженный юрист РФ генерал юстиции Александр Бастрыкин высказал свое мнение о Едином государственном экзамене, охарактеризовав его как пытку для молодежи. Спорить относительно признаков пытки не могу, но не думаю, что этот термин генерал-профессор употребил в строго юридическом смысле, скорее — в эмоциональном.

В противном случае ему по долгу службы следовало бы потребовать немедленного запрета этой формы экзамена, поскольку пытки на территории Российской Федерации законодательно запрещены. И вообще, прозвучало это в контексте пожелания возврата к старой доброй советской модели, обеспечившей стране, по его мнению, мировое лидерство в сфере образования, и не только школьного. Насчет «лучшего в мире» образования времен СССР вопрос сам по себе дискуссионный, но это тема для отдельного разговора. Лично я, имея опыт учебы и работы в советской школе, утверждать это не возьмусь.

Казалось бы, что-либо добавить к уже сказанному о Едином государственном экзамене просто невозможно. История ЕГЭ насчитывает в нашей стране вполне солидные двадцать лет, если считать его началом 2001 год, когда в порядке эксперимента экзамен в этом формате был проведен по восьми предметам в пяти субъектах РФ. Эксперимент был признан настолько успешным, что в Закон об образовании его внесли в качестве единственно возможной формы школьной аттестации, а также вступительного экзамена в вузы. Произошло это тоже не вчера — в 2009 году, и в ныне действующий ФЗ-273 «Об образовании в Российской Федерации», принятый в 2012 году, ЕГЭ перешел именно в таком качестве.

вильность курса на стандартизацию и унификацию в масштабах страны как всего школьного образовательного процесса, так и его финальной стадии — выпускных экзаменов в школе и вступительных в вузы.

Провальные результаты, например, 2014 года объяснялись, в полном соответствии с традицией, исключительно недоработкой учителей. ЕГЭ превратился в часть ГИА (Государственная итоговая аттестация), обзаведясь «младшим братом» — Основным государственным экзаменом (ОГЭ), предназначенным для аттестации за курс основного общего образования. Дети, закончившие 9-й класс, сдают своего рода «ЕГЭ-лайт», получая представление о том, что их ждет по окончании школы. Задания появившихся пять лет назад Всероссийских проверочных работ (ВПР) построены по тому же принципу, что и в ЕГЭ; они также призваны приучить школьников к формату экзамена, который им предстоит сдавать по окончании школы. В условиях пандемии система обзавелась еще одним клоном ЕГЭ — Государственными выпускными экзаменами (ГВЭ).

Главная претензия, которую сегодня предъявляют к ЕГЭ: с его введением детей в школе перестали учить. Доля правды в этом, полагаю, есть. Декларируемая цель школьного этапа образования — собственно образование и воспитание гармонически развитой личности — по факту реализуется в виде подготовки, причем со всё более раннего возраста, к итогу — выпускному ЕГЭ. Причем он же и вступительный

вив безусловный приоритет механизма контроля над его содержанием и сущностью. Для этого потребовались годы, поскольку школа как была, так и осталась системой весьма инерционной. Однако годы эти прошли, и результат проявился, став доступным для анализа и оценки. В сущности, произошла элементарная подмена цели средством. Контрольный инструмент, экзамен, превратился в цель работы учителя — не ЕГЭ для школы, а школа для подготовки к ЕГЭ.

При этом коррупция, вопреки ожиданиям, не исчезла. Она просто перешла на другие рельсы. Поступить абитуриенту из провинции в ведущие вузы на популярные специальности также легче не стало, поскольку появились внутренние экзамены. Да и понятие «единый» в значительной степени утратило смысл, после того как в процедуру проведения экзамена появились аудирование (говорение) для иностранных языков, а также итоговое сочинение с оценкой «зачет-незачет» в 10-х классах с проверкой, неизбежно субъективной, силами тех же учителей. Как сформулировал в свое время ныне покойный Александр Абрамов, математик, член-корреспондент РАО: «„Е“ исчезло, осталось только „ГЭ“». ЕГЭ по математике, кстати, первым перестал быть единым, разделившись на два уровня: базовый и профильный.

Так прав или не прав глава СК Бастрыкин, предлагая отмену «пыточного» экзамена и возврат к советской системе образования? Полагаю, не прав. Стрессом для выпускников является любой экзамен, в какой бы форме он ни проводился. В случае ЕГЭ львиная доля стресса возникает не из-за самого экзамена, сложности заданий или оформления бланков, а еще до того, как сдающий его выпускник оказывается в аудитории. Весьма недружелюбный полицейский кордон у входа в ППЭ (пункт приема экзаменов), металлоискатели, изъятие гаджетов, грозные предупреждения насчет санкций за попытки списать и прочие сопутствующие процессу режимные мероприятия для детской психики зачастую непосильны. Но не сам ЕГЭ тому причиной, а гипертрофированное значение надзора и контроля, всё та же подмена цели и смысла проведения экзамена формой, в которой он проводится.

Я бы сказал, что у сегодняшнего ЕГЭ «недружественный интерфейс». Смартфон позволит человеку найти ответ в Интернете? А для чего в аудитории и в коридорах дежурные наблюдающие? Да и заблокировать интернет в ППЭ вполне решаемая задача. На случай же необходимости экстренной связи — для

вызова скорой помощи, например, — существуют обычные кабельные телефоны в учительской, у секретаря директора, в кабинетах директора и его заместителей. А уж отследить попытку воспользоваться классической бумажной шпателькой вообще не проблема для сколько-нибудь квалифицированного учителя. Никем пока не доказано, что экзамен в классической, устной или письменной форме вызывает больший или меньший стресс, чем ЕГЭ. Сравнительные исследования такого рода, насколько мне известно, не проводились, во всяком случае серьезных публикаций на этот счет лично мне не попадалось, а несерьезные по большей части ограничиваются бездоказательными утверждениями в пользу той или другой формы на основе пары-тройки примеров.



Леонид Перлов

«Хуже ЕГЭ может быть только его немедленная отмена». Это утверждение в разных формулировках я не раз слышал от коллег, чье мнение считаю профессионально значимым. Это учителя с многолетним опытом непосредственной работы с детьми, в том числе и подготовки их к экзаменам: переводным, выпускным и вступительным. Совершенно с ними согласен. Хорошо это или плохо, но сегодняшний ЕГЭ — стержень, на котором держится вся современная школа. Можно сколь угодно долго вскрывать недостатки и бичевать вредоносные последствия его введения, но удаление из конструкции стержня, на котором она держится, приведет к гарантированному разрушению структуры и, как следствие, краху системы школьного, а вместе с ней и всего остального образования.

Не будем забывать, что «егизация» школы, несмотря на всемерную ее государственную поддержку, потребовала многих лет не только из-за сложности самого экзамена и организации его проведения, но и в силу упомянутой уже высокой инерционности системы школьного образования. Рассчитывать на скорый и безболезненный возврат к прежнему не приходится, даже если соответствующее политическое решение было бы принято.

Известная триада качеств «быстро/дешево/хорошо», из которой реализовано одновременно может быть не более двух составляющих, дает возможность предположить вероятные варианты реформы системы в случае принятия такого решения. Учитывая весь предшествующий опыт, наиболее вероятным сценарием будет «быстро и дешево», поскольку именно так решаются проблемы школы в подавляющем большинстве случаев.

Если же учесть принципиальную невозможность быстрого реформирования школы, о чем было сказано выше, остается только одно, наиболее вероятное, последствие возврата к образовательной системе давно не существующей страны — «дешево». Да и то под большим вопросом. Что же касается пыток, полагаю, ничего страшного не произойдет, если отменить «пыточный» формат сдачи ЕГЭ. ♦

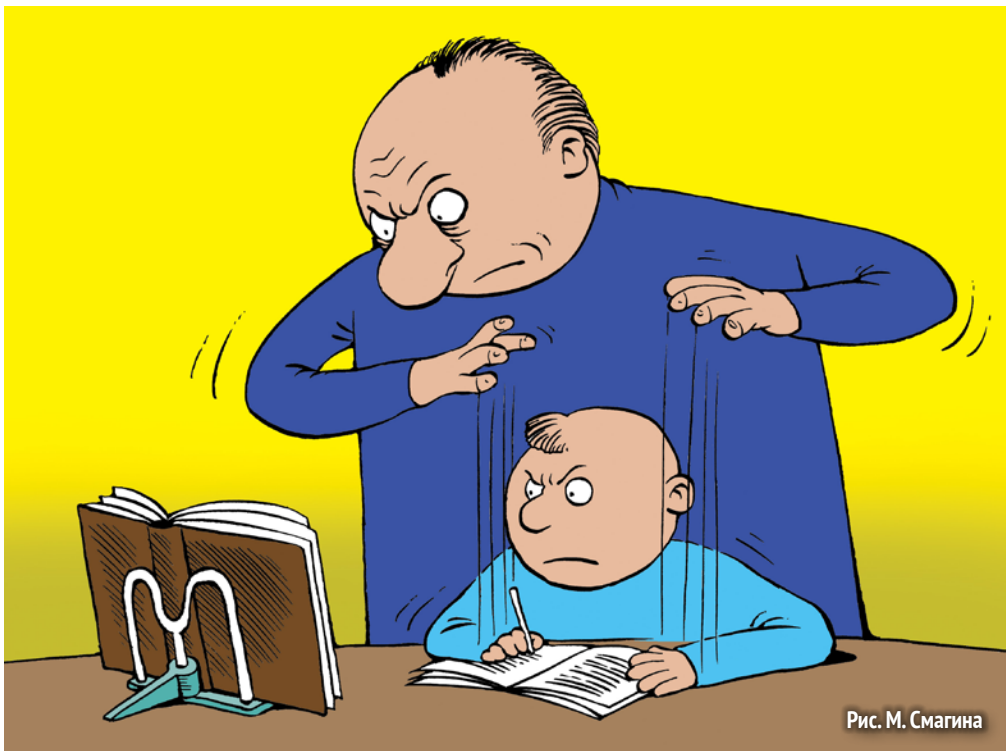


Рис. М. Смагина

И все эти двадцать лет продолжается, с большей или меньшей напряженностью, дискуссия о целесообразности единого экзамена, смысле его проведения, а также воздействии на всю сферу образования, как среднего, так и высшего. Аргументы за и против ЕГЭ высказывались многократно. Его сторонники, как правило, указывали в качестве главных достоинств возможность поступления в ведущие вузы страны абитуриентов из провинции, а также решение с помощью ЕГЭ проблемы вузовской коррупции при поступлении. Оппонентами же отмечались механистичность этого формата, его нацеленность на заучивание определенной информации, а также возможность успешной сдачи ЕГЭ путем простого угадывания ответов.

Многолетнее противостояние завершилось победой ЕГЭ, с чем пришлось смириться даже самым яростным его противникам, однако дискуссия на этом не закончилась. Многочисленные скандалы, связанные, как правило, с утечкой информации и несоответствием результатов сдачи ЕГЭ фактическому уровню знаний студентов-первокурсников, добавляли аргументов его противникам; ежегодно публикуемая официальная статистика результатов укрепляла уверенность сторонников, подтверждая пра-

экзамен в вуз, а значит, как выражаются тестологи, это тест высокой ответственности.

Другими словами, результат ЕГЭ определяет всю дальнейшую жизнь выпускника. Разумеется, существует процедура пересдачи, однако на бытовом уровне ЕГЭ воспринимается именно так. Основой планирования работы для учителя-предметника в 11-х классах стала не методически продуманная, проверенная практикой программа, а спецификация ЕГЭ на предстоящий учебный год. Всё, что в этом документе не упомянуто, можно пропустить, поскольку контролировать эти знания не будет, а времени на подготовку всегда не хватает. Правда, через год спецификация изменится, и пропущенные темы, весьма вероятно, придется изучать, втиснув их каким-то образом в планирование — например, убрав оттуда то, что раньше было необходимо, а в новой спецификации отсутствует. Особенно неудобно получается в тех случаях, когда тот ли иной материал изучается, допустим, в 9-м классе, а сдавать его предстоит после 11-го. Или не предстоит, поскольку в данном конкретном году эта тема в спецификации ЕГЭ и ОГЭ не фигурирует.

Единый государственный экзамен полностью перестроил школьный процесс, устано-

## ИНФОРМАЦИЯ

### Помощь газете «Троицкий вариант — Наука»

Дорогие читатели!

Мы просим вас при возможности поддержать «Троицкий вариант» необременительным пожертвованием. Почти весь тираж газеты распространяется бесплатно, электронная версия газеты находится в свободном доступе, поэтому мы считаем себя вправе обратиться к вам с такой просьбой. Для вашего удобства сделан интерфейс, позволяющий перечислять деньги с банковской карты, мобильного телефона и т.п. ([trv-science.ru/vmeste](http://trv-science.ru/vmeste)).

«Троицкий вариант — Наука» — газета, созданная без малейшего участия государства или крупного бизнеса. Она создавалась энтузиастами практически без начального капитала и впоследствии получила поддержку фонда «Династия». Аудитория «Троицкого варианта», может быть, и невелика — десятки тысяч читателей, — но это, пожалуй, лучшая аудитория, какую можно вообразить. Газету в ее электронном виде читают на всех континентах (нет данных только по Антарктиде) — везде, где есть образованные люди, говорящие на русском языке. Газета имеет обширный список резонансных публикаций и заметный «иконостас» награды.

Несмотря на поддержку Дмитрия Борисовича Зимина и других более-менее регулярных спонсоров, денег газете систематически не хватает, и она в значительной степени выживает на энтузиазме коллектива. Каждый, кто поддержит газету, даст ей дополнительную опору, а тем, кто непосредственно делает газету, — дополнительное моральное и материальное поощрение.

Редакция



# О способах, сроках и проблемах разработки нефтяных месторождений

Сергей Смоляк, гл. науч. сотр. ЦЭМИ РАН, докт. экон. наук

С 1960-х годов мне приходится заниматься оценкой эффективности инвестиционных проектов, а с начала этого тысячелетия — оценкой эффективности проектов разработки нефтяных месторождений (точнее — месторождений углеводородного сырья, но оставим эту терминологию для специалистов). На первый взгляд в этой работе есть только две задачи — выяснить, эффективен ли предлагаемый проект, и выбрать лучший из нескольких имеющихся вариантов проекта. Однако на второй взгляд проблем здесь оказывается намного больше. Постараюсь о них рассказать, избегая технических подробностей, за что заранее прошу прощения у геологов, технологов и экономистов.

Для КОГО проект должен быть эффективным? Казалось бы, всё ясно — для того, кто его реализует. Однако инвестиционные проекты почти никогда не реализуются одним человеком, в их реализации участвуют различные промышленные и строительные предприятия, финансовые структуры, государственные органы, и у каждого такого участника есть свои представления об эффективности. И как показала практика, если реализация проекта, по мнению какого-нибудь участника, неэффективна, он будет прилагать все возможные усилия, чтобы «сорвать» или максимально усложнить его реализацию. Стало быть, в ходе оценки приходится выяснять, эффективен ли проект для КАЖДОГО из его участников. Правда, роль многих участников проекта сводится лишь к выполнению отдельных работ (услуг) или поставке определенных ресурсов, а в своей деятельности они руководствуются лишь коммерческими интересами. Тогда согласовать интересы участников можно за счет установления приемлемой цены этих работ или ресурсов. А тогда надо проверять, останется ли проект эффективным для других участников. И если выяснится, что это не так, разработчикам проекта (да и экспертам тоже) придется формировать какие-то другие, более приемлемые его варианты. Для этого и нужны показатели эффективности.

Чтобы сформировать вариант проекта разработки месторождения, надо знать его геологическую структуру. А точно ее никто не знает, и в ходе реализации проекта она может уточняться. Поэтому любой проект необходимо пересматривать, одновременно уточняя и показатели эффективности. Так проект разработки месторождения превращается в проект продолжения его разработки, а эффективность проекта становится эффективностью продолжения проекта.

Общепризнанным в мире для оценки соответствующей — коммерческой — эффективности является показатель чистого дисконтированного дохода (ЧДД). Для каждого участника он рассчитывается как стоимость произведенной им по проекту продукции (работ, услуг) за вычетом осуществленных при этом затрат, приведенных (дисконтированных) к одному моменту времени. При этом важно, что такой показатель отражает «полезность участия в проекте», «вклад» проекта в рыночную стоимость самого участника.

## Государственный взор

К сожалению, все эти соображения «не работают» для такого участника проекта, как государство. Государство в инвестиционных проектах выступает эдаким Янусом с двумя или тремя лицами. Во многих, включая и нефтяные, проекты оно является акционером некоторых компаний — участников проекта. И это «лицо» заинтересовано в высокой коммерческой эффективности проекта, конечно, только для «своих» участников. Кроме того, оно распоряжается государственным бюджетом,

а следовательно, заинтересовано в максимальном пополнении государственной казны всевозможными налогами и сборами. Этим целям отвечают показатели бюджетной эффективности. И наконец, государство просто по определению должно отражать интересы общества (включая и граждан, и предприятия), которое, по сути, и есть истинный собственник недр. Для выбора лучшего варианта использования этой собственности и оценивается общественная (social) эффективность. К тому же государство — это не какой-то один субъект, принимающий решения, а большая совокупность государственных органов и чиновников, которым доверено принимать решения по отдельным вопросам. Но не всё ли равно, как оценивает государство проект открытия нового магазина или пазеки или проект разработки нефтяного месторождения? Оказывается, что нет. Не будем говорить о госслужащих, заинтересованных в получении процента от выручки или бидона с медом ко дню соответствующего работника. Но недр являются государственной собственностью, так что разрабатывать их можно только по утвержденному государством проекту и только в том варианте, который государство сочтет наилучшим. Вот тут и возникает у государства своеобразный когнитивный диссонанс.

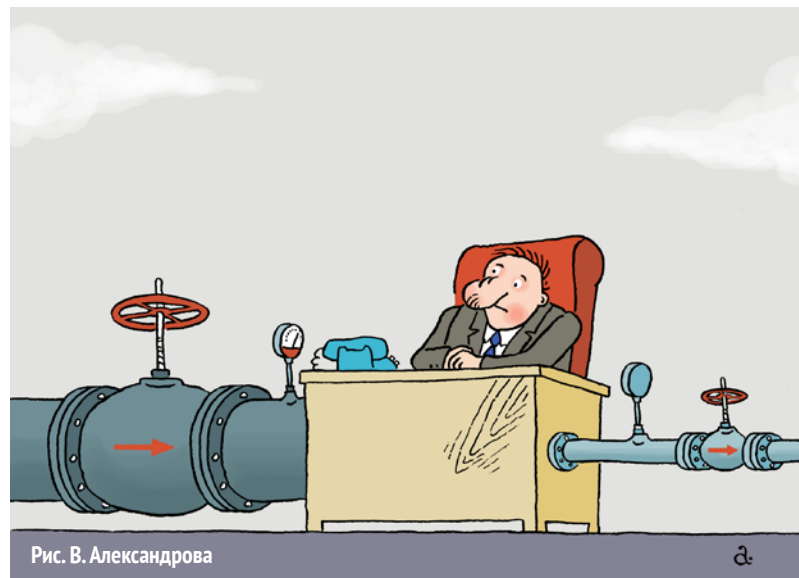


Рис. В. Александрова

В советский период проекты оценивали прежде всего по их общественной эффективности (тогда ее именовали народнохозяйственной). Правда, чтобы получить премию, разработчикам новой техники надо было подтвердить, что она эффективна и для внедряющих предприятий — для этого оценивалась коммерческая (тогда — хозрасчетная) эффективность. А в новой России ситуация изменилась, и коммерческая эффективность стала, по сути, основным, утвержденным государством критерием при оценке нефтяных проектов. Правда, это приводило к тому, что нефтяные компании, разрабатывая новое месторождение, «снимали сливки» (т. е. использовали такие технологии добычи, которые позволяют быстро и дешево добыть много нефти, но делают неэффективной добычу оставшихся запасов). Тогда требования к проектам решили ужесточить, добавляя разные ограничения по техническим параметрам, а также изменяя систему налогообложения. Но математики хорошо знают, что, добавляя к «хорошему критерию» нужные ограничения, всегда можно добиться, чтобы

оптимальным вариантом стал именно тот, который тебе хочется. В результате Налоговый кодекс сейчас уже напоминает справочник по геологии, огромные запасы нефти не разрабатываются, бездействуют порядка 15 тыс. скважин, а заброшенные и бесхозные скважины хранят в себе, по некоторым оценкам, более 15 млрд тонн потенциально извлекаемых запасов.

Разумеется, о приоритете интересов общества в недропользовании не говорят только государственные СМИ и ленивые. В развитых странах, откуда нам настоятельно рекомендуют не получать финансовую и организационно-методическую помощь, давно уже оценивают общественную эффективность крупных проектов, без такой оценки нельзя получить поддержки и у некоторых банков (скажем, Азиатского банка реконструкции и развития). Естественно, были предложения и по использованию соответствующей методологии в России, подкрепленные необходимыми расчетами, только остались они без внимания. В чем же причина?

Интересы коммерческих структур и государственного бюджета, пусть и сильно различающиеся, носят краткосрочный характер (урвать сегодня побольше, «заштопать» очередную бюджетную дыру). А при оценке общественной эффективно-

сти приходится обращать внимание на «более отдаленные» последствия реализации проекта. Заботясь о наполнении бюджета, государство рассматривает нефтяные компании как «дойную корову», стараясь «выжать» из них побольше налогов. Естественно, при большой налоговой нагрузке добывать нефть из месторождения оказывается выгодным только до определенного, рентабельного срока. И чем выше налоги, тем этот срок становится короче. А что будет дальше, нефтяной компании безразлично — скважины останавливаются, месторождение забрасывается, на его месте остается загаженная территория, а добывать нефть из оставленных скважин (в отличие от добычи угля в «копанках») становится невыгодным даже частным предпринимателям. Конечно, теоретически надо было бы учесть предусмотренные в проекте затраты на ликвидацию месторождения и рекультивацию территории. Но кто же это будет делать, если от добычи нефти одни убытки? Проще ничего не делать или объявить себя банкротом, и пусть всем этим займется государство, установившее налоги, но

## Общественное благо

А вот с позиций общества ситуация немного иная. Основным показателем общественной эффективности также является ЧДД, только при его расчете учитываются реально осуществляемые обществом (национальной экономикой) затраты и не учитываются так называемые трансферты (денежные средства, переходящие от одного участника проекта другому). Поэтому в составе затрат не учитываются и налоги (которые из одного «общественного кармана» перекачиваются в другой). Зато учитываются все виды предусмотренных проектом затрат, включая и затраты на ликвидацию месторождения. И тогда оптимальным становится совсем иной вариант проекта. В нем гораздо более длительные сроки разработки и более полное использование богатств недр, что, кстати (а для нефтяных компаний — некстати), предусмотрено и Законом о недрах. Этот вариант в первые годы реализации почти такой же, как и при действующей системе, так что обеспечивает и достаточную рентабельность добычи, и большие поступления в бюджет. Стоимость добытой нефти здесь превышает все затраты на ее извлечение. Правда, разница с годами становится всё меньше, пока не сравняется с размером уплачиваемых компанией налогов. А это значит, что в соответствующий момент доходы общества должны быть перераспределены, а налоговые платежи компании — уменьшены. Вот это и является основной причиной когнитивного диссонанса. Как это так? Чтобы компания, «дойная корова» бюджета, вдруг стала объектом государственной финансовой поддержки? Финансисты этого не понимают и понимать не хотят. А всё просто. В поддержке нуждается не компания, а тот проект, который она реализует. И если обществу выгоднее, чтобы этот проект реализовался так, а не иначе, то за это надо платить. Платить так же, как за строительство «бесплатных» школ и больниц. Правда, платить не сию минуту, а лет через 20–40, когда закончится рентабельный период. Но кто же из чиновников об этом будет думать? Поэтому действующими нормативными документами и предусмотрено прекращать добычу по окончании рентабельного периода.

Но мы еще не закончили с оптимальным для общества вариантом. Да, какое-то время после окончания рентабельного периода налоги понадобятся снижать, потом вообще обнулить. А дальше? А дальше оптимальный вариант предусматривает работу «в убыток», когда затраты на добычу нефти с каждым годом всё больше превышают стоимость добытой нефти. Как такое может быть? Разве это эффективно для национальной экономики? Оказывается, эффективно! Всё дело в том, что по окончании разработки месторождения надо осуществлять ликвидационные работы.

А стоимость таких работ велика (и во многом зависит от утверждаемой государством технологической схемы разработки месторождения), и поэтому возникает ситуация «чемодан без ручки»: продолжая добычу нефти, получаем убытки, а прекращая — вынуждены нести еще большие ликвидационные расходы. Расчеты ЧДД помогают в этой ситуации выбрать рациональный компромисс.



Сергей Смоляк

И оказывается, что чем дороже обходится ликвидация месторождения, тем продолжительнее должен быть «убыточный» период.

Как же практически реализовать такой неудобный во всех отношениях вариант проекта? Решение оказывается сравнительно простым: надо создать специальный фонд, в который начиная с определенного года будет отчисляться определенная (и, вообще говоря, переменная) часть прибыли от продажи добытой нефти и из которого в последние годы будут компенсироваться налоги и покрываться убытки от продолжения разработки. Механизм формирования и использования такого фонда посвящен ряд научных публикаций, тут есть свои проблемы, но это не главное.

А главное в том, что такой механизм должен вводиться в действие тогда, когда выбирается вариант проекта разработки (или продолжения разработки) месторождения. Грубо говоря, такой механизм (или его отсутствие) должен составлять неотъемлемую часть утверждаемого проекта. И каждому возможному механизму будет отвечать свой вариант проекта, со своими сроками, технологиями и динамикой объемов добычи. Значит, утверждая проект, государство должно заранее определить механизм его финансовой поддержки на (обычно — достаточно далекое) будущее. И именно к этому наши государственные органы не готовы, они привыкли жить «сегодняшним днем», заботясь лишь о том, «что будет говорить княгиня Марья Алексеевна». А нефтяные месторождения для них — всего лишь строка в очередном отчете, а отнюдь не национальное богатство, которым надо уметь распоряжаться. Все знают, что собственность — это не только права, но еще и обязанности. Но не думаю, что чиновникам надо давать права перекачивать обязанности по рациональному использованию богатств недр на будущие поколения.

Решение оказывается сравнительно простым: надо создать специальный фонд, в который начиная с определенного года будет отчисляться определенная (и, вообще говоря, переменная) часть прибыли от продажи добытой нефти и из которого в последние годы будут компенсироваться налоги и покрываться убытки от продолжения разработки. Механизм формирования и использования такого фонда посвящен ряд научных публикаций, тут есть свои проблемы, но это не главное.

Решение оказывается сравнительно простым: надо создать специальный фонд, в который начиная с определенного года будет отчисляться определенная (и, вообще говоря, переменная) часть прибыли от продажи добытой нефти и из которого в последние годы будут компенсироваться налоги и покрываться убытки от продолжения разработки. Механизм формирования и использования такого фонда посвящен ряд научных публикаций, тут есть свои проблемы, но это не главное.

**Прим. ред.:** При защите диссертаций засчитываются публикации в журналах, входящих в Web of Science, Scopus и список ВАК. «Вестник РАН» входит в Web of Science, то есть это «первая лига», выше списка ВАК.

# Электоральная статистика для чайников и профессионалов

Михаил Гельфанд подготовил рецензию на книгу канд. биол. наук и юрид. наук А.Е. Любарев\* «Занимательная электоральная статистика» (М.: Голос консалтинг, 2021). Видеозапись презентации книги с участием автора и других видных электоральных статистиков см. на [youtube.com/watch?v=98EwJWxrMw8](https://www.youtube.com/watch?v=98EwJWxrMw8).

Нынешние времена таковы, что первым делом надо сообщить: автор книги «Занимательная электоральная статистика» Аркадий Любарев\* с 29 сентября 2021 года числится за номером 60 в так называемом «Списке иностранных средств массовой информации, выполняющих роль иностранного агента» [1]. Этот реестр заведен и поддерживается Министерством юстиции РФ в соответствии с законом № 426-ФЗ от 2 декабря 2019 года. Следует напомнить и то, что петиция за отмену всей пачки так называемых законов об иноагентах собрала на Change.org более 250 тыс. голосов (по состоянию на конец ноября 2021 года) и всякий волен к ней присоединиться [2]. Вторым делом надо предостеречь читателя: вопреки названию, ничего занимательного в этой книге нет. Ни веселых фотографий с избирательных участков, иллюстрирующих статистические методы обнаружения вбросов, ни детективных историй про переписывание протоколов с последующим расследованием, ни стенограмм горячих дискуссий в территориальных, да и Центральной избирательных комиссиях — дискуссий, наглядно показывающих особенности законодательства и правоприменения. Ничего этого нет. В начальных разделах нет даже и статистики выборов. Они рассказывают об источниках данных, структуре документов и тому подобных крайне полезных (как шпинат), но ни разу

не занимательных вещах. Впрочем, в конце второй главы уже начинаются приложения — сначала в форме проверки простых арифметических соотношений. Эта тема развивается в главе 3, где подробно описаны методы обнаружения электоральных аномалий и статистические критерии; здесь же приводится ряд поучительных примеров. Две оставшиеся главы посвящены собственным результатам — анализу общих электоральных тенденций и детальным исследованиям отдельных регионов. И теперь ясно, что первая половина книги — это учебное пособие, а вторая — естественнонаучная монография. Надо сказать, что издатели намекали на нечто подобное; не знаю, случайно ли так получилось, но все трое рецензентов, реплики которых вынесены на обложку, имеют ученые степени сразу по двум наукам (канд. юрид. наук + канд. физ.-мат. наук, докт. полит. наук + канд. ист. наук, докт. ист. наук + канд. физ.-мат. наук). В рецензии интереснее говорить про то, чего в книге нет. Мне не хватило обсуждения официальных реакций на статистическую критику выборов (некоторые примеры приведены во врезке). Вообще, самостоятельный интерес могло бы представлять исследование того, как на динамику электоральных аномалий влияет развитие методов обнаружения этих аномалий. О том, что таковое должно иметь место, свидетельствует, например, совещание в ЦИК накануне пре-

зидентских выборов 2018 года [3]. В разделе 5.6, посвященном Саратовской области, упоминается чудесный пик на 62,2% за «Единую Россию» в Саратове в 2016 году — но как же было забыть про аналогичный пик на 64,3% явки и чудесное арифметическое соотношение:  $62,2\% \times 64,3\% = 40\%$  с точностью до третьего знака. Интересен был приведенный не припомню кем анализ двух видов искажений: приписывания голосов (например, в 2011 году в Нижнем Новгороде: официальные результаты ЦИК на графике «явка в УИК / голоса за ЕР» съезжают вправо и вверх по сравнению с результатами в исходных протоколах УИК, зафиксированных наблюдателями) и перекидывания голосов (санкт-петербургская практика: точки идут строго вверх, явка не увеличивается). В разделе, посвященном исследованию корреляций между явкой и результатами лидера (на них основан, в частности, так называемый метод Шпилькина [4]), было бы поучительно обсудить, что подобные корреляции иногда возникают и в других странах из-за неоднородности округов. В свое время вокруг этого было сломано мно-



Политолог Виталий Иванов <...> считает, что математикам в социальных и политических исследованиях делать нечего: «Не надо математикам со своими моделями лезть в политику, анализировать выборы, придумывать какие-то свои версии. Это просто смешно, когда математик рассуждает о выборах. Давайте еще биолога спросим! Или узнаем, что по поводу результатов выборов думает физик-ядерщик! У них наверно, тоже найдутся идеи, как высчитать, какой на самом деле должен быть результат. Я считаю, всерьез обсуждать здесь нечего!» <...> Генеральный директор ВЦИОМ Валерий Федоров заметил, что уже сам термин «сложные математические вычисления» выглядит неубедительным, поскольку метод, которым пользовались исследователи, так и не раскрыт. Также Федоров напомнил, что на Западе подобные математические методики вообще не используются [6].

Первый замглавы администрации президента Сергей Кириенко, выступая перед политологами, назвал «лженаукой» проверку выборов по кривой Гаусса. Однако голосование в Москве соответствовало идеальному распределению голосов, отметил он [7]. В ЦИКе выработали несколько параметров, которые должны выявить аномалии в день голосования. После этого продемонстрировали слайды, в том числе с лучшими или худшими субъектами РФ. <...> В ЦИКе предложили коллегам из регионов следить за кривой Гаусса при подведении итогов голосования (на графике при нормальной явке выглядит как колокол без пиков и отклонений) <...> продемонстрировали также список регионов, в которых отклонения от кривой Гаусса были самыми сильными (среди них Алтайский край) или, напротив, самыми слабыми (Москва) [3].

го копий, участники дискуссий приводили разные красивые примеры; при этом можно было бы показать различия «естественных» корреляций в таких странах, как Польша и Израиль, и тяжелых хвостов а-ля рюс. Ясно, что подробное изложение зарубежных практик не входило в намерения автора, но некоторые сопоставления сильно добавили бы к *занимательности* изложения. Так, обычно признаком фальсификации выборов является статистически значимое избегание круглых чисел, обусловленное особенностями человеческой психологии (см., например, обсуждение в [5]), — не то в России. Как принято писать в официальных отзывах, сделанные замечания носят редакционный характер и не умаляют достоинств. Это действительно очень хорошая, интересная и полезная книга. Аркадий Ефимович полностью заслужил свое почетное 60-е место [1].

1. [minjust.gov.ru/documents/7755/](https://minjust.gov.ru/documents/7755/)
2. [change.org/p/государственная-дума-мы-требуем-отмены-законов-об-иноагентах](https://change.org/p/государственная-дума-мы-требуем-отмены-законов-об-иноагентах).
3. Иванов М., Карпенко М. Дню выборов обозначили рамки аномального. В ЦИКе провели инструктаж региональных избиркомов // Коммерсантъ. 11.05.2018. [kommersant.ru/doc/3624550](https://kommersant.ru/doc/3624550)
4. Шпилькин С. Статистическое исследование результатов российских выборов 2007–2009 гг. // ТрВ-Наука. № 40 от 27.10.2009. [trv-science.ru/2009/10/statisticheskoe-issledovanie-rezultatov-rossijskix-vyborov-2007-2009-gg/](https://trv-science.ru/2009/10/statisticheskoe-issledovanie-rezultatov-rossijskix-vyborov-2007-2009-gg/)
5. Элленберг Дж. Как не ошибаться. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2017.
6. Эксперты «Единой России» не советуют оппозиционным математикам лезть в политику // Полит.ру., 19.10.2009. [polit.ru/news/2009/10/19/mathematics/](https://polit.ru/news/2009/10/19/mathematics/)
7. Кузнецова Е., Дергачев В. Кириенко назвал лженаучным приложение кривой Гаусса к выборам // РБК. 28.03.2018. [rbc.ru/politics/28/03/2018/5abba7789a7947535df8ddd2](https://rbc.ru/politics/28/03/2018/5abba7789a7947535df8ddd2)

## КОРОНАВИРУС

Ситуация со штаммом омикрон коронавируса SARS-CoV-2 пока напоминает старый черный анекдот про человека, упавшего в яму, и его товарища: «Ты как там, жив?!» — «Жив!» — «Ничего не сломал?!» — «Нет!» — «Хорошо! А куда упал?» — «Да еще лечу!» Все спрашивают экспертов, что будет, насколько тяжелый ковид вызовет омикрон, как быстро он распространяется и обойдет ли вакцинный иммунитет, и эксперты отвечают: надо набраться терпения, для получения надежных данных необходимо время. Время нужно для наблюдения за больными. Эта история началась буквально только что. Самые ранние известные образцы, по-видимому, были получены в первую декаду ноября (хотя ясно, что вирус распространялся в популяции и раньше). Первый геном нового варианта загрузили в базу GISAID из Гонконга 22 ноября; тот факт, что из Гонконга, говорит нам, что ставить военные кордоны вокруг стран Южной Африки вряд ли имело смысл. Потом еще 10 геномов из Ботсваны и ЮАР загрузили 23 ноября; 24 ноября он получил обозначение B.1.1.529; 25 ноября Министерство здравоохранения ЮАР опубликовало для СМИ краткую информацию об этом варианте, 26 ноября Всемирная организация здравоохранения классифицировала его как VOC, присвоив ему название «омикрон». Четвертого декабря ВОЗ сообщила [1], что пока нет данных о летальных исходах, вызванных омикроном. Появились уже теории о том, что омикрон — друг человека, этакая естественная вакцина, которая всех заразит, но никого не убьет, и коронавирус наконец-то станет тем, чем его считали оптимисты весной 2020 года: просто еще одним респираторным заболеванием. Однако рост числа случаев в Южно-Африканской Республике начался около 23 ноября, а все мы, к сожалению, знаем, что волна летальных исходов отстает по времени от волны новых случаев: COVID-19, если убивает, убивает не мгновенно. Кроме того, население африканских стран моложе населения Европы, США или Японии, и путешественники в Африку, как правило, люди относительно молодые и здоровые, а основная часть смертей от COVID-19 приходится на пожилую возраст.

# Штамм омикрон: Don't Panic!

Елена Клещенко

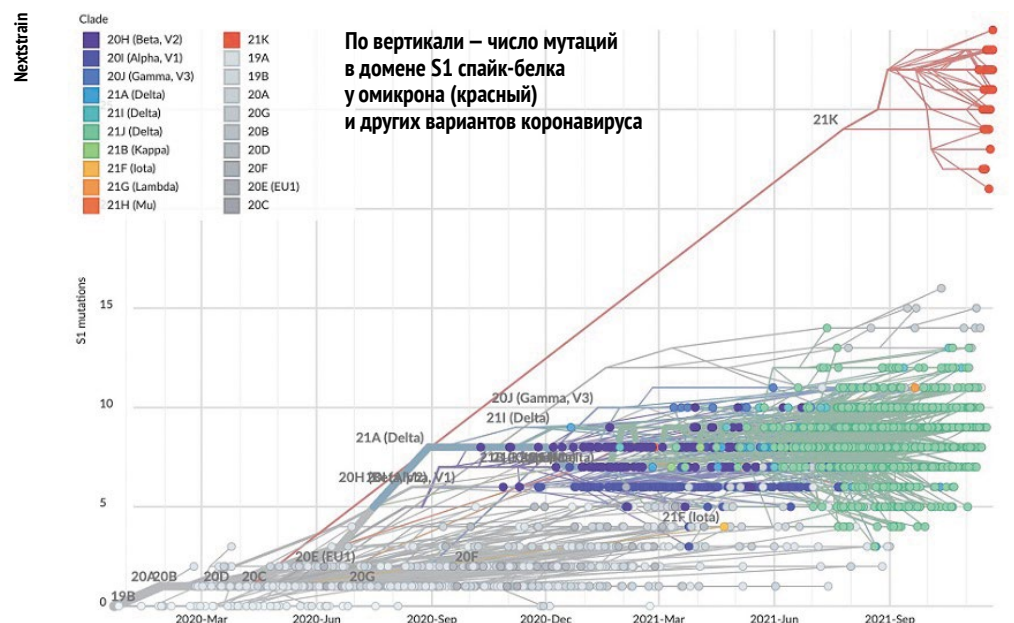
Были тревожные сообщения о повышенной заболеваемости младших возрастных групп, в том числе маленьких детей, в регионах, где распространился омикрон. Но пока неясно, как это следует интерпретировать: резкое увеличение числа госпитализаций в детских больницах в ЮАР было и во время дельта-волны [2]. Появились сообщения о росте общего числа госпитализаций и о некоторых тяжелых случаях [3]. Для кого-то это прозвучит цинично, но необходимо подождать, когда у нас будет достаточно данных о случаях COVID-19, тяжести протекания и летальных исходах в различных группах населения: старых и молодых, переболевших, иммунизированных различными вакцинами и неиммунных. В геноме омикрона огромное число мутаций — рекордное даже по сравнению с другими штаммами, вызывающими опасения [4]. Есть мнение, что этот вирус эволюционировал в организме иммунодефицитного человека, который долго не мог выздороветь от COVID-19 — такие случаи описаны. Особенно много изменений в S-белке (он же спайк или шип), который отвечает за связывание коронавируса с клеткой. Именно с этим белком связываются и нейтрализующие антитела, которые коронавирус в клетку не пускают. Среди этих мутаций много таких, которые уже известны с плохой стороны. Некоторые присутствуют в других штаммах и делают их более опасными. Другие, по данным моделирования, которое провели еще летом Фэн Чжан, Юрий Вульф и Евгений Кунин с соавторами, ослабляют связывание с антителами против старых штаммов коронавируса и при этом не влияют на его связывание с клеткой [5]. Сейчас многие вспоминают сентябрьскую публикацию в Nature — опыты, в которых плазмой

крови переболевших и вакцинированных пытались нейтрализовать синтетический псевдовирс [6]. Это обычная практика при изучении иммунного ответа на коронавирус: получают безопасные вирусы, несущие S-белок коронавируса, которые могут заражать только клетки в культуре. В таком эксперименте удобно смотреть, как заражению препятствуют антитела человека. Так вот, авторы создали псевдовирс-полимутант — с 20 мутациями, вызывающими замены аминокислот в S-белке, — и антитела вакцинированных людей перестали нейтрализовать этот псевдовирс. (Правда, антитела пе-

реболевших и затем вакцинированных справлялись неплохо.) В спайке омикрона более 30 мутаций, и это не сулит ничего хорошего; есть важные мутации и в других белках. Кроме мутаций, обеспечивающих уклонение от антител, отмечены такие, которые помогают вирусу легче проникать в клетку, уклоняться от врожденного иммунитета (то есть делают его более заразным). Выглядит геном на редкость неприятно. Идея отмены авиaperелетов на основании ТАКИХ биоинформатических данных не кажется алармистской. И в самом деле, есть сообщения о полностью вакцинированных людях, которые тем не менее уже заразились омикроном. Можно ожидать, что они будут легче переносить болезнь, но сам факт не радует. В эти выходные все обсуждают первый препринт из ЮАР, авторы которого оценили риск повторной инфекции в ноябре 2021 года по сравнению с первой, ▶



Елена Клещенко



По вертикали — число мутаций в домене S1 спайк-белка у омикрона (красный) и других вариантов коронавируса

# Дмитрий Зимин: «За радость познания!»

**Д**евятнадцатого ноября 2021 года состоялась торжественная церемония вручения премий лауреатам премии «Просветитель» и «Просветитель. Перевод». Церемония прошла как в офлайн-, так и в онлайн-формате, связав видеомостом Москву и Кипр.

Обращаясь к участникам с экрана, основатель премии «Просветитель» Дмитрий Зимин отметил, что «одна из радостей, которая доступна почти любому человеку, — это радость познания. Премия „Просветитель“ была, в частности, придумана для того, чтобы поделиться этой радостью с максимальным количеством людей и способствовать этому процессу познания. Я не знаю, в какой мере нам это удалось, но раз премия существует столько лет, значит, что-то получилось». И произнес тост: «За радость познания! За просветительство, которое является благом не только для просвещаемых, но и для просвещающих. С праздником вас!»

Первыми были оглашены имена лауреатов премии за лучший перевод. В номинации «Гуманитарные науки» лучшим переводным изданием жюри признало книгу Ричарда Роудса «Создание атомной бомбы» («КоЛибри, Азбука-Аттикус»). Награду вручили коллективу, работавшему над книгой: переводчику Дмитрию Прокофьеву (см. далее его комментарий), ответственному редактору Наталье Галактионовой, научному редактору Михаилу Капустину и редактору Светлане Левензон.

В номинации «Естественные и точные науки» главный приз премии «Просветитель. Перевод» неожиданно завоевал издательско-редакторский коллектив издательства Corpus за книгу Ричарда Докинза «Река, выходящая из Эдема. Жизнь с точки зрения дарвиниста». Переводчик — Антон Гопко, редактор перевода — Алена Якименко.

По традиции накануне церемонии научно-популярный портал N+1 проводит онлайн-голосование за лучшую книгу, и его победителями в 2021 году стали:

— Николай Эппле с книгой «Неудобное прошлое: память о государственных преступлениях в России и других странах» (издательство «Новое литературное обозрение»);

— Ирина Якутенко с книгой «Вирус, который сломал планету. Почему SARS-CoV-2 такой особенный и что нам с ним делать» (издательство «Альпина нон-фикшн»).

Итоги же голосования жюри «Просветителя» несколько отличались. Николай Эппле стал лауреатом и премии «Просветитель-2021», а вот в номинации «Естественные и точные науки» высшую награду получил Максим Винарский за книгу «Евангелие от LUCA. В поисках родословной животного мира» (издательство «Альпина нон-фикшн»).

Кроме того, специальный приз был вручен «Библиотеке „Квант“», ныне выпускаемой издательством Московского центра непрерывного математического образования (МЦНМО), за многолетнюю последовательную, высокопрофессиональную работу по развитию интереса и мотивации школьников в области математики и физики.

## Комментарии членов жюри

**Александр Марков**, докт. биол. наук, профессор РАН, лауреат премии «Просветитель» 2011 года за двухтомник «Эволюция человека»:

«Книга Николая Эппле — это настоящая просветительская книга. Тема, которая в ней рассматривается: память о государственных преступлениях, то, как разные страны с ней обращаются и к чему это приводит, — действительно новая



Николай Эппле

и очень актуальная, в том числе для нашей страны. До сих пор каких-то серьезных популярных обобщений по этому поводу не было. А в этой книге дается очень подробный сравнительный анализ того, как с памятью о государственных преступлениях работали разные общества: аргентинское, испанское, японское, немецкое и другие. На этом фоне наши российские проблемы становятся чуть более понятными и прорисовываются хотя бы в виде смутных контуров то, что в принципе можно с ними делать».

**Екатерина Аксенова**, автор телеграм-канала и блога о научно-популярных книгах prometa.pro, член жюри премии «Просветитель.Перевод»:

«Перевод книги Ричарда Роудса The Making of the Atomic Bomb („Создание атомной бомбы“) был предметом одного из самых непростых обсуждений жюри; мы много спорили, к какой номинации ее следует отнести. Это объемная и сложная книга, в которой разворачивается историческая и политическая картина мира, меняющаяся с появлением стратегического оружия. При этом автор не избегает детальных описаний физики ядерного взрыва и технологий создания бомбы. От коллектива русскоязычного издания работа, очевидно, потребовала погружения сразу в обе стороны этого текста: „политическую“ и „физическую“, а также большого мастерства для создания максимально ясного, прозрачного текста.

Книга была моим фаворитом с самого начала работы жюри, и я рада, что именно эта работа отмечена премией „Просветитель.Перевод“».

**Виктор Сонькин**, филолог, журналист и переводчик, лауреат премии «Просветитель» 2013 года за книгу «Здесь был Рим»:

«В естественнонаучной номинации победил перевод книги River Out of Eden: A Darwinian View of Life („Река, выходящая из Эдема. Жизнь с точки зрения дарвиниста“), вышедшей в оригинале больше четверти века назад (1995). Этим решением жюри отмечает несколько существенных вещей: во-первых, хорошая научно-популярная книга может оказаться важной и актуальной даже на фоне бурных изменений в науке, и книга Докинза именно такова; во-вторых, издательство Corpus издает все книги Докинза — от ранних до самых последних, и это тоже следует иметь в виду; в-третьих, мастерство переводчика Антона Гопко... несомненно во всех его переводах Докинза — их пять, в работе шестая книга, — и этот подвижнический труд нельзя не отметить. Я бы хотел еще отдельно сказать о том, что качество переводов даже книг длинного списка оказалось удивительно высоким, а это — свидетельство гигантских перемен в отечественной книжной и книгоиздательской практике, случившихся за 14 лет существования премии „Просветитель“».

традицию, увлекая наших ребят в прекрасный, честный и экологически чистый мир математики и физики. Несколько поколений наших старшеклассников нашли свое дело и призвание, открывая эти небольшие книжечки, всегда увлекательно и доступно рассказывающие о самых актуальных проблемах современной науки».

По материалам пресс-релиза премии «Просветитель»

## Жаль, что Роудсу не довелось поговорить с Харитоновым и Сахаровым

**Дмитрий Прокофьев**, переводчик книги «Создание атомной бомбы»:

— Работа над переводом книги шла очень долго. Думаю, что я работал над ней большую часть 2018 года. А еще дольше над ней работали после меня. И вышла книга только в 2020 году.

— **А кто подал идею ее перевести?**

— Издательство «КоЛибри, Азбука-Аттикус», но я был очень рад этому предложению. Эту книгу я читал за много лет до того. И на мой взгляд, она очень хороша, ценна и важна для понимания того, что случилось с человечеством после Второй мировой войны.

— **Что было самым сложным в переводе этой книги?**

— Главной трудностью было, пожалуй, не посрамить добросовестность автора, очень вдумчивого и тщательного исследователя, и нужно было, чтобы перевод был не менее добросовестным, не менее точным.

— **Рассказывается ли там о советском атомном проекте?**

— Да, там есть страницы о советском проекте, но, к сожалению, их очень мало, так как, с одной стороны, автора-американца больше инте-

ресовал проект США, а с другой — в начале и середине 1980-х годов, когда книжка писалась, про советский проект доступных материалов практически не было. Хотя в то время были живы многие его участники — Юлий Харитон, Андрей Сахаров и другие. И я думаю, что если бы у Ричарда Роудса была возможность с ними поговорить, то книга получилась бы еще многограннее и интереснее.

— **Каким переводом вы сейчас заняты?**

— По странному стечению обстоятельств

я сейчас работаю над переводом книги об истории Афин как колыбели мудрости, науки и других аспектов цивилизации.

— **Вы ожидали, что переведенная вами книга станет лауреатом премии «Просветитель»?**

— Нет, я этого не ждал, но это чрезвычайно приятно, лестно, и я очень рад!



Дмитрий Прокофьев

**Евгений Бунимович**, член жюри, поэт, математик, заслуженный учитель России, депутат Московской городской Думы и председатель комиссии по образованию:

«„Библиотека „Квант“ достойно унаследовала многолетнюю традицию работы с талантливыми школьниками России в области физики и математики. Несмотря на все политические, экономические и организационные пертурбации последних десятилетий, „Библиотека...“ достойно и профессионально продолжает эту

Окончание см. на стр. 16

▶ второй (бета) и третьей (дельта) волной в ЮАР [7]. К их результатам могут возникнуть вопросы — например, удивительно, что авторы не выявили у беты и дельты повышенной способности уклоняться от иммунного ответа, но у омикрона такая способность точно имеется, и более выраженная, чем у предыдущих штаммов.

Насколько хорошо омикрон ускользает от антител, тоже можно исследовать в лабораторных условиях, на псевдовирусах, и это уже делается. Но такие эксперименты занимают несколько недель.

Европейский центр профилактики и контроля заболеваний (ECDC) оценил общий уровень риска для стран Евросоюза и Европейской экономической зоны, связанный с дальней-

шим появлением и распространением омикрона, «от высокого до очень высокого» [8]. По очень приблизительным оценкам, через 1–5 месяцев омикрон может стать причиной более половины новых случаев коронавирусной инфекции в Европе. (Точные сроки зависят от того, сколько случаев вызывается омикроном в Европе сейчас, от того, насколько он на самом деле заразен и как быстро распространяется.)

Что можно делать пока? То же, что и до омикрона: носить маски в общественных местах, прививаться (как защищены привитые, предстоит определить, но непривитым омикрон точно не обещает ничего хорошего) и не жалеть средств на эпидемиологические наблюдения. Россия далеко не чемпион по секвенированию геномов коро-

навируса среди стран мира [9]. Поэтому не исключено, что омикрон уже здесь, просто мы об этом не знаем. У двух наших путешественников, которые вернулись из ЮАР и находились на карантине, обнаружили [10]. Ведущие производители вакцин всерьез задумались о версии 2.0 и о том, как сделать ее быстрее [11]. Такие планы есть и у разработчиков «Спутника» [12]. Похоже, имеется как минимум одно эффективное лекарство в таблетированной форме — «Пакловид» от Pfizer, который проходит клинические испытания в том числе и в РФ [13, 14].

А мы воспользуемся универсальным советом из «Автостопом по Галактике» Дугласа Адамса для любой тревожной ситуации с высокой

степенью непонятности: Don't Panic (без паники)! Коронавирусная пандемия — испытание для психики, все мы устали болеть, бояться за близких и ждать плохих новостей. Но мы пережили первую волну, когда не было ни вакцин, ни лекарств, ни уверенности в том, что они появятся. Справимся и с омикроном. Наверняка уже на момент, когда этот номер выйдет из печати, мы будем знать больше.

1. theguardian.com/world/2021/dec/04/who-says-no-deaths-reported-from-omicron-yet-as-covid-variant-spreads
2. cbsnews.com/news/omicron-variant-children-south-africa/
3. cnbc.com/2021/12/01/covid-who-says-south-africa-hospitalizations-rising-omicron-severity-unclear.html
4. covariants.org/shared-mutations

## КОРОНАВИРУС

5. pcr.news/novosti/koronavirus-ne-mozhet-beskonechno-uvlechivat-svoyu-prisposoblenost/
6. nature.com/articles/s41586-021-04005-0
7. medrxiv.org/content/10.1101/2021.11.1.21266068v2
8. ecdc.europa.eu/en/publications-data/covid-19-threat-assessment-spread-omicron-first-update
9. pcr.news/novosti/md-2021-den-2-molekulyarnaya-diagnostika-covid-19/
10. kommertsant.ru/doc/5113010
11. nytimes.com/2021/11/28/health/covid-omicron-vaccines-immunity.html
12. tass.ru/obschestvo/13099423
13. pcr.news/stati/tabletka-ot-koronavirusa-kompanii-pfizer-proydet-klinicheskie-issledovaniya-v-rossii/
14. clinline.ru/reestr-klinicheskikh-issledovaniy/738-12.11.2021.html

