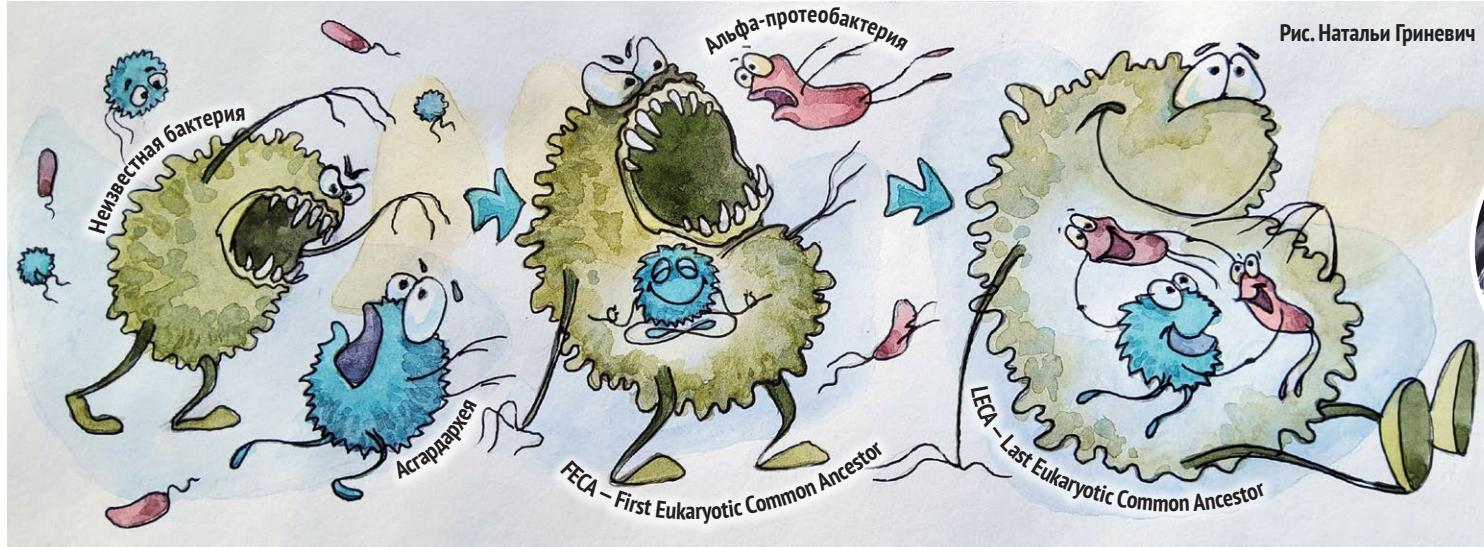


газета, выпускаемая учеными и научными журналистами



в номере

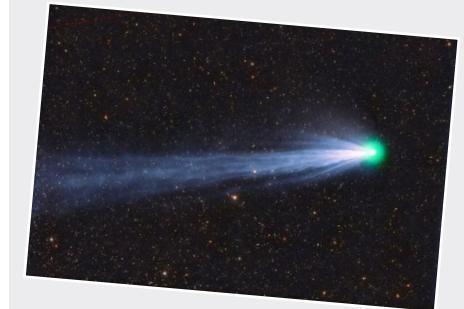
«Одиссея» между «безусловным успехом» и «позорным провалом»

Андрей Колин о первой американской высадке на Луну спустя полстолетия – стр. 4–5



Алексей Кудря: Астроновости

Мартовская комета, история воды на Земле, юбилей «Розетты» и субкоричневый карлик – стр. 6, 9



НОВОЕ О ПРОИСХОЖДЕНИИ ЭУКАРИОТ: КТО КОГО СЪЕЛ



Интервью с Евгением Куниным

Евгений Кунин, сотрудник Национального центра биотехнологической информации Национальных институтов здравоохранения США, отвечает на вопросы Бориса Штерна.

Видеозапись интервью на канале «Троицкого варианта – Наука»: youtu.be/xpd33inS7Is

Другие беседы цикла «Место жизни во Вселенной»: trv-science.ru/tag/proisxozhdenie-zhizni/



— Здравствуйте! В прошлый раз мы беседовали с Евгением Кунином о самом-самом начале жизни, о зарождении первого репликатора¹. Сегодня мы прыгаем далеко вперед: речь пойдет уже о гораздо более продвинутом шаге эволюции — о возникновении эукариот, нового типа живой клетки. Многим это кажется довольно сложным и маловероятным шагом. Давайте попробуем разобраться. Евгений, вам слово. Как вам это всё представляется? Как это произошло и насколько это было вероятно? Насколько предопределено?

— С удовольствием отвечу на эти вопросы. Для начала несколько слов о том, в чем новизна эукариотического типа клетки по сравнению с прокариотами, т. е. с бактериями и археями. Клетки эукариот намного сложнее, и большинство из них намного больше в среднем по объему — типичная эукариотическая клетка раз в тысячу больше, чем прокариотическая. Это накладывает много всяких ограничений и требований. Эукариотические клетки содержат сложные системы мембран и цитоскелет. Они очень хорошо организованы пространственно — компартментализованы, как говорят биологи. И почти всё там происходит существенно более упорядочено, чем в прокариотической клетке.

Для слушателей, которые сейчас, может быть, не так уж немедленно понимают, о чем идет речь, стоит сказать, что подразумевается под эукариотами вообще. В переводе с греческого *εύ* — «истинный, настоящий», а *κάριον* — «ядро», т. е. клетки, которые имеют настоящее ядро. Так они были названы в противоположность прокариотам, название которых отсылает к примитивному подобию ядра — ядра, в котором заключены хромосомы с геномом, где транскрипция происходит с образованием РНК, которая потом частично выходит уже в цитоплазму. В общем, настоящий скачок в сложности от прокариотических клеток. Это первое.

Вторая, совершенно фундаментальная вещь, которую нужно знать об эукариотических клетках: это, в сущности, не одна клетка, а система «хозяин — симбионт»: практически все клетки эукариот содержат органеллы-эндосимбионты, известные всем как митохондрии (за исключением тех немногих, которые их уже потом вторично потеряли). Митохондрии происходят от конкретной группы бактерий, альфа-протеобактерий — это не гипотеза, даже не теория,

а простой биологический факт. Митохондрии имеют маленький, но совершенно необходимый для их функционирования геном. Исследования эволюционных взаимоотношений этого генома — филогенетии — с полной ясностью показывают, что эти органеллы, как мы их называем, произошли от альфа-протеобактерий. Более того, в ядерном геноме эукариот имеется большое количество генов, которые от этих бактерий происходят, перенесены в ядерный геном, но их продукты функционируют в митохондриях. Вот такую информацию совершенно обязательно нужно знать об эукариотах, особенно в контексте их происхождения.

Заметим еще одну вещь. У некоторых эукариот, например у водорослей и растений, имеются дополнительные эндосимбионты, еще другие бактерии, так называемые цианобактерии (или сине-зеленые водоросли, как их раньше называли), которые дали начало хлоропластам и другим пластидам. Тут наступает уже следующий уровень сложности, когда эукариотическая клетка является продуктом симбиоза, слияния трех разных организмов. У некоторых других эукариот есть еще более сложные симбиотические системы. В общем, эндосимбиоз — это наше всё, если мы говорим об эукариотах.

— Вопрос по ходу: Евгений, а хозяин-то кто?

— Ну, так ведь не всё сразу. Мы дойдем до этого вопроса. Давайте сразу скажу, чтобы обострить интригу: кто хозяин, не знаю. Не потому что я такой невежественный, а потому что не знает никто. Но партнера — того, кто вносил в это дело вклад, — мы, конечно, знаем, и сейчас мы к этому придем.

Для начала нужно поговорить об археях. Археи — это второй домен прокариот, второй первичный домен жизни: бактерии и археи разошлись от последнего общего предка — LUCA (Last Universal Common Ancestor), как мы его называем. Хотя что касается, так сказать, морфологии: если вы будете смотреть даже в очень хороший микроскоп, археи, может, мало отличаются от бактерий — все черненькие и все прыгают... Но на самом деле отличия исключительно велики и в организации клеток, и особенно на эволюционном уровне. Археи разошлись с бактериями исключительно давно, на заре возникновения жизни.

Имеется очень важный и большой набор генов, которые у эукариот происходят от археев. Грубо говоря, система хранения и передачи информации в клетках достаточно слож-

на: она включает ДНК, которая организована в хроматин достаточно сложным образом. Вся эта система, конечно, реплицируется, проходя стадии репарации (починки), потому что какие-то поломки постоянно происходят. Иначе никакой жизни бы не было. Дальше происходит транскрипция, а потом трансляция. Всё это требует нескольких сотен разных молекул РНК и сотен белков, которые задействованы в этих процессах передачи информации. И почти все компоненты этой системы хранения и передачи информации в клетке у эукариот происходят от археев.

Это тоже никакая не гипотеза, не спекуляция и даже не теория, это простой факт, который наблюдается на тысячах сравнений молекулярных последовательностей нуклеиновых кислот и белков, разных структур, рибосом и не подлежит ни малейшему сомнению.

А что сомнению подлежит? Пожалуй, сейчас я немного вернусь опять к бактериям и подчеркну следующую вещь: на эволюционном, генетическом уровне мы, эукариоты, представляем собой химеры — гибриды, если угодно. Часть наших генов — примерно четверть — однозначно происходит от археев. А более значительная часть генов — от бактерий, и это тоже прослеживается. Мы уже упомянули альфа-протеобактерии, от которых произошли митохондрии. Конечно, они вносят существенный вклад, но всё еще сложнее. А откуда происходит часть генов, непонятно и, может, даже не столь важно. Среди тех генов, происхождение которых нам понятно, где-то, может быть, две трети наших эукариотических генов принадлежало бактериям. Грубо говоря, отношение архейных генов к бактериальным — один к двум.

Это очень важное обстоятельство, потому что когда в учебниках, в книжках, да и во многих статьях показывают филогенетические деревья, то вместе с ними распространяют и суждение, что мы, эукариоты, происходим от археев. Первое филогенетическое дерево, которое было построено в таком виде из трех доменов жизни: от корня отходят бактерии, потом в другую сторону отходит некий общий ствол, и в какой-то точке от этого ствола отходят эукариоты и археи. Его построил где-то 45 лет назад великий пионер в области филогенетики Карл Вёзе (Carl Woese). Идея

Молекулярный взгляд на разнообразие жизни
Беседа Надежды Маркиной и Анны Банниковой — стр. 8–9



Антиселенная, квантовая запутанность и любовь
Фантастический рассказ Павла Амнузеля — стр. 10–11



Игрушечная железная дорога: ритм и кукла
Очерк Александра Маркова и Оксаны Штайн — стр. 12–13

Притчи о загадках и противоречиях бытия

«Нейро-арт» от Михаила Эпштейна — стр. 13

Скандал с кватернионами

Фрагмент книги британского популяризатора науки Майкла Брукса — стр. 14–15

Подписывайтесь на наши аккаунты:
t.me/trvscience, vk.com/trvscience, twitter.com/trvscience

Окончание. Начало см. на стр. 1

Эта трехдоменная модель эволюции жизни, где эукариоты группируются с археями, оказалась выдающимся достижением. Но дальнейшее развитие показало, что изначальные три домена исключительно однобоко отражают историю жизни. А ежели на дерево смотреть глубже, то выявляются два принципиальных аспекта, по которым оно представляет собой недопустимое упрощение.

Первый аспект я уже упомянул: нравится нам это или нет, но большинство наших генов происходит не от археев, а от бактерий. Другое дело, что эти гены в основном обеспечивают не передачу информации, а функционирование клетки – метаболизм, обмен веществ, структуру мембран, транспорт всего на свете, выбрасывание ненужного... В общем, все операционные клеточные функции. Они происходят почти исключительно от бактерий. Эукариоты происходят как от археев, так и от бактерий – это вещь принципиальная.

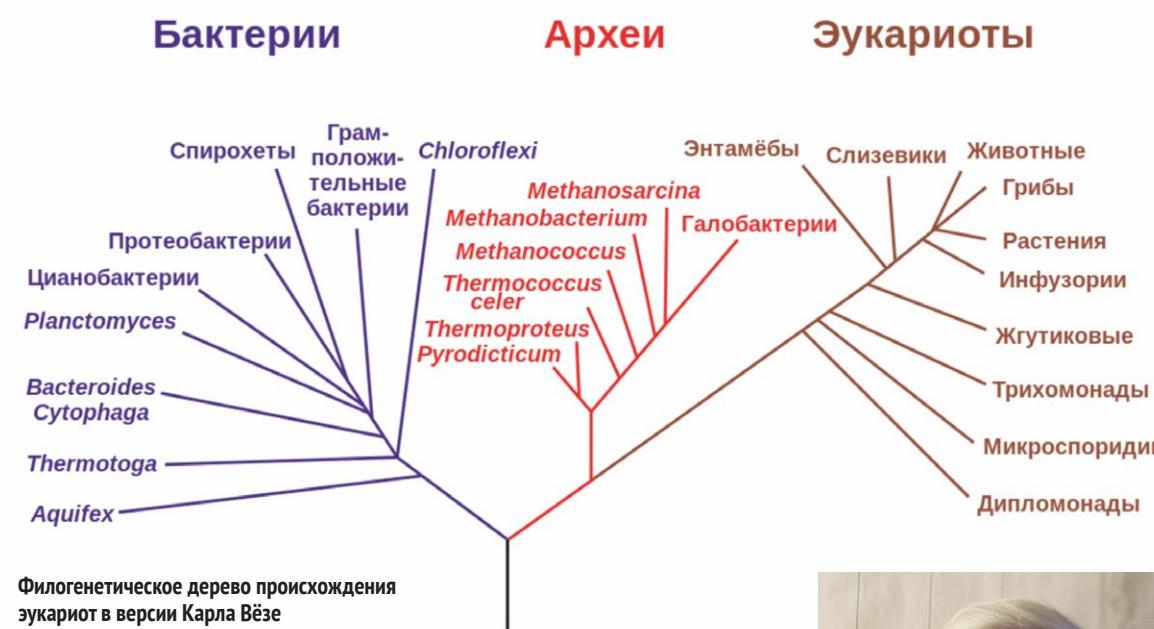
Второе принципиальное обстоятельство следующее. Зададимся вопросом: от каких именно археев? В классическом дереве Карла Вёзе, которое и теперь нередко показывают (особенно в популярной литературе), археи и эукариоты – это, так сказать, сестры, происходящие от общего предка. Но дальнейшие исследования показали, что это неправильно по отношению к компонентам нашей системы хранения и передачи информации. На самом деле эукариотическая ветка сидит глубоко внутри археев.

Этот вопрос рассматривается уже очень давно. Первые указания на то, что эукариоты сидят внутри археев, были слабыми. Они были сначала основаны на морфологии рибосом, наблюдавших под электронным микроскопом, потом на последовательностях рибосомных РНК и всяких консервативных генов. И был сигнал, показывающий, что эукариоты сидят внутри археев, но это было предметом дебатов, потому что сигнал этот был слабым.

Однако, как это особенно часто бывает в биологии, теоретические дебаты были закрыты новыми, вполне эмпирическими открытиями. Это произошло уже в наше время, относительно недавно, в 2015 году, когда были открыты так называемые асгардархеи – особый тип археев, которые являются ближайшими родственниками эукариот, теперь это не дебатируется. (Когда я говорю «тип», то имею в виду ранг таксономической иерархии.) Даже немножко сложнее и еще более драматично: эукариоты сидят внутри той ветви в архейном филогенетическом дереве, которая представляет собой этот самый Асгард. Ближайшие архейные родственники эукариот определены достаточно точно – это так называемый хеймдалльархей, некая глубокая ветка. Так что наша информационная система происходит не просто от археев, а от совершенно конкретной ветви археев на довольно продвинутой стадии их дифференциации.

– Почему их так назвали: «асгардархеи»?

– Как известно, Асгард – эквивалент Олимпа в скандинавской мифологии; конечно, холодный, поскольку мифология нордическая. В Асгарде живут боги, в том числе и Хеймдалль – очень важный бог, охраняющий Асгард от врагов. Откуда такая терминология? Дело в том, что впервые представители этого типа археев были обнаружены на морском дне, в осадочных слоях вблизи горячих источников, которые называются *Loki's Castle*, т. е. «Замок Локи», наиболее отвратительного бога. Поэтому и повелось остроумно называть представителей именно этого типа археев по именам скандинавских богов – там есть и Тор, и Один, и кого только нет.



Итак, асгардархеи – наши ближайшие родственники, и это означает две вещи, которые следует упомянуть отдельно. Первая: они с нами, с эукариотами, группируются в филогенетических деревьях консервативных генов, рибосомных РНК, рибосомных белков и т. д. С другой стороны (и это даже в некотором смысле еще более важно и интересно), у них имеется больше, чем у других археев, генов, кодирующих белки, очень важные для функционирования эукариотической клетки, – они, в частности, составляют эукариотический цитоскелет и разные компоненты внутриклеточных мембран, которые претерпевают всякие хитрые перестройки, и в этом участвуют разные белковые комплексы, выполняя сложную работу.

И вот долгие годы считалось, что это инновация в эукариотах. А исследования асгардархеев показали, что это не совсем так. У них обнаружились непосредственно прослеживаемые предшественники (открыть их, безусловно, помогли современные методы моделирования белковой структуры), которые годами считались эукариотическими инновациями. Вот так теперь выглядит наше архейное происхождение.

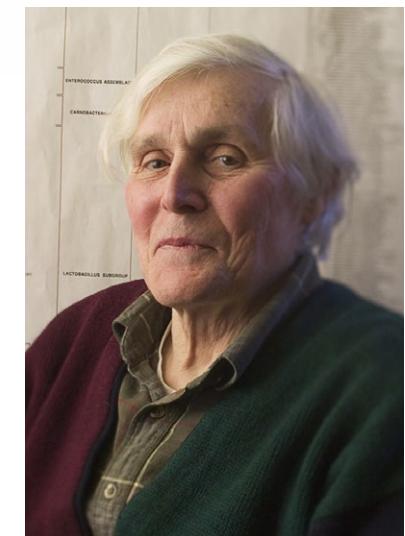
Теперь вернемся к происхождению бактериальному. Оно нетривиально: было бы, конечно, соблазнительно думать, что все бактериальные гены пришли от митохондрий, от альфа-протеобактерий. Но это не так. Когда у эукариот исследовали филогенетические деревья генов бактериального происхождения, то стало ясно, что они происходят от самых разных бактерий. Таким образом, вокруг происхождения эукариот творилось что-то очень непростое. Допустим, они возникли в определенный момент (что, наверное, не совсем правильно, но пускай так). И до этого, и после этого происходило всяческое смешение генов и, соответственно, их продуктов – в общем, совершенно нетривиальные процессы.

Теперь мы уже все-таки обратимся непосредственно к тому, как могли произойти эукариоты, и скажем сразу, что здесь нет полной ясности. Здесь мы оперируем гипотезами, сценариями, спекуляциями...

– Можно на секундочку вмешаться? Я просто попытаюсь подытожить то, что я понял, а вы меня поправите, если не так. Получается, из анализа того, что мы видим в эукариотах, заметно, что туда вложили свой вклад совершенно разные организмы? Эта большая общая оболочка со скелетом происходит от архей конкретного типа. Аппарат репродукции – тоже от архей, но неизвестно, какого типа. А большинство белков, которые участвуют в метаболизме клетки, мы унаследовали от бактерий... Правильно ли я усвоил? Если нет, поправьте.

– На очень общем уровне правильно, но в важных деталях есть неточности. В частности, отлично известно, от какого типа археев произошел весь аппарат репликации, транскрипции и трансляции. Да, это еще может уточняться, но картировано уже хорошо, и картировано в ветке хеймдалльархеев внутри асгардархеев. Далее: что касается того, откуда происходит мембрана. То, что вы сказали, не совсем верно. Оболочка-то как раз бактериальная, а вот цитоскелет внутри – то, что поддерживает эту большую клетку, – в значительной степени происходит от архей, и в данном случае – от тех же самых археев. Так что с архейным происхождением всё более или менее ясно, а с бактериальным происхождением всё на многое сложнее.

Теперь мы все-таки обратимся непосредственно к тому, как могла произойти эукариотическая клетка. Прежде всего нужно сказать об эндосимбиозе. В том, что митохондрия происходит в результате эндосимбиоза, сомнений абсолютно никаких нет. Есть, однако, серьезные сомнения относительно того, на какой стадии эволюции это произошло. Годами рассматривался какой-то – несколько примитивный – сценарий, когда был некий предок эукариот, у которого не было никаких эндосимбионтов, никаких митохондрий, но в остальном это была, в общем, эукариотическая клетка, и она в какой-то момент поглотила альфа-протеобактерию, и от этого произошли все более сложные эукариоты. Был такой термин – архезои, – обозначающий родственников археев,



которые дали начало таким амитохондриальным эукариотам до эндосимбиоза. На роль архезоев рассматривались всякие кандидаты среди простейших одноклеточных эукариот. Однако когда люди начали более внимательно изучать этих кандидатов, то оказывалось, что дело-то плохо: у них, может быть, нет видимых митохондрий, но есть какие-то остатки, есть гены, которые происходят от альфа-протеобактерий. И всё это представляет собой вторичные потери митохондрий. Их немало у паразитов, вроде лямблей, и у ряда амёб, которые живут в анаэробных условиях. Никаких сколько-нибудь серьезных кандидатов на первично амитохондриальные эукариоты нет.

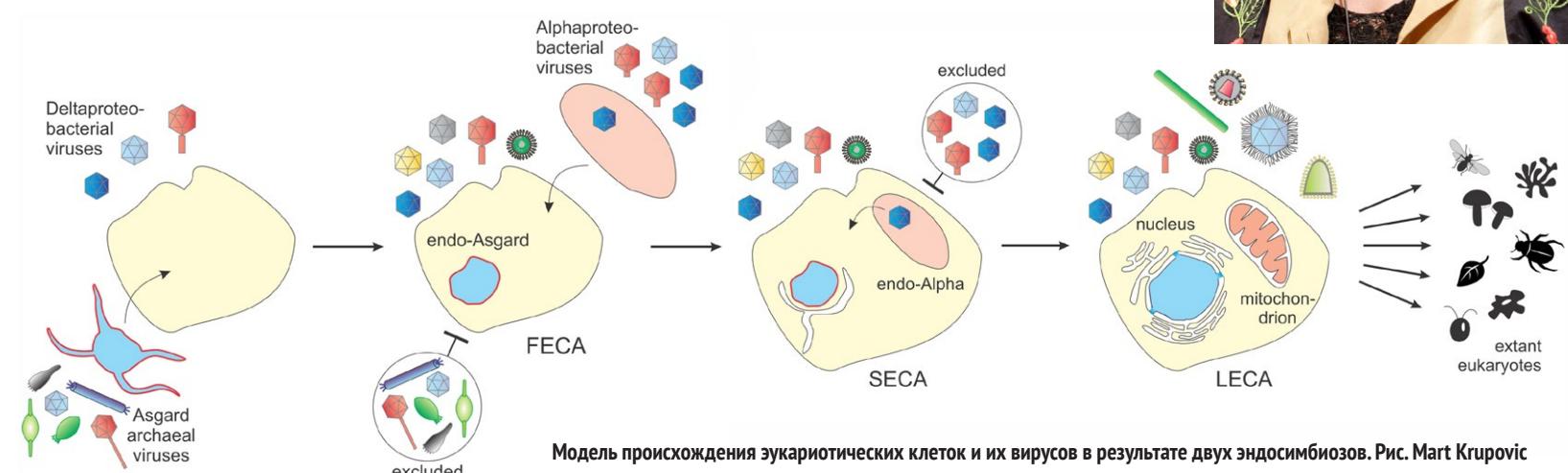
Здесь мне нужно повторить, что мы переходим на более зыбкую почву: когда мы говорим о происхождении разных генов, мы остаемся на твердой земле, а здесь местность становится несколько болотной. Тем не менее голову подняли другие гипотезы и сценарии, где эндосимбиоз – это, собственно, и есть происхождение эукариот. Никаких эукариот до эндосимбиоза не было, попросту говоря. Эта идея была предложена знаменитым биологом Линн Маргулис (Lynn Margulis) еще в конце 1960-х годов, но она воспринималась как еретическая. Считалось, что должны существовать первичные амитохондриальные эукариоты, а теория Маргулис – фантазии. Выясняется, что абсолютно нет: никаких следов существования эукариот до эндосимбиоза не обнаруживается. В общем, скорее всего, эндосимбиоз

и положил начало этому фундаментальному преобразованию, усложнению клеток, которое и привело к возникновению эукариот.

Всё началось с того, что кто-то кого-то заглотил. Кто кого? И тут возникают большие проблемы. Для того, чтобы понять характер и уровень этих проблем, мы должны обратиться к мембранам – мембранам бактерий, эукариот и археев. На всякий случай скажу, что мы понимаем, что все клетки ограничены полупроницаемыми фосфолипидными мембранами, в которые встроено большое количество белков; мембранны удерживают внутриклеточное содержимое, с одной стороны, и с другой – являются полупроницаемыми – т. е. поддерживают градиенты всяких малых молекул, а также ионов, этим и обеспечивая клетку энергией и питанием. Жизни без мембран никогда и нигде нет никакой, не было и не будет.

Мембранны устроены очень по-разному. С одной стороны – у археев, с другой – у эукариот и бактерий. Там химически и физически разные липиды, в том смысле, что они имеют разную хиральность: у археев – правая, а у эукариот и бактерий – левая. Нам нет необходимости лезть в эту химию, но химически они существенно отличаются. И, соответственно, энзимы – ферменты, которые занимаются биосинтезом этих фосфолипидов, – тоже совершенно разные. Это принципиальная вещь, которая может не быть широко известной вне круга специалистов: у эукариот все без исключения мембранны (как плазматические мембранны клеток, так и мембранны внутриклеточные, включая ядерную) являются мембранными бактериальными. Это достаточно фундаментальная вещь. Люди это изучают, проводятся опыты со смешанными мембранными. Результаты довольно неоднозначные, но, в общем, бактерии, которым добавляют в мембранны архейные липиды, не очень счастливы. В каких-то масштабах они могут жить, но счастья нет. В общем, не совсем ясно, насколько это всё совместимо.

Как выглядит простейшее объяснение? Поскольку мы имеем архейного партнера и митохондриальные эндосимбионты внутри эукариотической клетки, то проще всего сказать, не слишком задумываясь: был архейный хозяин, который проглотил альфа-протеобактерию, которая дала начало митохондриям. Это,



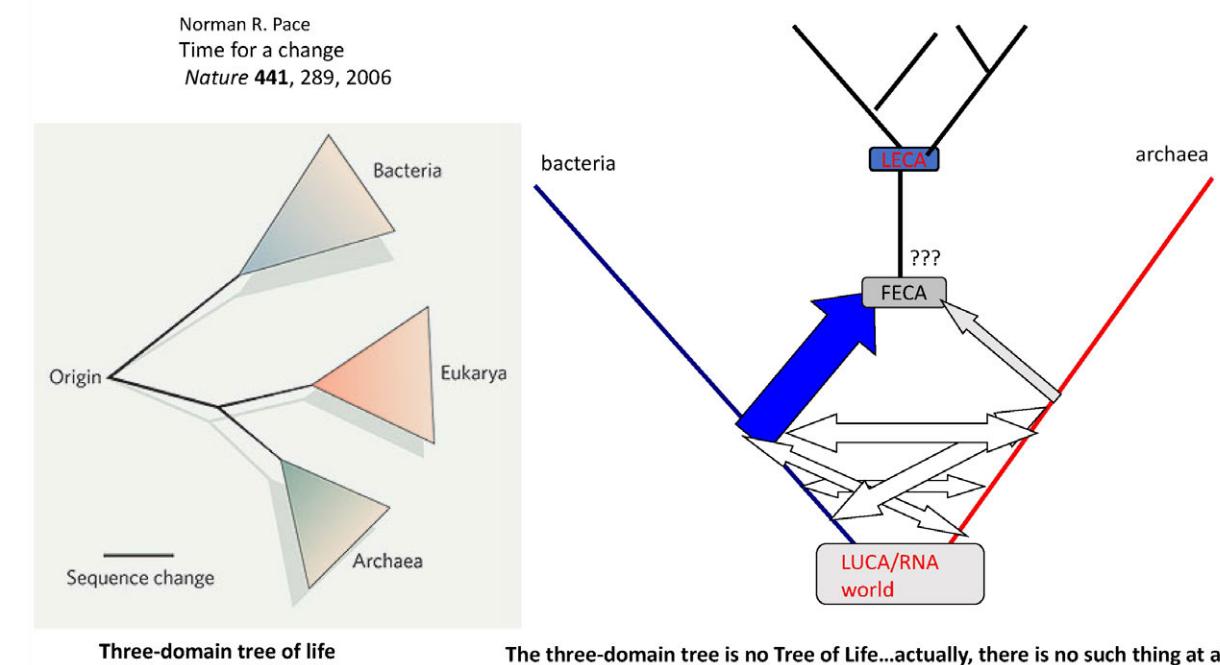
так сказать, выглядит вполне убедительно – и многие так и считают. Однако, если приглядеться более внимательно, то возникает большая проблема несовместимости мембран. Значит, каким-то образом все архейные мембранны должны были заменяться на мембранны бактериальные. Как такой процесс происходил, совершенно неясно. Соответственно, возникают другие идеи, может быть, более сложные, но и более осмысленные с точки зрения мембранный биологии. Они также принимают во внимание то обстоятельство, выше уже упомянутое, что мы происходим от разных бактерий. В результате другое семейство гипотез по поводу происхождения эукариот состоит в том, что, по крайней мере, два события эндосимбиоза имели место. И на первой стадии – это, может быть, немножко континтуитивно, но, думаю, биологически более осмысленно – не агардархея проглатывала бактерию, а наоборот: бактерия проглотила агардархею. Таким образом, в процессе этого целостность бактериальной мембранны, ограничивающей клетку, никогда не нарушалась. Бактерия поглотила архею, и архейные мембранны растворились, исчезли. Архея как бы дала начало клеточному ядру, что, так сказать, интуитивно довольно привлекательно, потому что вся эта информационная машинация происходит от археи.

Это был этап возникновения эукариотической клетки. А приобретение митохондрий – это процесс уже более поздний. Это тоже, конечно, было очень давно и до общего предка всех нынешних эукариот, поскольку, как мы уже договорились, эукариот без митохондрий мы не знаем, и, видимо, первично без митохондрий их нет. И есть другие указания из филогенетического анализа: митохондрии – довольно позднее приобретение, у нас довольно много древних бактериальных генов. Ряд исследователей (себя я тоже к ним причисляю) сейчас склонен серьезно относиться к таким, казалось бы, более сложным сценариям происхождения эукариот путем серийного эндосимбиоза, путем двух или более разнесенных во времени (хотя, может быть, и недалеко) событий эндосимбиоза.

Пожалуй, еще я расскажу, пользуясь случаем, любопытную историю про нашу собственную работу, связанную с этой темой. В какой-то момент мы с некоторыми моими коллегами стали очень интересоваться происхождением вирусов эукариот, и у нас появилась возможность это изучать. Вирусы эти весьма разнообразны: есть очень маленькие; есть, так сказать, гигантские; есть РНК, есть ДНК... В общем, поразительный такой паноптикум. И вот что выяснилось, когда мы стали внимательно более-менее это дело изучать: все без исключения эукариотические вирусы в самом начале своей эволюции происходят от вирусов бактерий. Ничего общего с вирусами археи мы не нашли. Вернее, какие-то очень дальние взаимоотношения существовать могут, но бактериальные вирусы явно ближе и явно были предками.

Это, похоже, говорит нам о том, что все эти схемы возникновения эукариот, основанные на непрерывном существовании бактериальной мембранны вокруг клетки, имеют смысл. Именно потому архейные вирусы были исключены, что не умели проникать через бактериальные мембранны.

Вот такая история, так сказать, в общих контурах. Так мне сейчас видится наше понимание происхождения эукариот. Еще раз подчеркну, что генетическое наследство (в смысле происхождение генов) – вещь достаточно ясная, о ней у нас есть достаточно точные представления. Важность эндосимбиоза тоже не подлежит никакому сомнению, как и химерная природа эукариот. Так что простое дерево с тремя ветками, которое было



Происхождение эукариот в старой (слева) и новой (справа) парадигме.
FECA, First Eukaryotic Common Ancestor; LECA, Last Eukaryotic Common Ancestor

нарисовано Карлом Вёзе, – бактерии, потом некий ствол, археи, эукариоты – всё это, конечно, недопустимое упрощение. И, более того, все мы любим говорить о древе жизни и т.д., но следует признать, что происхождение эукариот принципиально не представимо в виде дерева, в виде, так сказать, бинарного графа, выражаясь математическими терминами. Если позаимствовать еще один математический термин, то в этом графике есть цикл, что не позволяет именовать его деревом в техническом смысле. Этот самый цикл представляет собой именно слияние клеток двух первичных доменов – архей и бактерий, в результате которого только и стало возможным это поразительное усложнение, которое мы наблюдаем в эукариотических клетках. Конкретные детали этого процесса безумно интересны и являются предметом активного изучения, в том числе и в моей лаборатории.

Можно ли сказать, кто раньше вступил в этот коллектив? Митохондрии или хлоропласты, органеллы, которые от цианобактерий? Или они как-то, видимо, независимы – можно ли сказать, что они вступили в дело раньше?

– В данном случае – без всяких сомнений. Митохондрия, еще раз, есть у всех эукариот. Это очень раннее приобретение. Это событие предшествует последнему общему предку всех живущих эукариотов. Мы его когда-то обозначали LECA (Last Eukaryotic Common Ancestor). Приобретение митохондрии по всему, что мы сейчас понимаем, предшествует LECA. А приобретение хлоропластов – это сравнительно позднее событие. Это случилось у общего предка зеленых и красных водорослей и растений – конечно, тоже очень давно. И вот эти принципиальные события – возникновение эукариотических клеток, возникновение основных ветвей эукариот – по-видимому, очень скаты во времени. Важные преобразования, как это часто бывает и в человеческом обществе, происходят в течение сравнительно коротких промежутков времени. Ну, на эволюционных масштабах, конечно.

– Да, но сразу вопрос вдогонку. Смотрите, до появления эукариот, после появления клетки, бактерий, архей, прошло сколько лет? Полтора миллиарда или даже больше?

– Очень точных датировок нет, но прошло примерно два миллиарда лет.

– Да, и вот почему эволюция так долго «выжидала»? Должны были появиться какие-то свойства у бактерий или у архей? Или это просто маловероятный факт, который требовал большого времени просто для того, чтобы вероятность реализовалась?

В некотором смысле это сравнительно маловероятное событие. Особенно маловероятное – это фиксация такой химеры. Съесть-то она съест, но как потом выживет? Ситуация достаточно тяжелая.

– Я услышал практически всё, что хотел спросить, и многое было для меня в новинку. Евгений, если вы считаете нужным еще чего-то добавить, то добавьте, пожалуйста; так сказать, некое закругляющее резюме.

– Конечно. И мне бы хотелось сказать следующее – не вдаваясь уже на этой стадии в детали, мы в значительной степени это сделали. Мы в прошлый раз с вами говорили о происхождении жизни. И хотя как эволюционисты мы не можем не волноваться об этой проблеме – она невероятно важна, – я тем не менее подозреваю, что в моих словах звучал существенный скепсис и опасение в плане того, что разобраться в этих процессах исключительно, невероятно сложно. И по-настоящему мы, видимо, никогда не узнаем того, как произошла жизнь. Я уверен, что мы достигнем какого-то прогресса и будем иметь более убедительные модели, но по-настоящему, я опасаюсь, мы этого знать никогда не будем. Но сегодня мы говорили о происхождении эукариот – не столь фундаментальном по определению, но следующим по уровню фундаментальности событиям, и, может быть, даже чуть ли не более интересном для нас, потому что это все-таки ближе к дому – если бы не эукариотические клетки, не то, чтобы нас, – ничего похожего на нас не было. И здесь мне бы хотелось, наоборот, закончить на ноте оптимизма. Потому что нам, в общем-то, удалось понять многое. Изучение разнообразия существующих архей и бактерий, сравнение их филогенетики, дающее богатые результаты, также и в клеточной биологии, в общем, позволило нам в последние годы достигнуть существенного прогресса. Я надеюсь, что еще до завершения моей научной карьеры есть реальный шанс получить, так сказать, картину происхождения эукариотических клеток, к которой мы будем относиться с полной серьезностью.

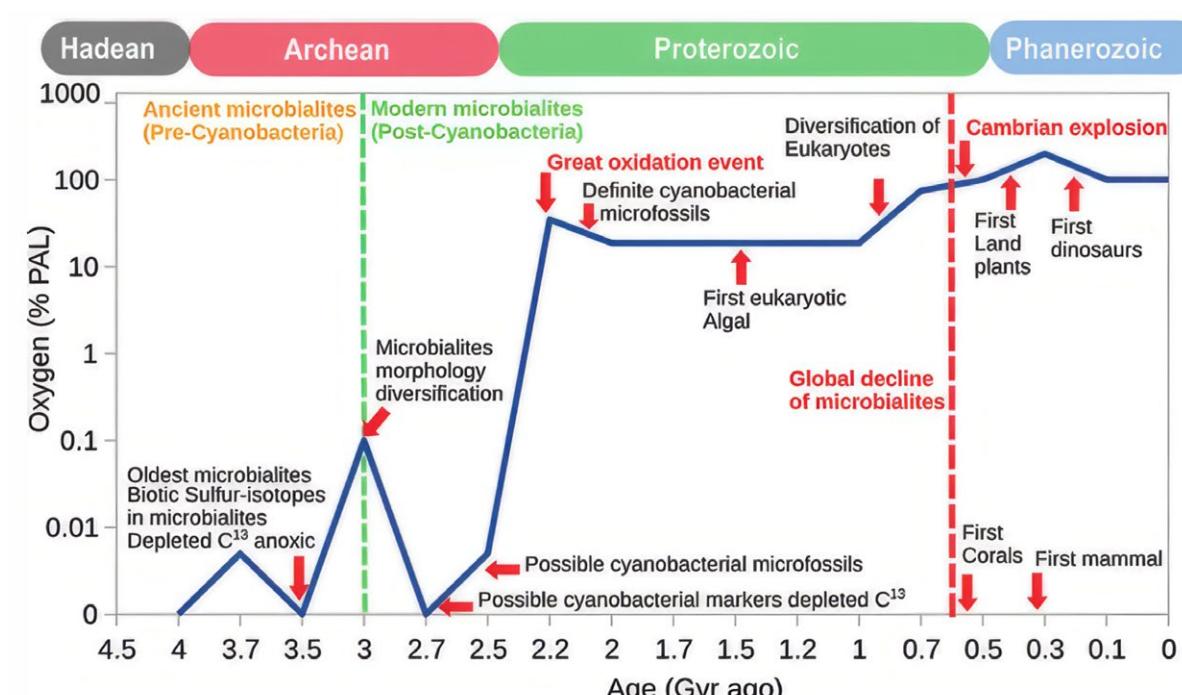
– Ну что ж, большое спасибо. На этой оптимистической ноте, как обычно принято говорить, давайте и завершим разговор. Еще раз, Евгений, большое спасибо.

– Вам огромное спасибо. Об этом приятно и полезно поговорить.

– Ну и слушателям нашим тоже спасибо за терпение. До свидания!

– Всего хорошего! Спасибо. ♦

Содержание кислорода в атмосфере в разные эпохи (Richard Allen White III "The Global Distribution of Modern Microbialites: Not So Uncommon After All"; In book: Astrobiology and Cuatro Ciénegas Basin as an Analog of Early Earth (pp.107–134))





Андрей Колин

«Одиссей» из Хьюстона

Андрей Колин, MSc, выпускник International Space University, системный инженер космических аппаратов

15 февраля 2024 года ракета-носитель Falcon 9 (в своей самой легкой версии, RTLS) вывела на прямую траекторию к Луне посадочный модуль «Одиссей» из серии Nova-C от частной компании Intuitive Machines. Через неделю, 22 февраля, аппарат прилунился у приполярного кратера Малаперт и передал на Землю фотографии, телеметрию и прочие данные. Тем не менее в процессе полета произошло множество досадных инцидентов, а при самой посадке подломилась одна из посадочных опор, в результате чего «Одиссей» опрокинулся набок. В результате этого мнения по поводу успешности миссии оказались прямо противоположными: одни (включая администратора NASA Билла Нельсона) считают ее «безусловным успехом», другие – «позорным провалом». Попробуем разобраться в том, что известно на текущий момент.

Истоки

Компанию Intuitive Machines основали выходцы из NASA, в частности, из закрытого Project Morpheus. Они одними из первых делали двигательные установки космических аппаратов на жидком метане с кислородом (сокр. methalox) и проводили многочисленные прыжковые испытания в 2013–2014 годах. Эти ДУ пришли из закрывшегося к тому времени стартапа Armadillo Aerospace, который участвовал в конкурсе Northrop Grumman Lunar Lander X-Prize и занял там второе место. Сами сотрудники Intuitive Machines позже участвовали (хоть и не на первых ролях) в намного более громком Google Lunar X-Prize, наряду с почти всеми их теперешними конкурентами.

Из Project Morpheus пришел один из трех сооснователей Intuitive Machines, ставший техническим директором (CTO) – Тим Крейн. Генеральным же директором (CEO) стал Стив Альтемус – бывший замглавы Космического центра имени Линдона Джонсона NASA. Владельцем же и основным источником финансиро-

вания стал миллиардер Кам Гаффарян, бывший работник NASA, Lockheed Martin и Ford Aerospace, основавший множество космических и инновационных компаний, в том числе и такие известнейшие, как Axiom Space.

Программа

Программа NASA Commercial Lunar Payload Services (CLPS, произносится «клипс») была обнародована в 2018 году, сразу после отмены миссии «классического» лунохода Resource Prospector и под влиянием явного успеха программы CRS по доставке грузов на МКС частными компаниями. В ней задействовано множество частных компаний, проектирующих корабли, а NASA играет роль «агрегатора такси», а также одного из клиентов.

Идеология программы, многократно озвученная ее главным сторонником, тогдашним главой научного отдела NASA Томасом Зурбухеном, в том, чтобы внести в межпланетные миссии принципы NewSpace, испытывая аппараты в железе, и быть терпимыми к ненулевому проценту неудачных миссий

Фото поверхности Луны, переданное «Одиссеем» перед посадкой. Сверху – Земля. Изображение Intuitive Machines

- масса полезной нагрузки: до 130 кг – отсюда и название серии (римская цифра C = 100).

ногого соотношения начальной массы и массы полезной нагрузки.

Полезная нагрузка

Хотя основной целью первой миссии Intuitive Machines были испытания самого лендера, на него всё же решено было поставить двенадцать единиц научной и коммерческой нагрузки.

От NASA:

- ROLSES: мини-радиотелескоп для изучения плазмы у поверхности Луны и ее влияния на приповерхностную радиоэнергетическую среду и получающиеся радиошумы;
- LRA: набор из восьми пассивных ретро-рефлекторов для уточнения местоположения лунных орбитальных аппаратов или расстояния Земля – Луна;

• NDL: три алтиметра для точного определения высоты и скорости относительно поверхности;

- SCALPSS: стереокамера для фотографирования эффекта струи газов от двигательной установки аппарата на лунную пыль в процессе посадки;
- LN-1: радиомаяк для лучшей ориентации будущих лендров;
- RFMG: радар, точно измеряющий количество топлива в кислородном и метановом баках.

От других (частных) клиентов:

- Columbia Sportswear: тест, могут ли элементы изоляции спортивного костюма заменить внешний слой термальной изоляции криогенных баков в космосе;

• ILO-X: микро-телескоп, прототип будущей более крупной лунной обсерватории;

- EagleCam: кубсат, который должен был «выстрелить» во время посадки и сфотографировать «Одиссей» со стороны;

• MoonPhases: 125 миниатюрных скульптур из нержавеющей стали в честь людей, которым принадлежат значительные достижения в мировой истории;

- LunaPrize: «Википедия» и другие общечеловеческие данные, записанные на диске со сроком годности в миллиард лет;

• LoneStar: прототип лунного хранилища данных с функциями считывания и записи с Земли.

Полет

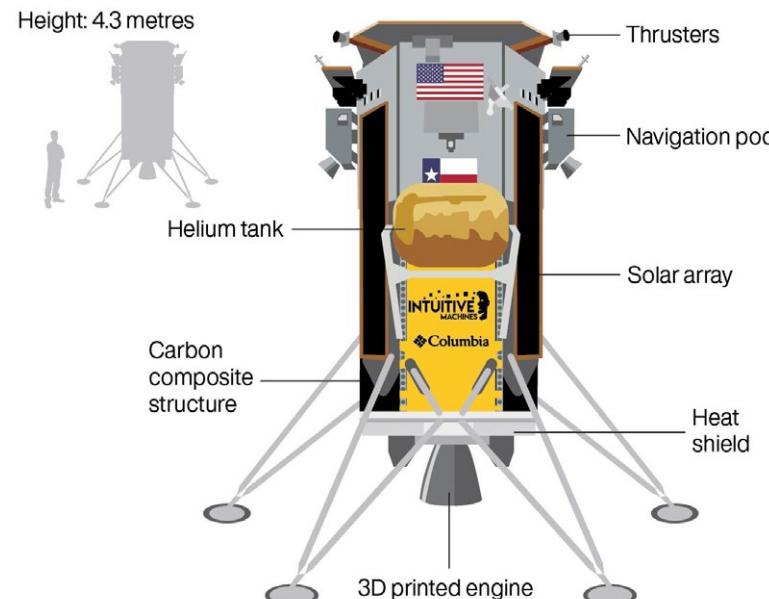
Начало полета проходило с прямой трансляцией телеметрии и видео по типичной схеме: вывод на низкую околоземную орбиту, часть витка по ней и второе включение двигателя MVac, переводящее верхнюю ступень с прикрепленным аппаратом на транслунную траекторию с его последующим отделением.

Missions	Launch Date	Payload Data
Peregrine 1, Astrobotic	Jan. 2024	\$108M
IM-1, Intuitive Machines	Feb. 2024	\$118M
Blue Ghost M1, Firefly	Q3 2024	\$101.5M
IM-2, Intuitive Machines	Q4 2024	Details uncertain; < \$102M
Griffin VIPER, Astrobotic	Q4 2024	\$320.4M
IM-3, Intuitive Machines	2025	\$77.5M
SERIES-2, Draper	2026	\$73M
Blue Ghost M2, Firefly	2026	\$130M

Контракты, заключенные по программе CLPS. Источник: Payload Space

Но так как две предыдущие попытки Hakuto-R японско-европейской компании iSpace, участвующей в программе через американского партнера Draper, и Peregrine компании Astrobotic – несмотря на отдельные позитивные моменты и космические испытания всё же не сумели мягко сесть на Луну, основное внимание оказалось сосредоточено на попытке Intuitive Machines.

«модными» в последние годы. Траектория в результате получается короткой и простой, как у Apollo: прямой запуск к Луне, торможение сразу на низкую круговую орбиту и в течение суток посадка. Это всё несколько менее выгодно по delta-V и требует больше мощности двигателей, чем у альтернативных траекторий, но высокие показатели по удельному импульсу данной топливной пары всё равно позволяют добиться отлич-



Размер и схема компоновки лендера серии Nova-C

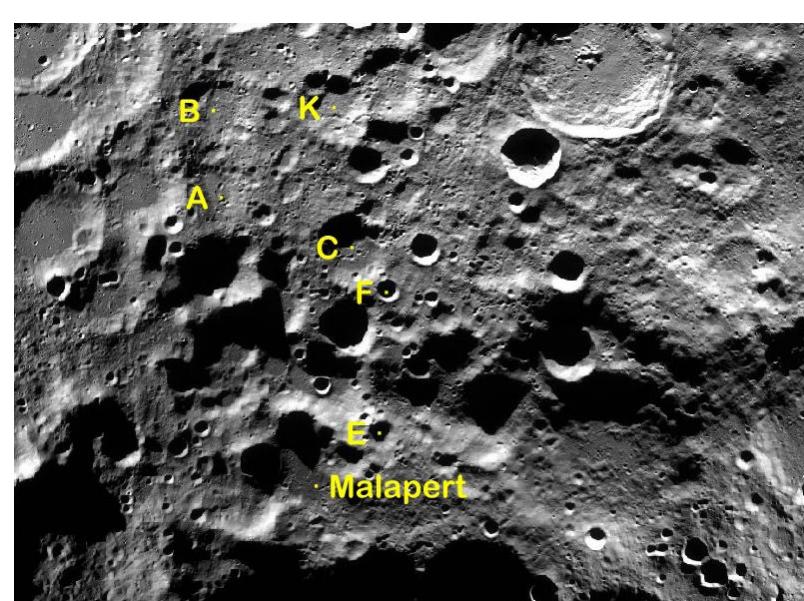
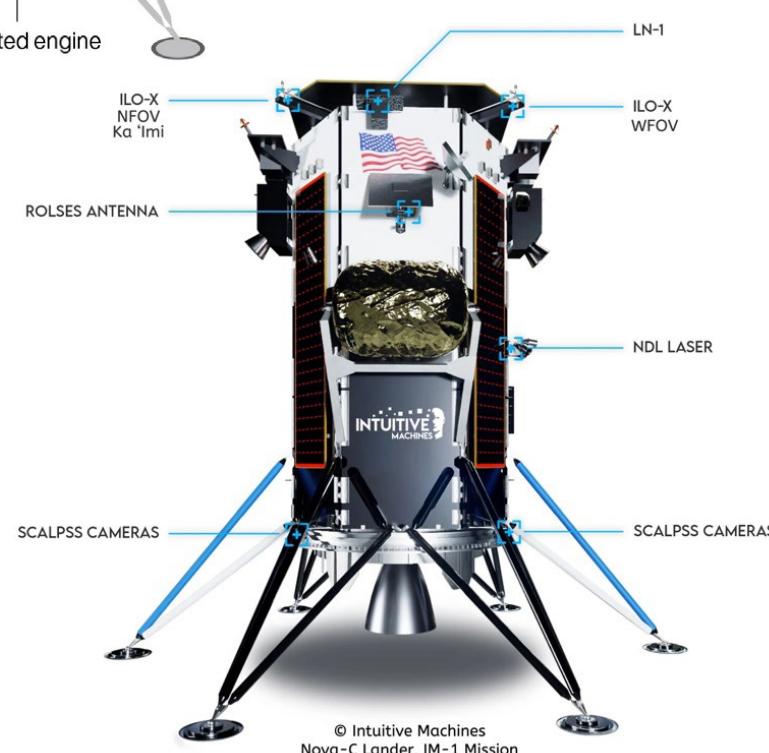
Схема размещения внешних полезных нагрузок на «Одиссее»

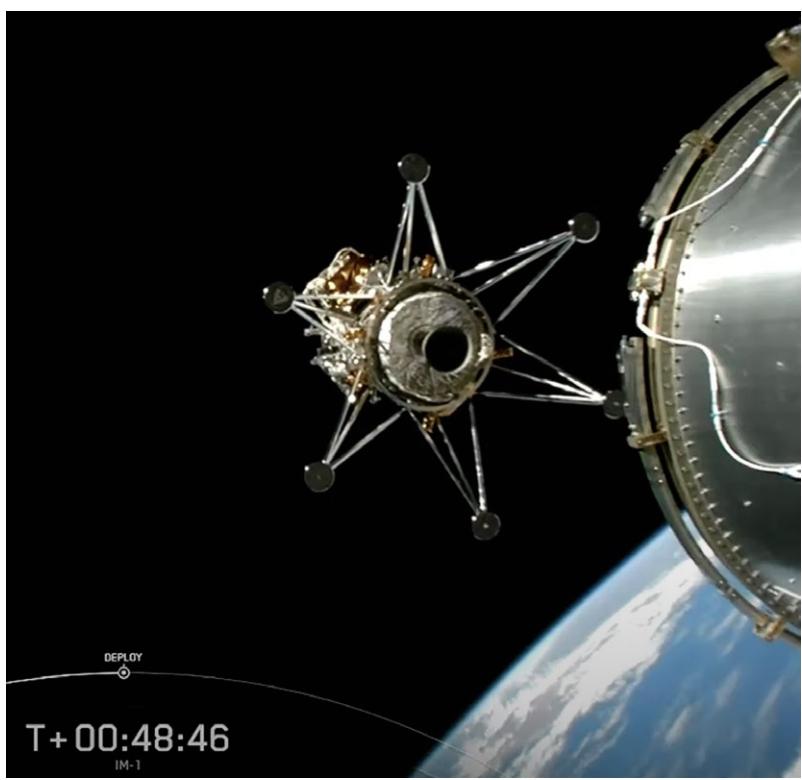
Лендер

Посадочный модуль Nova-C вышел крупнее и массивнее аналогов:

- высота: 4,3 м;
- размер опор: 4,6 м, ограничен обтекателем Falcon 9;
- масса при запуске: 1930 кг (ограничена грузоподъемностью Falcon 9 RTLS), из них 845 кг кислорода, 422 кг метана, и 17 кг гелия;

Малаперт и его сателлитные кратеры. Малаперт – небольшой древний ударный кратер в области южного полюса на видимой стороне Луны. Назван в честь бельгийского священника-иезуита, писателя и астронома Шарля Малапера (1581–1630), quickmap.lroc.asu.edu

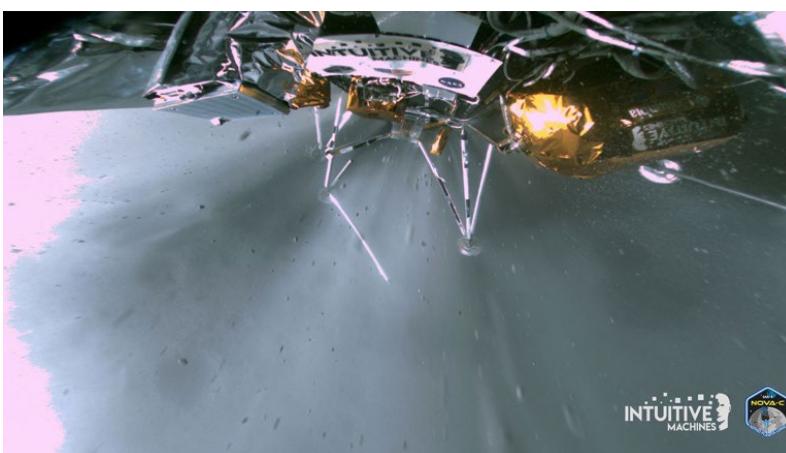




Отделение «Одиссея» от верхней ступени ракеты-носителя Falcon 9.
Изображение SpaceX

▶ После отделения космического аппарата обычно в течении часа приходит подтверждение, что он вышел на связь и работоспособен. Но на этот раз такое сообщение пришло только через несколько часов, и следящие за полетом изрядно волновались за судьбу аппарата. И, как выяснилось уже после посадки, волновались не зря: звездные датчики, призванные определять ориентацию аппарата, не работали: аппарат вращался и солнечные панели не смотрели на солнце. Операторы в ЦУПе сумели диагностировать проблему и перезагрузить датчики всего за три часа до того, как закончился заряд у аккумуляторов.

Но потом начались непонятные моменты. Назначенное время посадки два раза сдвигалось — сначала на час вперед, потом на два часа назад. Во второй раз объявили причину: альтиметр (прибор по определению расстояний, необходимый для посадки) лендера не работал, так как перед запуском его не установили в рабочее положение специальным тросиком, и в авральном порядке навигационный компьютер был переключен на другой альтиметр, от NASA (NDL в списке полезной нагрузки), летевший для испытаний, без планов его использовать для самой посадки. Как позже выяснилось, экстренная перенастройка не сработала: из-за невыставленной переменной в программе компьютер перестал принимать зна-



Фото, сделанное в те несколько секунд, что «ножка» уже подломилась, но аппарат еще держится вертикально за счет работающего двигателя

Работа на поверхности и передача данных

В первые десять минут в Центре управления полетом Intuitive Machines в Хьюстоне (и в прямой трансляции из него) царила напряженная тишина — сигналов с аппарата не было, все боялись, что он разбрзгли или повредил антенны — это поставило бы крест на миссии и не позволило бы получить никакие данные. Но через 15 минут радиостанция в Германии таки сумела поймать слабый сигнал. Через несколько часов настал черед более крупной антенны в Австралии, потом инженеры Intuitive Machines поняли, что из четырех антенн аппарата две направлены в сторону лунной поверхности, и это сильно меняет характеристики сигнала с них. После необходимых изменений и подбора параметров связи сигнал стал более стабильным, и инженеры смогли получить телеметрию аппарата, фото с его навигационных камер и информацию от полезных нагрузок.

был таки отстрелен, на 4 м вбок, но данных с него не поступило. На данный момент неизвестно, что именно стало причиной неполадки.

Из трех солнечных панелей на аппарате только одна-две смотрели в сторону солнца — притом, что самая большая, которая должна была быть сверху аппарата, оказалась расположена так, что не видела солнце вовсе. В результате аппарат получал 170 ватт энергии при необходимых для полноценной работы 210. Было принято решение продолжить работу в полном объеме, даже если из-за этого придется завершить ее пораньше. В итоге последний сеанс связи состоялся 29 февраля, после чего аппарат переведен в спящий режим.

Продолжение

Несмотря на то, что основная фаза Intuitive Machines Mission 1 уже завершена, многое насчет нее может проясниться только впоследствии:

- Оживет ли аппарат после лунной ночи? Шанс на это представится около 17–18 марта, когда солнце встанет с направления большой верхней панели.
- Результаты обработки научных данных — когда появятся написан-

2024 года), и окажется ли он успешным? Основным инструментом тогда окажется буровое устройство PRIME-1, а для этого, скорее всего, необходимо сесть в запланированной ориентации.

Достижения и неудачи

Несмотря на то, что остались еще вопросы (см. предыдущую часть), многое уже известно и можно подвести итоги. Перечислим здесь как основные достижения миссии, так и негативные моменты (по пресс-релизам самой компании, критике в СМИ и отзывам профессиональных экспертов).

Достижения:

- Подтверждена работоспособность первой в истории криогенной (да еще и метановой) двигательной установки для глубокого космоса с множественными включениями.

• Проведены испытания всех элементов лендера (кроме альтиметра) в реальных рабочих условиях, в том числе неноминальных, с получением подробной телеметрии о всех этапах их работы.

- Навигация успешно привела к назначенному точке на поверхности Луны.

Достигнутая точность в 1,5 км хоть и меньше запланированной, но всё равно очень неплоха по стандартам лунных беспилотных посадок.

• Первая мягкая посадка в истории в окрестностях южного полюса Луны — около 80-й параллели. Предыдущий рекорд у Индии полгода назад — около 70-й, в два раза дальше.

• Работа на поверхности на протяжении более 144 часов и передача на Землю 350 мегабайт данных от всех полезных нагрузок.

• Первая лунная посадка частной компании, первая по контракту с фиксированной ценой и первая по программе CLPS.

• Первая лунная посадка под эгидой NASA за 52 года — после «Аполлона-17».

• Агентство NASA, являющееся главным клиентом и заказчиком миссии IM-1, объявило ее «безусловным успехом».

Неудачи:

- В процессе посадки не сработали как главный альтиметр, так и резервный.

• Посадка произошла с большей, чем расчетная, скоростью, с меньшей, чем расчетная, точностью посадки, на место со слишком крутым уровнем наклона.

• Получившееся едва ли не горизонтальное положение сказалось на электропитании, связи, количестве и качестве полученных данных. Например, телескоп ILO-X не был направлен на небо и удовлетворился съемками поверхности Луны и отложившейся опоры.

• Ни одна группа разработчиков инструментов полезной нагрузки пока не отчиталась о громком успехе и достижении поставленных целей. С другой стороны, пока нет и подтверждения неудач ни одного из приборов и ответственности лендера в ней.

Международная панорама

В последний год были две успешные посадки на Луну — индийской «Чандраян-3» и японской SLIM — и три неуспешные: японской частной Hakuto-R1, российской «Луны-25» и американской частной Peregrine. В этом году ожидается полет крупной китайской «Чанъэ-6» с возвратом грунта с дальней стороны Луны. Следом запланированы сразу несколько миссий по программе CLPS, перечисленные в таблице выше, и вторая миссия iSpace — Hakuto-R2. Также не стоит сбрасывать со счетов двух «грандов» — SpaceX и Blue Origin, которые намереваются в течении 2025 года произвести демонстрационные посадки своих огромных лендеров, пока в беспилотных версиях.

Хотя вряд ли кто-то удивится, если большинство вышеуказанных сроков сдвинутся вправо, будем лишь надеяться, что всё же ненамного. ♦



**Фото «Одиссея» на поверхности.
Заметно положение «полулежа»**

Что касается самой наглядной из них — отстреливаемого EagleCam, — то команда ожидаемо не была подана перед посадкой из-за сложностей с определением высоты. Тем не менее группа разработчиков смогла проверить его действие на Луне, внутри пускового контейнера, и протестировать вибрационный механизм очистки линз от пыли. За полдня до конца работы лендера (см. ниже) EagleCam

ные по ним научные статьи, сколько их будет, в каких журналах, на конец, насколько интересными они окажутся.

• Расследование причин неудач — в случае, если данные, полученные каким-то из инструментов, окажутся бесполезными, нужно выяснить, в чем именно проблема и насколько просто ее решить к следующему испытанию схожего прибора.

• Насколько отложится следующий полет IM-2 (на момент написания этих строк он запланирован на конец

Фото, сделанное навигационной камерой при отлете

В продолжении полета дело пошло лучше: с аппарата передали замечательные фото Земли, было произведено успешное испытание криогенной двигательной установки, произведены две коррекции курса (от третьей решили отказаться), и всё было готово к ключевому маневру: переходу на орбиту Луны (LOI). И он состоялся: по сообщению компании, данный маневр изменил скорость аппарата на 800 м/с и был выполнен с большой точностью (погрешность около 2 м/с), выведя аппарат на круговую полярную орбиту около Луны высотой в 92 км (при запланированных ста).



Алексей Кудря

АСТРОНОВОСТИ

Алексей Кудря

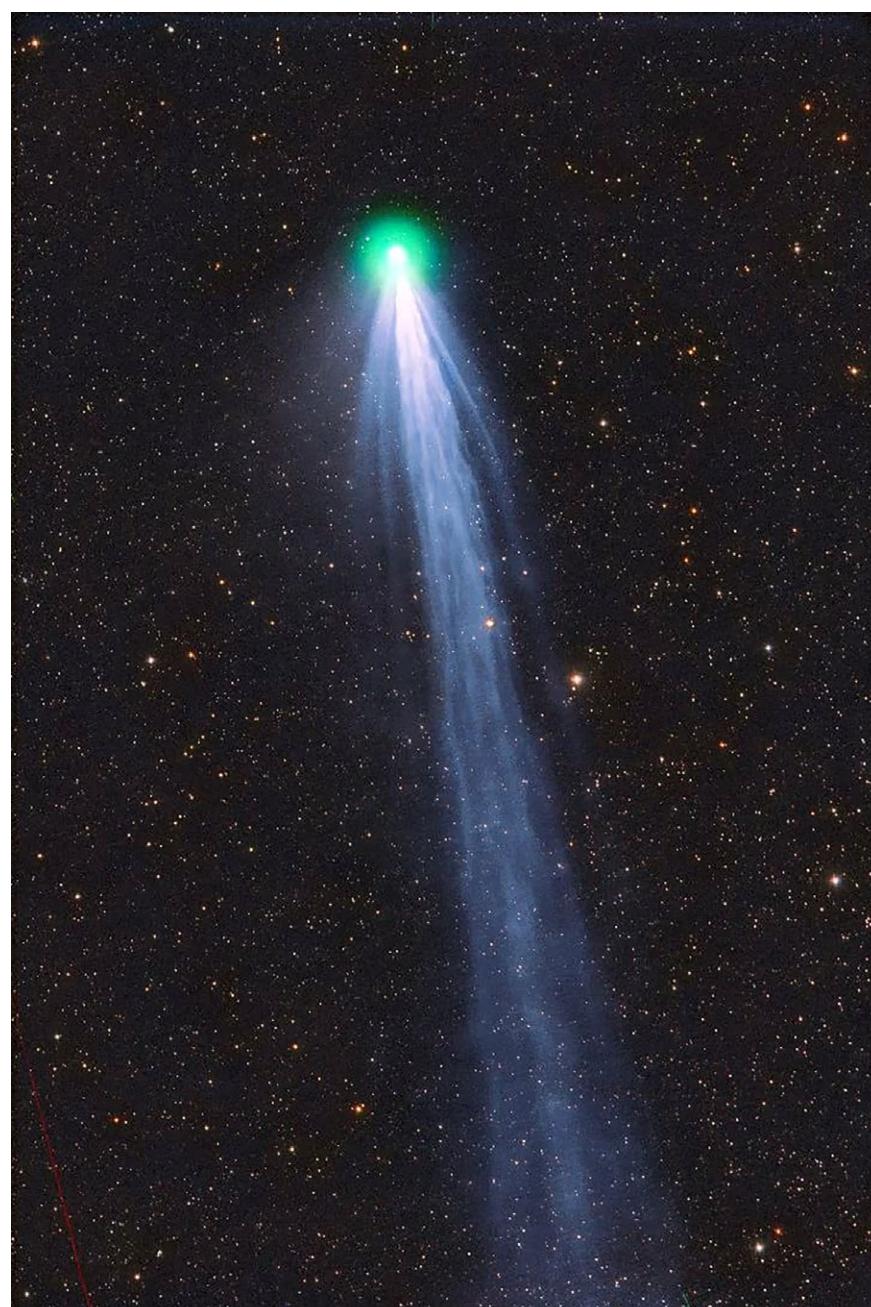
Мартовская комета

Одним из самых захватывающих астрономических явлений в ночном небе Северного полушария в ближайшее время обещает стать приближение яркой периодической кометы 12Р / Понса – Брукса.

На начало марта 2024 года она располагается примерно в 7° к северу от яркой звезды Альферáц (Альфа Андromеды). Ее вполне уверенно можно разглядеть в хороший бинокль. Конечно, цвет кометы в бинокль рассмотреть сложно, и в целом она будет похожа на серый полуопрозрачный шарик. Поэтому лучше воспользоваться более светосильным телескопом.

Диаметр ядра кометы оценивается в 34 км, а период обращения вокруг Солнца составляет более 70 лет. По этому параметру – периоду обращения – ее сравнивают со знаменитой кометой 1Р / Галлея, чей период составляет 75 лет. В середине месяца комета пройдет совсем близко от Дельты Андromеды (ее блеск составляет $3,3^m$).

Комета 12Р / Понса – Брукса.
Фото Michael Jäger



12 марта 2024 года комета 12Р / Понса – Брукса ($6,2^m$) проходит в 2° к северу от Дельты Андromеды ($3,3^m$) – в этот день вы можете сравнить яркость звезды и кометы.

13–14 марта комета 12Р / Понса – Брукса ($6,2^m$) покидает Андromеду и переходит в созвездие Рыб. С этого момента комета уже не видна по утрам, но вечерами всё еще поднимается достаточно высоко над горизонтом.

22 марта комета 12Р / Понса – Брукса ($5,8^m$) проходит в 3° от галактики Вертушка ($7,9^m$), предоставивая прекрасную возможность для отличного снимка.

26–27 марта комета 12Р / Понса – Брукса ($5,6^m$) перебирается из Рыб в Овна, где проходит вблизи Хамала ($2,0^m$), самой яркой звезды в созвездии.

31 марта комета 12Р / Понса – Брукса ($5,4^m$) находится менее, чем в $0,5^{\circ}$ от Хамала.

21 апреля комета 12Р / Понса – Брукса достигнет перигелия, ближайшей к Солнцу точки своей орбиты. В этот момент она будет сиять наиболее ярко (около $4,5^m$) в созвездии Тельца. На темном небе комета может быть видна невооруженным глазом. Вскоре после прохождения перигелия комета исчезнет с ночного неба Северного полушария. В Южном полушарии она будет видна до конца года.

20 лет со времен полета к комете 67Р / Чурюмова – Герасименко

20 лет назад, 2 марта 2004 года, к комете 67Р / Чурюмова – Герасименко стартовала автоматическая межпланетная станция «Розетта». Ей предстояла уникальная миссия – стать первым аппаратом, который выйдет на орбиту вокруг кометы. Также в рамках этой программы планировалась первая в мире мягкая посадка спускаемого аппарата на поверхность кометы. В целом это всё удалось совершить.



Правда, когда спускаемый модуль «Филы» достиг поверхности кометы, в результате отказа его двигателя, который должен был прижать модуль к грунту, не сработали должным образом причальные гарпуны – посадка прошла неоптимально. Тем не менее большую часть научной программы спускаемый модуль выполнил.

За два года работы – с августа 2014 года по сентябрь 2016-го – «Розетта» собрала огромное количество научной информации. Некоторые данные всё еще дожидаются обработки и изучения. По окончании основной части

работ аппарат можно было отправить в «спящий», но у команды управления не было уверенности, что аппарат можно будет «разбудить» после того, как комета опять вернется ближе к Солнцу. Поэтому было принято решение снести зонд с орбиты и столкнуть его с кометой.

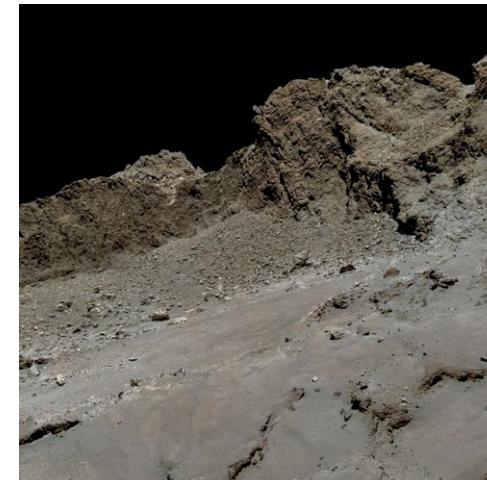
30 сентября 2016 года «Розетта» была направлена к комете Чурюмова – Герасименко, столкнувшись с ней на скорости 3 км/ч. Это была контролируемая «жесткая посадка» аппарата на поверхность кометы в районе местных гейзеров. Во время снижения, которое продолжалось

14 часов, аппарат передавал на Землю фотографии и результаты анализа газовых потоков.

Часть этих снимков, полученных миссией «Розетта» и обработанных нами, мы и публикуем в честь двадцатилетия миссии.

Более полная коллекция необработанных снимков расположена здесь:
imagearchives.esac.esa.int/index.php?category/1

Окончание см. на стр. 9



Бронза и железо

Талос был ожившей статуей, охранявшей остров Крит, одним из трех чудесных даров, созданных Гефестом, богом кузничного ремесла и покровителем изобретений и технологий. Эти творения были заказаны Зевсом для его сына, Миноса, легендарного первого царя Крита. Двумя другими подарками стали золотой колчан с похожими на самонаводящиеся ракеты стрелами, которые всегда попадали в цель, и Лелал – гончая, от которой не мог убежать ни один зверь. Бронзовому автомату Талосу было поручено защищать Крит от пиратов, врагов и прочих чужаков.

Талос патрулировал царство Миноса, проходя по периметру большого острова три раза в день. Эта ожившая человекоподобная металлическая машина, способная выполнять сложные действия, вполне может быть названа роботом-андроидом. Спроектированный и построенный Гефестом для отражения вторжений, Талос был запрограммирован замечать чужаков, подбирать и бросать валуны, чтобы потопить чужеземные суда, приближающиеся к берегам Крита. В ближнем бою механический гигант также был грозным соперником. Обладая способностью раскалять свое тело докрасна, Талос прижимал жертвы к груди и поджигал их заживо.



Талос: минойская система дальнего обнаружения

Александр Речкин



Александр Речкин



Изображение смерти Талоса на кратере. V век до н.э. Forzaruvo94 / «Википедия»

свой пронзительный взгляд в глаза Талоса и дезориентирует великана. Талос спотыкается, поднимая очередной валун для броска. Острый камень вонзается ему в лодыжку, вспарывая артерию. Когда жизненная сила гиганта истекает, как расплавленный свинец, Талос раскачивается, как огромная сосна, срубленная у основания ствола, и с оглушительным грохотом падает на берег.

Интересно, повлияло ли на этот яркий образ сенсационное падение настоящей монументальной бронзовой статуи? Ученые предположили, что Аполлоний, проводивший время на Родосе, видел великолепный Колoss Родосский, гигантскую статую древнегреческого бога солнца Гелиоса, построенную в 280 году до н. э. с использованием сложнейших инженерных технологий того времени. Одно из семи чудес Древнего мира, статуя достигала примерно 36 м в высоту, подобно двенадцатиэтажному дому. В отличие от мифического Талоса, который проводил дни в посто-

о критском роботе, которые циркулировали в древности, а некоторые версии этой легенды утеряны навсегда. Однако иллюстрации на вазах и монетах помогают дополнить картину, а некоторые художественные образы Талоса содержат детали, не встречающиеся в сохранившейся литературе. В качестве примера можно привести монеты города Фест, одного из трех великих минойских городов Крита бронзового века. Фест увековечил память бронзовогого хранителя царя Миноса на серебряных монетах периода примерно с 350 по 280 год до н. э. Там изображен грозный Талос, швыряющий камни. Ни один сохранившийся древний текст не говорит, что Талос летал, но на монетах у гиганта имеются крылья. Эти крылья могли быть символом божественного происхождения Талоса или означать его сверхчеловеческую скорость.

Ученые также полагают, что захватчики, напавшие на Грецию с севера около 1200 года до н. э., использовали оружие из железа, а не из бронзы. Хотя мы не можем знать, в какой степени мифы о Талосе были вдохновлены историческими событиями, возможно, что более ранний переход от бронзовых орудий к железным подразумевается в истории гибели Талоса, когда он пытается отразить нападение аргонавтов, у которых есть железное оружие.

Талос из фильма «Ясон и аргонавты» (США, 1963 год)

Новейшие аналоги

Современный мир не забыл о древнем гиганте. Например, в 1958 году наименование «Талос» было утверждено для американского корабельного зенитного ракетного комплекса дальнего радиуса действия. Ракеты «Талос» служили в качестве передовой линии обороны с дальностью действия 320 км. Система обороны «Талос» была автоматизирована и действовала почти автономно.

В 2013 году, вдохновленные научной фантастикой и идеей о непобедимом воине, сделанном из самых прочных материалов и самых передовых технологий, Командование спецопераций США (SOCOM) и Управление перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США (DARPA) инициировали проект TALOS по созданию футуристического роботизированного экзоскелета – доспеха для солдат, участвующих в специальных операциях, чем-то похожий на костюм супергероя из фильма «Железный человек». Аббревиатура означает Tactical Assault Light Operator Suit (Тактический штурмовой легкий костюм оператора). Полностью облегающая тело силовая броня, предназначенная для обеспечения сверхчеловеческой силы, гиперсенсорной осведомленности и баллистической защиты, включает встроенные компьютеры, биосенсоры, улучшенные зрительные и звуковые возможности. Однако пока что проект экзоскелета TALOS не реализован.

В 2017 году испанская компания PAL Robotics представила собственного антропоморфного робота «Талос», предназначенного для выполнения различных задач в промышленных условиях. Робот способен передвигаться по пересеченной местности, умеет держать равновесие и способен управлять электроинструментами.

В общем, мифический Талос до сих пор владеет умами инженеров и робототехников мира, которые надеются сравняться в мастерстве с Гефестом – или даже превзойти бога.

Drews R. *The End of the Bronze Age*. Princeton University Press, 1995.

Аполлоний Родосский. Аргонавтика. / Перевод Н.А. Чистяковой (серия «Литературные памятники»). – М.: Ладомир, 2001.

Кац Т.П. Нурагическая Сардиния и «морские народы» // Античный мир и археология. Вып. 6. – Саратов, 1986, с. 31–42.

Немировский А.И. Эtrusci. От мифа к истории. – М.: Наука, 1983.

Папаринска, Вита Ю. Жизнь и творчество Аполлония Родосского. – Рига: ЛГУ, 1989.

Ракета «Талос»



Один из концептов Tactical Assault Light Operator Suit (Тактический штурмовой легкий костюм оператора)

печатана бронзовым гвоздем, или болтом, на лодыжке гиганта. Медея знала, что это единственное уязвимое место робота.

Аполлоний описывает Ясона и аргонавтов, застывших в благоговейном страхе и наблюдающих эпическую драму между могущественной ведьмой и ужасным колоссом. Бормоча слова, призывающие злых духов, скрежеща зубами от ярости, Медея устремляет

янном движении, огромная фигура Гелиоса не имела движущихся частей, а служила маяком и своеобразными вратами в бухту. Колoss был разрушен мощным землетрясением при жизни Аполлония, в 226 году до н. э. Массивная статуя подломилась в коленях и рухнула в море. Помимо рассказа Аполлония, в нашем распоряжении имеются лишь фрагменты многочисленных историй



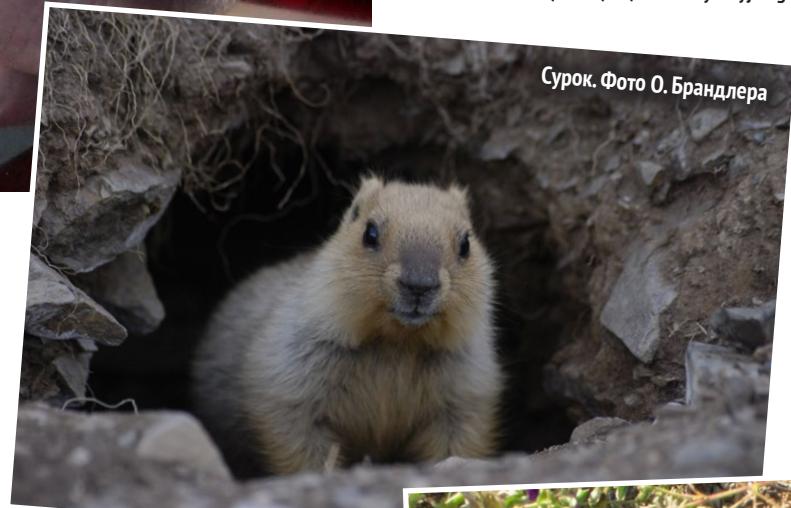
Домовый сыч (*Athene noctua*),
Монголия. Фото А. Банниковой

Что изменилось в зоологии в последние десятилетия?

— Изменилось всё. Раньше в биологических науках было некое расслоение: приходят студенты учиться на биофак — и одних интересует молекулярная биология, а другие хотят смотреть в бинокль на птичек или изучать поведение китов, или акустическую сигнализацию и никогда не прикасаться к генетике своих объектов. Сейчас этого нет. Сейчас в любой области для работы на современном эволюционном уровне нужны очень разные знания. И зоология в тот момент, когда она обратилась к молекулярным методам, стала очень широкой наукой, которая находится на стыке многих областей знания.

Например, зоолог, который изучает экологию и поведение верблюда, приспособление его к жестким аридным условиям, сейчас уже не может не изучать это приспособление и на молекулярно-генетическом уровне. Или, скажем, систематик, который хорошо владеет методами морфологического анализа, исследует черепа, чтобы найти диагностические признаки, позволяющие разделить близкие виды, в какой-то момент заходит в тупик. Поэтому что морфологическая изменчивость внутри одного вида может быть настолько большой, что перекрывает межвидовую изменчивость.

Систематик заходит в тупик, но, если он настоящий ученый, то, продолжая развиваться вместе с наукой, переходит на другой уровень исследований. И вот человек, который сначала сидел в музее и мерил черепа, обращается



Сурок. Фото О. Брандлер

к хромосомам, анализирует кариотипы², становится кариосистематиком, потому что это требуется для решения поставленных перед ним задач. Но потом оказывается, что и кариотипа недостаточно. И современный зоолог обращается к молекулярной генетике. И с помощью молекулярных инструментов разбирается в том, как морфологическая и генетическая изменчивость коррелируют друг с другом, как и откуда вид расселялся по современному ареалу, где находится центр его разнообразия, где располагались ледниковые рефугиумы. Наконец, опираясь на молекулярную филогенетику и даже филогеномику (то есть оперируя не отдельными генами, а целыми геномами), реконструирует взаимоотношения между таксонами, основываясь на их генетологических связях, а не на общем сходстве.

² Кариотип (от греч. καριόν – орех, ядро) – совокупность признаков полного набора хромосом, присущая клеткам данного биологического вида (видовой кариотип) или данного организма (индивидуальный кариотип).



Среднеазиатская черепаха.
Фото А. Банниковой

«За молекулами увидеть слона целиком»

Научный журналист Надежда Маркина, канд. биол. наук, поговорила о молекулярных методах в современной биологии с участниками конференции, приуроченной к юбилею Беломорской биологической станции МГУ. Публикуют продолжение материала. В этот раз на вопросы отвечает Анна Андреевна Банникова, докт. биол. наук, вед. науч. сотр. кафедры зоологии позвоночных биологического факультета МГУ, руководитель молекулярно-генетической лаборатории.

Интервью со специалистами по беспозвоночным Александром Цетлиным и Анной Жадан, а также орнитологом Михаилом Калякиным, директором Зоомузея МГУ, см. в предыдущем номере¹.

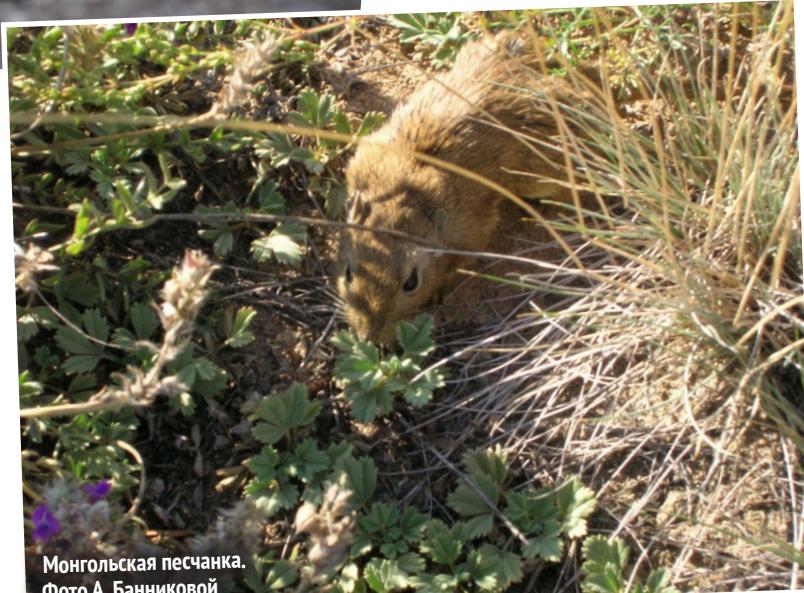
¹ trv-science.ru/2024/02/molekulyarnyj-vzglyad-na-raznoobrazie-zhizni/



Анна Банникова



Надежда Маркина



Монгольская песчанка.
Фото А. Банниковой

И всё это зоологи научились делать сами. Они ловят зверьков, изучают морфологию, делают кариотипы, а потом выделяют ДНК, ставят ПЦР, секвенируют, потом всё это анализируют, осваивают биоинформатику. Получается, что зоолог становится биологом очень широкого профиля. Ни один молекулярный биолог не может быть так широко образован, потому что зоолог должен всё знать о своем объекте исследований, на всех уровнях, включая поведение и экологию. Он за молекулами должен «видеть слона целиком», а наблюдая живого слона, представлять себе, какова его генетика.

И есть еще зоологи, которые занимаются поведением. Например, человек изучает популяционную биологию песчанок, сидит на бархане в пустыне, наблюдает в бинокль за колонией. Колония состоит из многих нор, сколько-то семей, все зверьки по мере возможности помечены, и вот он смотрит, кто куда пошел и откуда вышел. Но если эта колония не генотипирована, то выводы о том, кто тут мама, папа, сестра, дедушки и бабушки, кто резидент, а кто пришел, делаются в основном косвенно. Пока все особи этой популяции не получили «генетические паспорта», невозможно оценить долю мигрантов, которые через нее проходят, степень оседлости.

Что касается родственных связей и системы спаривания, тоже не всё так просто. Данные о том, какие виды моногамные, какие полигамные и насколько вообще полигамия распро-

странена среди млекопитающих, стали более-менее точными только тогда, когда стали генотипировать выводки. Например, как только появились первые данные по генотипам зайчат и зайчиков в выводках, то представление о зайцах и диких кроликах как о промискуитетных существах разрушилось. Оказалось, что у них такой же уровень полигамии, как у большинства млекопитающих: два отца для одного выводка — это нормально, но не более двух. С другой стороны, выяснилось, что моногамия — это довольно редкое явление, всего 5% млекопитающих моногамны.

Поэтому в зоопарках, если хотят размножать зверя, то ищут ему пару не только данного вида и подвида, а желательно из той же географической популяции. С помощью генетических маркеров можно построить генеалогическое древо для всех животных в том или ином зоопарке, особенно это важно для редких видов: надо знать, кто папа, кто мама, из какого зоопарка они прибыли, где были пойманы в природе. Ну и в природе, чтобы следить за состоянием малочисленной популяции, например амурского тигра, собирают его ДНК — из шерсти, экскрементов. Так можно определить степень генетического разнообразия популяции, отслеживать, не беспокоя самих животных, не появился ли пришелец.

Сейчас появилось востребованное — я бы сказала, модное — направление, когда раскручивается демографическая история какого-нибудь вида. С помощью анализа ДНК определяют, что происходило с видом в разные моменты времени: какова была его численность, когда наблюдались пики, когда была экспансия, когда депрессия. Еще недавно для того, чтобы проследить демографическую историю, было необходимо большое число образцов из разных точек ареала — не 30, не 50, а лучше сотни образцов, в которых анализировали всего один или не более двух-трех десятков высокоизменчивых локусов (например, митохондриальный ген цитохрома b или микросателлитные локусы ядерного генома). А теперь достаточно одного-двух полных геномов, чтобы по разнообразию всей совокупности аллелей рассчитать динамику эффективного размера популяции во времени.

Помните историю странствующего голубя? Он был истреблен человеком и полностью исчез с лица Земли: в 1914 году в зоопарке умерла последняя самка. Этот вид (*Ectopistes migratorius*) интересен тем, что в XVIII–XIX веках у него случались такие вспышки численности, когда огромные стаи закрывали небо, становились почти темно, как при нашествиях саранчи, в него из пушек палили, просто так, не ради еды. А потом он исчез, и теперь странствующий голубь включен в список видов, истребленных человеком.

С внедрением в зоологию молекулярных методов шагнуло вперед природоохранное направление. Они позволяют решить вопрос о том, является ли данная популяция какой-то своеобразной эволюционной единицей. Потому что если популяция своеобразна, то к ней нужен отдельный подход, нужно следить за тем, чтобы она не перемешивалась, чтобы не разрушить ее уникальный генофонд.

Известная история произошла с благородными оленями в Испании. Там оленей разводили в охотниччьих целях и в какой-то момент решили повысить генетическое разнообразие и улучшить качество рогов. Интродуцировали в популяцию оленей из других частей Европы. Но в результате исходная популяция оленей стала не лучше, а хуже. Выяснилось, что у нее был достаточно своеобразный автохтонный генотип, адаптированный к данным условиям, а «вливание свежей крови» его просто разрушило.



Монгольская песчанка



Хомяк Кэмбелла
(*Phodopus campbelli*)



Длинноиглый ёж
Paraechinus hypomelas.
Фото А. Банниковой



Тибетская пеструшка
Eulagurus przewalskii.
Фото А. Банниковой

Так вот: десять лет назад вышла статья³ с результатами секвенирования четырех геномов, полученных из подушечек пальцев птиц из музейной коллекции. И анализ его демографической истории указал на неожиданно низкую эффективную численность странствующего голубя за последний миллион лет. Оказалось, что на протяжении всей истории этот вид испытывал сильные колебания численности – вспышки сменялись глубокими депрессиями. В конце 1800-х годов снижение эффективной и общей численности совпало с воздействием человека, что и привело к вымиранию голубей.

– Какие еще примеры такого рода, касающиеся других видов, можно вспомнить?

– В течение последних 130 лет упадок численности испытывает коала. Для того, чтобы выяснить, происходит ли при этом снижение генетического разнообразия, сравнили митохондриальные ДНК (мтДНК) образцов в современных популяциях и музейных образцов XIX–XX веков. Гипотеза состояла в том, что в исторических образцах изменчивость должна быть выше. Но митохондриальные гапло-

типы музейных образцов оказались такими же, как и найденные в современных популяциях⁴. Это означает, что низкая генетическая изменчивость имела место в популяциях коал еще до падения численности, и в современных популяциях она не указывает на инбридинг или эффект основателя, а просто отражает исторический паттерн.

В общем, методами молекулярной генетики можно узнать много таких эволюционно-экологических фактов по истории наших объектов.

– Как вы считаете, изменилась ли сейчас в принципе концепция биологического вида?

– По разным классификациям концепций вида известно от 7 до 22. Некоторые концепции в интерпретации разных авторов дробятся, в результате, например, существует три филогенетические и четыре генетические концепции. Если говорить более узко, про критерии вида, то критерий скрещиваемости, который долгое время был основным, сейчас размыается. У Добжанского⁵, который был одним из основателей генетиче-

ской концепции вида, так же, как у Майера⁶, которого считают основателем биологической концепции вида, основной критерий – это полное ограничение генетического обмена с другими популяциями (видами) за счет репродуктивных изолирующих механизмов. Со временем появилась так называемая мягкая биологическая концепция⁷, в которой критерий репродуктивной изоляции перестал быть основным, вместо полной изоляции допускается затруднение обмена генами. Допускается возможность гибридизации между видами и обмена геномами.

Но беда всех концепций в том, что они не могут предложить надежного операционального критерия, чтобы практикующий систематик мог его приложить и уверенно сказать: это – вид, а это – внутривидовая категория. Типологическая концепция (морфологическая) оказалась в этом бессильна, потому что для каких-то видов можно ее применить, для каких-то нет, есть криптические виды, которые мы не можем различить по морфологическим признакам; наконец, морфологическая изменчивость внутри видов может быть настолько широкой, что перекрывает межвидовую. Критерий репродуктивной изоляции существует в случае аллопатрических видов, которые не скрещиваются в природе, потому что они пространственно изолированы, но если вы их посадите в одно ведро, они будут скрещиваться, значит, механизм репродуктивной изоляции здесь не работает. Получается, это не виды? Концепция неприложи-

Только современная генетическая концепция предлагает реальный операциональный критерий, потому что, сопоставляя генотипы, мы можем сказать, каков уровень дивергенции, и можем привести этот уровень дивергенции в соответствие со временем. И на этой основе выдать диагноз, попадает ли уровень дивергенции данной популяции в диапазон внутривидовой изменчивости для данной группы, скажем, для грызунов, или он попадает в диапазон межвидовой изменчивости.

Но с одним критерием нельзя подходить ко всем таксонам – от млекопитающих до рыб, птиц, рептилий и т. д. Например, если вы возьмете несколько современных видов лягушек или ящериц, то уровень различия между ними будет гораздо выше, чем между видами млекопитающих, даже не очень близкими, потому что, в частности, даже молодые виды лягушек и рептилий, как правило, старше видов млекопитающих. И даже среди млекопитающих (хищных, например, или китов) это будет один уровень дивергенции, а для грызунов – другой.

В рамках генетической концепции разработаны конкретные критерии, например такой критерий предложен⁸ еще

⁴ Tsangaras K., Ávila-Arcos M.C., Ishida Y. et al. (2012). Historically low mitochondrial DNA diversity in koalas (*Phascolarctos cinereus*). *BMC Genet* 13, 92. doi.org/10.1186/1471-2156-13-92

⁵ Dobzhansky T. (1950). *Genetics of natural populations. XIX. Origin of heterosis through natural selection in populations of Drosophila pseudoobscura*. *Genetics*, 35(3), 288–302. doi.org/10.1093/genetics/35.3.288

⁶ Mayr E. (1942). *Systematics and origin of species*. Columbia University Press, New York.

⁷ Coyne J. A., Orr H. A. (2004). *Speciation*. Sunderland, MA: Sinauer.

⁸ britannica.com/biography/George-Gaylord-Simpson

⁹ Bradley R.D., Baker R.J. (2001). *A Test of the Genetic Species Concept: Cytochrome-b Sequences and Mammals*, *Journal of Mammalogy*, Volume 82, Issue 4, Pages 960–973. doi.org/10.1644/1545-1542(2001)082

³ Hung C. M., Shaner P. J. L. et al. (2014). Drastic population fluctuations explain the rapid extinction of the passenger pigeon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111 (29): 10636–10641. doi:10.1073/pnas.1401526111



Странствующий голубь. Рис. Louis Agassiz Fuertes (начало XX века)

Окончание «Астроновостей».
Начало см. на стр. 6

Субкоричневый карлик WISE0855-0714

Телескоп «Джемс Уэбб» передал изображение самого близкого к Солнечной системе субкоричневого карлика спектрального класса Y2 – WISE0855-0714 (оранжевая звезда в центре картинки).

Расстояние до наблюдаемого объекта составляет всего 2,31 парсек (7,53 светового года). WISE0855-0714, согласно недавней работе [3], по данным спектрометрии (инструмент NIRSpec) имеет температуру 285 K (+12 °C).

Это четвертый по счету из ближайших к Солнцу звездных объектов. Но его масса – около 4–6 масс Юпитера. В атмосфере обнаружен метан, водяной пар, аммиак и монооксид углерода. Предыдущие исследования предполагали наличие в атмосфере WISE0855-0714 облаков водяного льда, но это не подтвердилось.

Почему астрономы считают, что WISE0855–0714 является всё же подобием звезды, а не планетой [4]?

По современным представлениям, именно превышение некоторого порога массы (более четырех масс Юпитера) свидетельствует о том, что это уже не планета, а коллапсар – субкоричневый карлик. Средняя плотность его превышает 30 г/см³ (это не 2 г/см³, как у Юпитера). Значит, недра WISE0855-0714 разогреты гораздо сильнее, чем у планет типа Юпитера. Но разогреты

недра подобных коллапсаров всё же недостаточно для того, чтобы в их ядре стартовали самоподдерживающиеся термоядерные реакции. Их температуры и светимости настолько малы, что зачастую коричневые субкарлики на практике неотличимы от планет, что вызывает понятные споры.

И WISE0855-0714 именно субкоричневый карлик, эдакая «недозвезд». Верхний порог субкоричневых карликов – это 13 Юпитеров – вот выше него получаются уже коричневые карлики, в них уже могут идти термоядерные реакции надейтерии, литии, бериллии и боре. Верхний предел коричневых карликов – это 80 Юпитеров: выше уже условия в ядре достигают того, что начинается водородный термоядерный синтез и получается обычная звезда.

Ну и есть определение, которое дал Международный астрономический союз: объекты, в которых не идут термоядерные реакции, но которые не связаны со звездами, считаются субкоричневыми карликами, а иначе – планеты, вне зависимости от механизма формирования.

3. ui.adsabs.harvard.edu/abs/2024AJ....167....5L/abstract

4. astro.iag.usp.br/~dinamica/WGEP.html



WISE 0855-0714 JWST(NIRCam)
Image processing - Alexey Kudryavtsev

в 2001-м Брэдли и Бейкером. Некоторые его ругают, тем не менее он очень удобный и довольно надежный и потому широко используется, но сейчас пока только на мтДНК. В чем он заключается? Проанализировали много-много таксонов млекопитающих и определили, что с некоторого уровня начинается видовой уровень дивергенции млекопитающих. При этом берут близкие виды, скажем, ежей или землероек, или мышей из одного рода. Уверенный видовой уровень дивергенции по митохондриальной ДНК у них будет 8–10%. Если вы получили 2% – это точно внутривидовые формы. А если получили 5%, то вы должны очень сильно напрячься и задуматься о статусе этих форм. Дальше, чтобы принять решение о том, это вид или внутривидовая категория, вам нужно предпринять дополнительные усилия, сделать еще какой-то анализ. Например, подробно изучить морфологию, но если с морфологией не получается, скажем, если это криптические формы, значит, нужно изучить какие-то локусы ядерного генома. Митохондриальная ДНК – это тонкий лед (единственный локус, материнское наследование), и часто оказывается, что по мтДНК мы видим одно, а по ядерному геному – что-то другое.

Сейчас наша группа пытается разработать такой критерий генетического расстояния, внутривидового и межвидового, но на основе ядерного генома, причем не по одному гену, а по многим, и даже на полногеномном уровне.

– На каких животных вы работаете?

– Наша группа намеренно работает на мелких млекопитающих. Потому что у них высокая численность, быстро сменяются поколения, и можно получить много материала для статистического анализа и изучать популяции и виды во времени. К интересующим нас объектам относятся три отряда – грызуны, насекомоядные и рукокрылые. Помимо собственных эмпирических исследований мы используем данные, которые накоплены в Генбанке. Из Генбанка можно почерпнуть данные по другим отрядам – хищным, парнокопытным, непарнокопытным. Главная проблема заключается в том, что для понимания исходных процессов, лежащих в основе видообразования, и для установления иерархии генетических и временных дистанций нужна информация по изменчивости внутри этих видов. А в Генбанке таких данных на уровне полных геномов откровенно мало. Единственное исключение составляет человек.

Продолжение цикла интервью – в следующих номерах ТрВ-Наука

КОСМОС



Двое

Фантастический рассказ
Павла Амнуэля



Павел Амнuel

Филипп нажал на иконку, выбрал знакомое имя и отправил вызов.

— Привет, Филиппок! — сказал Олег, и Филипп представил, как друг одной рукой прижимает к уху телефон, а другой продолжает стучать по клавишам ноутбука.

— Приезжай вечером, — сказал Филипп.

— Сегодня не получится, — огорчился Олег. — Статью заканчиваю, формулы выверяю, муторное занятие.

— Может, именно для статьи и пригодится. Только что от меня вышла пара. Обожают друг друга — видно невооруженным взглядом. Но собачились еще в коридоре, продолжили у меня, а когда ушли... Я и сейчас слышу, как они...

— Ты хочешь сказать...

— Именно.

— Буду в семь, — буркнул Олег и отключил связь.

Каждый день (кроме понедельника) Филипп Андреевич Коскин, семейный психолог, вел прием в своем кабинете на Северной улице. К нему записывались обычно супружеские пары на грани развода, и он разбирался в их проблемах, пытаясь склеить треснувшие, а то и вовсе разбившиеся чашки семейной жизни. Получалось не всегда, а точнее — довольно редко. Каждый раз, когда получалось, Филипп радовался как ребенок и воображал, что улучшил себе карму.

О самых интересных случаях он рассказывал Олегу, и тот обычно говорил: «Трудная у тебя работа, нервная». Нет, не очень. На всех нервов не напасешься, а психолог, изводящий нервы из-за каждого клиента, — плохой профессионал.

Олег, физик по профессии, как ни странно это звучало для Филиппа, был уверен, что психология — часть физики. В квантовой механике, убеждал

он друга, существует так называемая проблема наблюдателя, и из-за нее физики многое теряют в своих расчетах, а психологи — в своих выводах и рекомендациях. Когда-нибудь эти две науки объединятся, как объединились в свое время физика с химией, химия с биологией, и возникнет психологическая физика. Или физическая психология.

Однажды Олег попросил друга сообщать обо всех случаях, когда на прием приходят пары, которые живут друг без друга не могут ни минуты, обожают друг друга, любовь до гроба и все такое, но тем не менее постоянно ссорятся, изводят друг друга, поступают назло — любой семейный психолог скажет, что такой паре нужно немедленно разбежаться, потому что жить в кошмаре невозможно. Любовь, однако, — чувство абсолютно нелогичное, необъяснимое и противоречивое.

Такими были Лера и Игорь. После полторачасового разговора Филипп понял, что второй закон термодинамики действует в любых, даже житейских случаях (Олег объяснил ему как-то, что этот закон, он же закон возрастания энтропии в замкнутых системах, гласит, что, если разбить сырое яйцо, то из него невозможно собрать целое).

Как профессиональный психолог Филипп обязан был облегчить страдания молодой пары (переди почти вся жизнь — найдут себе другого!) и трезво посоветовать не мучить ни себя, ни окружающих.

Обязан был, да. Но все-таки дал им — для начала — несколько практических советов, как правильно устроить семейную жизнь, и предложил прити через неделю. Записал на следующий вторник, Лера с Игорем ушли, обнявшись, и продолжили ругаться в коридоре, Филипп через дверь не слышал, по какому поводу.

Олег примчался, как и обещал, в семью. Филипп рассказал о Лере и Игоре, и Олег, подумав и что-то про себя просчитав (Филипп был уверен, что друг умел в уме решать квантовые уравнения, но не стал бы на этом настаивать — в уравнениях он не понимал ничего, а в квантаках еще меньше), посмотрел Филиппу в глаза и сказал задумчиво: «Похоже, ты выловил именно такой случай, какой мне нужен».

— А какой тебе нужен? — полюбопытствовал Филипп. — И для чего?

Тогда Олег рассказал всё.

Друзья сидели на кухне (где еще вести долгие разговоры за жизнь?), была ночь, тишина и — голос. Филиппу казалось, что голос звучал с неба, хотя сверху жил старик Никитаев со своей старухой, а не Тот, Имя которого не принято произносить вслух.

— Ты о Большом взрыве слышал? — спросил Олег, допив вторую чашку кофе.

— Обижаешь, начальник, — буркнул Филипп. Он ничего не понимал в физике, но выписывал много лет прекрасный журнал «Наука и жизнь» и читал не только статьи о жизни. Науку тоже не пропускал.

— Не обижайся. Про Большой взрыв сейчас можно услышать из каждого утюга, но о главной его загадке пишут редко. Почему во Вселенной существует только материя, а антиматерии нет¹? Ведь в природе всё симметрично, понимаешь? Частицы рождаются парами. У частиц есть античастицы. При Большом взрыве должно было родиться одинаковое количество частиц и античастиц. Но почему-то этого не произошло. Собственно, если бы все-таки произошло, частицы и античастицы в тот же момент аннигилировали бы, и в юной Вселенной остались бы только фотоны. Не возникли бы звезды, галактики, газ, пыль, планеты... и мы с тобой. Но почему-то — и эту загадку природы никто пока разгадать не смог — во Вселенной оказалось частиц гораздо больше, чем античастиц. Может, античастицы вообще не возникли в Большом взрыве. А должны были! Обязательно должны! Но...

— Ты повторяешься, — буркнул Филипп. — Скажи лучше, для чего тебе Лера и Игорь?

— Так я именно... — Олег налил себе в рюмку коньяка. Хороший был коньяк, «Ахтамар», замечательное послевкусие, почтая бутылка всегда стояла у Филиппа на кухонном столе, и наливал он обычно гостям сам, отмеряя на взгляд каждому ровно ту порцию, какую гость заслуживал. Олег пока не заслужил ни капли.

Олег медленно выпил, смакуя, и посмотрел на Филиппа взглядом человека, вдруг узнавшего, сколько ему еще отмерено в этой жизни. Такие взгляды Филипп давно научился различать — приходили к нему клиенты, которые...

Он отогнал ненужную мысль и молча ждал продолжения. Он уже допустил ошибку, спросив о Лере и Игоре. Сам скажет.

— Так я о чём? — спросил Олег у бутылки и, получив, видимо, ответ, кивнул и продолжил. — Загадка, да. Мои коллеги, естественно, придумали решение, очень некрасивое, потому что нарушило самое главное в природе: симметрию. Решение такое: мол, в момент Большого взрыва был нарушен закон симметрии, и материи возникло чуть больше, чем антиматерии. Естественно, немедленно произошла аннигиляция, но, поскольку материи было чуть больше, то этот остаток и превратился затем в звезды, галактики...

¹ Штерн Б. Куда исчезло антивещество? // ТрВ-Наука № 306 от 16 июня 2020 года.
trv-science.ru/2020/06/kuda-ischezlo-antiveshhestvo;
Рубаков В., Штерн Б. Сахаров и космология // ТрВ-Наука № 79 от 25 мая 2011 года.
trv-science.ru/2020/06/kuda-ischezlo-antiveshhestvo/

— ...и нас с тобой, — не вытерпел Филипп. Обычно он мог слушать Олега часами, но сейчас его занимала не Вселенная, а Лера с Игорем. Они-то при чем?

— Э... — Олег опять сбылся с мысли, налил себе еще коньяку, поднес рюмку к носу, ощущая неповторимый аромат, отпил глоток, осторожно поставил рюмку на стол и сказал:

— Твои пациенты, да...

— Клиенты, — механически поправил Филипп. — Пациенты — у врачей. А я...

— Да? Неважно. Клиенты так клиенты. О них и речь.

Филипп налил и себе. Просмаковал, пока Олег рассматривал едва заметное пятнышко на стене — след от плеснувшего в прошлый вторник масла, который Филипп не смог до конца оттереть.

— Так вот, — сказал Олег, не отводя взгляда от пятнышка, — я эту проблему решил.

— Молодец, — одобрил Филипп, отпив глоток.

— Я написал статью... это было год назад... Как положено, выступил на семинаре. Изложил идею, написал формулы, показал, как их вывел, какие уравнения решал... И коллеги заявили: ерунда. Изначальное предположение произвольно и недоказуемо, а в решении наверняка есть ошибка, но с первого взгляда ее не разглядишь... Бросить второй взгляд никто не захотел. Знаешь, как это бывает: интуитивно понимаешь, что гипотеза неверна, а копаться в чужой математике никому не хочется, заранее зная, что потратишь время без толку, ведь ошибку можно искать много дней.

Олег допил коньяк, посмотрел на бутылку, на друга. Видимо, взгляд Филиппа был достаточно красноречив — Олег решительно отодвинул рюмку и сказал:

— Статью я опубликовал в журнале, не очень влиятельном, но реферируемом, что важно. Рецензент написал, что не нашел ошибок в расчетах, но сомневается в правильности основной гипотезы. А сомнение — это он написал, представляешь? — трактуется в пользу обвиняемого. Меня, то есть! Так что, мол, публиковать можно, мало ли сомнительных работ публикуются едва ли не в каждом номере... Статья вышла, и у меня приоритет.

— Замечательно, — искренне поздравил Филипп. Приоритет — прекрасно. Знать бы еще, что учёные обычно делают с приоритетом. Требуют повысить зарплату? Получают аттестат, вроде грамоты о победе на литературном конкурсе?

— Замечательно, — с горечью повторил Олег. — Но давай о твоих пациентах.

— Клиентах.

— Каких? Лера и Игорь?

Филипп кивнул, опасаясь, что любое слово собьет Олега с мысли. Может, даже кивок оказался лишним: Олег опять вернулся к началу времен.

— Так вот, моя гипотеза... Большой взрыв. Согласно законам симметрии, должны было возникнуть две вселенные, а не одна. Вселенная и Антивселенная. В тот первый момент они обе чрезвычайно малы и катастрофически горячи! Пространство мгновенно разносит их друг от друга, аннигиляция не успевает произойти, и два мироздания — Вселенная и Антивселенная — продолжают эволюционировать отдельно. Мы живем во Вселенной из материи. А где-то существует в точности такая же Вселенная, но из антиматерии. Понимаешь?

Филипп кивнул. Вселенная из материи — наша. И еще Вселенная из антиматерии. При чем тут...

Олег прекрасно понял, о чём подумал Филипп. Как говорится, «что вы хотели знать о Лере и Игоре, но не решались спросить?»

— И вот что главное в моей теории... Ага. Сначала он говорил о гипотезе. Теперь — теория. Впрочем, да — он же составил уравнения, решил их... Это физики, кажется, и называют теорией.

— Обе возникшие вселенные — однаковые. Как электроны и позитроны. Как клоны. И как возникающие в ускорителях квантовые частицы, эти вселенные — ведь они квантовые объекты! — запутаны друг с другом. Ты знаешь, что такое квантовая запутанность²?

Филипп понятия не имел, что такое квантовая запутанность, но читал научно-популярные новости и обладал хорошей памятью.

— Квантовая запутанность, — уверенно сказал он, пытаясь приблизить момент, когда же, наконец, черт его дери, Олег заговорил о Лере и Игоре, — это такое состояние квантовой системы, когда составляющие ее частицы связаны друг с другом единой волновой функцией.

Филипп замолчал, но Олег продолжал смотреть на него ожидающим взглядом. Пришлось вспомнить и то, что было написано после фразы, которую Филипп легко вытащил из памяти. Следующую фразу вытащить оказалось труднее, но он досстал ее.

— Э-э-э... Если в запутанной системе изменить состояние одной из частиц, то мгновенно изменится состояние второй частицы, как бы далеко друг от друга они ни находились.

Тут Филипп почувствовал некоторую неуверенность — вспомнил еще о том, что мгновенно летят только мысль и фантазия, но они-то сейчас были ни при чем, и он вытащил из памяти — буквально за хвостик — окончание фразы:

— Даже если одна частица из этой системы находится в лаборатории, а вторую отправили... Э-э-э... в Туманность Андромеды.

Почему в Туманность Андромеды? Важно это или нет? Память замолчала.

— Вот! — удовлетворенно сказал Олег. — И наши два мироздания — абсолютно одинаковые, как электрон и позитрон, — наши Вселенная и Антивселенная, естественно, в момент возникновения...

— Большого взрыва, — автоматически добавил Филипп, и Олег, кивнув, продолжил:

— ...тоже были запутаны друг с другом. А поскольку с тех пор Вселенная и Антивселенная ни с какими другими объектами не взаимодействовали и взаимодействовать не могли, то они — и мои уравнения это однозначно показали — всё еще остаются запутанными. У них общая волновая функция, и где бы в пространстве-времени они ни находились, Вселенная и Антивселенная «чувствуют» друг друга...

Олег сделал паузу и добавил извивающимся тоном:

— Ну... Может, слово «чувствуют» здесь не очень... Но, в принципе, да: любое изменение в состоянии Вселенной мгновенно приводит к соответствующему изменению в состоянии Антивселенной. И наоборот, естественно.

— Постой, — медленно произнес Филипп, начав догадываться. Что-то забрезжило в мозгу, но он пока не мог выразить не мысль даже, а именно чувство, ощущение, эмоцию правильными словами. Эмоции вообще плохо поддаются словесному описанию, ему ли не знать. Но все-таки...

— Постой, — повторил Филипп, просто чтобы дать мысли оформиться. — Ты хочешь сказать...

Рука Олега с рюмкой замерла.

— Ну... — подобрал он.

— Ты хочешь сказать, что, если в Антивселенной что-то изменяется у частицы в запутанной паре... то и в нашей...

— В тот же миг, — торжественно произнес Филипп. — Обязательно. Если изменилось антисимметричное свойство. Спин электронов, например, или, как в твоей психологии, «симпатия — антипатия» влюбленных.

— И вот что главное в моей теории... Ага. Сначала он говорил о гипотезе. Теперь — теория. Впрочем, да — он же составил уравнения, решил их... Это физики, кажется, и называют теорией.

² Страупе С., Штерн Б. Нобелевская премия по физике. Бог все-таки играет в кости // ТрВ-Наука № 364 от 18 октября 2022 года.
trv-science.ru/2022/10/nobel-fizike-bog-vse-taki-igraet-v-kosti

— И наоборот, — тут же добавил он. — Если у нас... Ну, ты, я вижу, понимаешь.

— Кое-что, — пробормотал Филипп. — И всё это ты рассказал потому, что там, в Антивселенной, тоже есть Лера и Игорь...

— Анти... но это неважно.

— И они тоже любят друг друга, но живут как кошка с собакой, потому что...

Филипп не смог продолжить фразу, хотя догадка уже сформировалась, и он ощущал... почувствовал... в общем, ему стало неуютно, холодно... невыносимо от мысли, которая...

— Да, — кивнул Олег, глядя другу в глаза и не позволяя отвести взгляд. Гипнотизер чертова. — Запутанная система. Лера с Игорем и Анти-Лера с Анти-Игорем. Ты ведь понял уже, что на самом деле Лера любит Анти-Игоря, а Игорь — Анти-Леру.

— Ну, знаешь... это уже твои фантазии. Филипп не хотел верить.

— Это уравнения Шредингера, про то я применил их к системам, которые никто раньше не рассматривал. Ничего нового.

— И эти бедняги постоянно собираются, потому что...

— Да. Именно.

— Но тогда, — Филипп наконец озвучил мысль, — я ничего им не могу посоветовать, раз это... ну... запутанное состояние... законы квантовой физики...

— Ты почти всё понял, — угрюмо произнес Олег. — Почти.

— Что ж еще-то?

— Кроме запутанности, есть еще склейки.

— Не понял.

— В многомирной теории квантовой механики при каждом квантовом взаимодействии волновая функция расщепляется, и каждый возможный результат наблюдается в другой вселенной.

— Ну! — Филипп начал терять терпение. Он опять упустил мысль. Только что понял одно, связал вселенные с Лерой и Игорем, а Олег вдруг...

— Не вдруг! — Олег научился читать мысли? — Не вдруг! Многомировая теория квантовой механики — это не мои исследования, это сейчас, по сути, мейнстрим в физике!

— Ну и ладно. Рад за физиков.

— Дослушай, наконец! Вселенные постоянно расщепляются, но времена от времени происходят и взаимодействия расщепившихся вселенных. Склейки миров. И тогда... редко... но ведь за миллиарды лет это могло произойти много раз... Запутанные вселенные могут на мгновение склеиться и вновь разойтись. И в момент склейки нечто... или некто... из одной вселенной может оказаться в другой.

— А! — сказал Филипп. — Вот оно что!

— Понял, наконец?

— Чего тут не понять? — сказал Филипп небрежно. — Может случиться, что Лера окажется в той вселенной, где у нее с Игорем полный порядок, а Игорь оттуда окажется здесь, и однажды они — эти двое — придут ко мне счастливые и скажут: «Филипп Андреевич, огромное вам спасибо, у нас теперь всё в порядке, мы счастливы!», — а я им объясню, что это не Я. Я ни при чем, просто случилась склейка, и они обменялись...

— Черт побери! — Олег отшвырнул рюмку. Хорошо, она была пуста, но покатилась, упала и, конечно, разбилась вдребезги. Прекрасная рюмка. Хрусталь.

— Какой ты нелов...

— Черт! Ты понимаешь, что произойдет? В нашей Вселенной окажется Лера из антиматерии, а в той — Антивселенной — окажется наш Игорь. И...

— О, господи, — охнул Филипп. — Они аннигилируют, да? Взрывы. Страшный взрыв. И это, ты сказал, может случиться в любую минуту?

— Почти.

— Что? Опять почти? Что еще-то? Олег поднял с пола два самых больших осколка, аккуратно положил на стол и сказал:

— Склейка Вселенной и Антивселенной. Твои Лера с Игорем... Тысячи,

а может, миллионы таких же мучающихся влюбленных пар... Сначала, мгновенно, произойдет изменение, порожденное запутанностью. Поменяются, например, спины у частиц... Изменятся психологические характеристики влюбленных, а потом... Да, произойдет аннигиляция.

Филипп наклонился и принялся собирать мелкие осколки, которые впились в кожу, но он этого не чувствовал. Забыл, что можно взять совок и метелку...

На Олега не смотрел. Не хотел его видеть. Как ребенок, воображающий, что, если не смотреть на чудище, оно исчезнет.

— Такая склейка, — сказал Олег, стоя над Филиппом, тот видел лишь подошвы его ботинок, — уничтожит обе вселенные. Запутанные друг с другом Вселенную и Антивселенную. И вопрос, почему в нашей Вселенной так мало антиматерии, будет решен окончательно и бесповоротно.

— Только из-за Леры и Игоря...

— Это частный случай, — отрезал Олег. — Есть множество таких пар. Есть еще большее множество других запутанных объектов — не обязательно людей — во Вселенной и Антивселенной. И склейки неизбежны. Склейка могла произойти миллиард лет назад. Здесь или в другом месте. Может произойти сейчас. Или через миллион лет.

— А может и не произойти вообще, — с надеждой сказал Филипп, поднялся и высыпал стеклянную мелочь из ладоней в мусорное ведро. Поморщился — мелкие осколки остались в коже.

— Произойдет обязательно, — мрачно сказал Олег. — В запутанных системах склейки непременно происходят. По теории... Я долго искал явления, которые предвещают... способствуют... Поэтому спрашивал тебя о таких парах, как... забыл имена.

— Лера и...

Филипп тоже забыл. Хаос в мыслях. «Не верю!» Но Олег — прекрасный физик. Так говорят все. Однако ему не поверили!

Да? Просто всем было лень искать в его расчетах ошибку.

А если ошибки нет?

— И Игорь, — вспомнил Филипп.

— Идеальная пара запутанных частиц, которые вот-вот обменяются, чтобы во вселенных...

— Замолчи!

Телефон начал играть «Шутку» Баха, и Филипп машинально нажал на иконку.

Шутка, да. Всё только шутка, верно, Олег?

— Филипп Андреевич, — услышал Филипп радостный голос Леры. Впервые — радостный. Жизнь прекрасна.

И тогда он понял.

Почему-то теперь он понимал всё. Даже квантовую физику.

— Филипп Андреевич, мы вам так с Игорьком благодарны! Мы любим друг друга, и сейчас... вот только что... мы в кафе, едим мороженое и даже не поспорили о том, какое выбрать! Первый раз! Я чувствую — Игорь стал другим. Он... у меня нет слов...

У Филиппа тоже. Олег прислушивался к разговору, сцепив пальцы так, что побелели костишки.

Он тоже понял.

Господи, подумал Филипп. Это произойдет мгновенно. Это должно произойти мгновенно. «Я ничего не понимаю в квантовой физике, но даже я знаю, что, если происходит аннигиляция, то — мгновенно. Я ничего не почувствую. Никто ничего не почувствует».

Что происходит, когда аннигилируют вселенные?

Может, в безумной вспышке из света рождаются два новых мироздания?

Новый Большой взрыв?

И когда-нибудь...

Лера продолжала что-то радостно щебетать, Олег прислушивался, закрыл глаза.

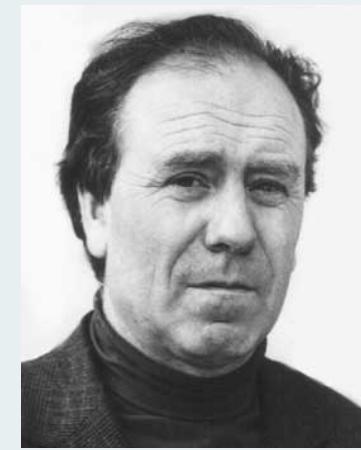
А Филипп...

Никто не успеет увидеть вспышку. И не будет никого, кто скажет:

«Да будет свет!» ◆

Календарь фантастики

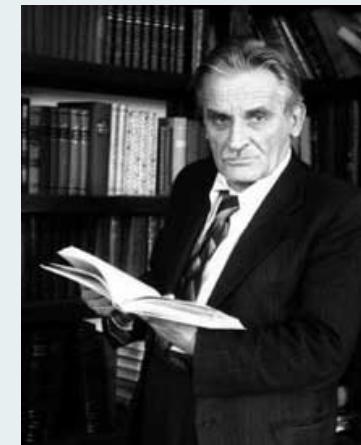
28 февраля: У истоков советской фантастики



95 лет назад родился **Всеволод Александрович Ревич** (1929–1997), псевдонимы — В. Александров, Всеволод Вар), русский критик, литераторовед, журналист, редактор, автор рассказов «Tête-à-tête...», «Сенсация», «Штурмовая неделя», автор работы по истории русской довоенной фантастики «Не было, но и не выдумка», сборника эссе «Перекресток утопий», многочисленных статей, составитель ряда антологий.

Работы Ревича-критика отличаются бескомпромиссностью и заостренной полемичностью. В трудные моменты он безоговорочно поддерживал творчество братьев Стругацких, с которыми был дружен, и других талантливых фантастов. Любопытны воспоминания Всеволода Ревича об Аркадии Стругацком: «Впрочем, я определенно знаю слово, которое принадлежало лично Аркадию. Он безраздельно распоряжался, простите, словом „задница“. В тех редких случаях, когда мне выпадало быть их редактором, и я находил означенную лексему, употребленную более трех раз на странице, в двух случаях я ее всё же вычеркивал, почему-то уверенный, что уж по крайней мере Борис меня извинит. В конце концов удавалось уговорить и Аркадия в том, что излишняя экспрессивность так же нехороша, как и однообразие. Тогда Аркадий бурчал что-то вроде „Ладно...“, брался за голову и, зачеркнув этот научный термин, вписывал новый, после чего за голову хватался уже я...»

3 марта: Революция как счастье



120 лет назад родился **Георгий Антонович Гамов** (1904–1968), американский физик и астрофизик, а также популяризатор науки. Биография Гамова и хотя бы подробный перечень его работ по квантовой механике, атомной и ядерной физике, астрофизике, космологии, биологии заслуживают серьезной обстоятельной статьи¹. Он также автор двух десятков научно-популярных книг, среди которых история о мистере Томпкинсе вполне можно считать имеющими непосредственное отношение к фантастике. Кроме того, из-под его пера вышли рассказы «Эффект Мёбиуса», «Сердце по другой стороне».

В 1928 году Демьян Бедный написал такие строки:

ССР зовут страной убийц и хамов.

Недаром. Вот пример:

советский парень Гамов.

Чего хотите вы от этих людей?!

Уже до атома добрался, лиходей!

Мильоны атомов на острие иголки!

А он — ведь до чего

механика хитра! —

В отдельном атоме

добрался до ядра!

7 марта: Как заглянуть в будущее?

10 марта: Болгарин, который оказался еще и армянином

наст Тибул, оружейник Просперо, доктор Гаспар Арнери) воспринимают революцию как счастье. «Три толстяка» вызвали огромный читательский интерес и у взрослых, и у детей, хотя официальная критика отзывалась о сказке скептически: «Призыва к борьбе, труду, героического примера дети Страны Советов здесь не найдут». По сказке поставленбалет и снят художественный фильм.

ся прекрасным, но обыкновенному человеку сегодняшнего дня оно наверняка представилось бы мало подходящим для привычной жизни. Наши представления о будущем слишком ограничены и консервативны. Чтобы смело смотреть в глубину времени, мы должны решительно отказаться от этих представлений, набраться мужества „оторваться от земли“. Ребенок, еще не научившийся ходить, ползает на четвереньках, ему невыразимо страшно подняться на ноги и сделать свой первый шаг. Мы очень любим свою сегодняшнюю землю, нас радует, что мы твердо стоим на ней обеими ногами, и мы безумно боимся оторваться от этой привычной опоры, от всего привычного, мило-го нашему сердцу».

10 марта: Болгарин, который оказался еще и армянином



75 лет назад родился **Акоп Мгердич Мелконян** (Акоп Мъгърдич Мелконян, 1949–2006), болгарский писатель, переводчик, редактор журнала «Зона F», автор сборников «Воспоминание о вселенной», «Греховное и неприкосненное», «Via dolorosa», «Тени плоти», романа «Смерть в раковине».

Акоп Мелконян был хорошо знаком с братьями Стругацкими, перевел их повести «Второе нашествие марсиан», «Улитка на склоне», «За миллиард лет до конца света» на болгарский язык. О первой встрече с ним Аркадий писал брату в 1978 году: «Были мы у Ревичей, встретились там с одним болгарином, который оказался еще и армянином. Он специально приехал в Москву на два дня, чтобы повидать хоть одного из Стругацких. Хороший парень: всё время молчал и плакался на меня, я уже стал бояться за свою невинность». На вопрос о том, каково место Стругацких в фантастике, Акоп отвечал так: «В одной американской энциклопедии по фантастике братья Стругацкие определены как продолжатели линии Гоголя в русской фантастике. Я думаю, что родословное дерево более разветвленное, и определил бы его так: «Гоголь — Салтыков-Щедрин — Булгаков — Ефремов», то есть продолжатели лучших традиций русской и советской фантастики».

Владимир Борисов



125 лет назад родился **Юрий Карлович Олеша** (1899–1960), русский писатель, автор романа-сказки «Три толстяка». Ровно 100 лет назад молодой журналист, промышлявший фельетонами и статьями в газете «Гудок» (под псевдонимами Зубило и Касьян Агапов) написал свое первое большое прозаическое произведение — роман-сказку «Три толстяка». Все положительные герои сказки (циркачка Суок, гим-

¹ trv-science.ru/vot-primer-sovetskij-paren-gamov

Раскаяние Скруджа

Игрушечная железная дорога – предмет мечты не только многих мальчишек, но и девчонок. Родилась эта игрушка дважды. В 1839 году в Лейпциг пришла железная дорога, и еще в преддверии ее открытия мастера стали создавать игрушечные паровозики. Это были игрушки из дерева с вращающимися колесами, их можно было катать по полу, и солидные отцы семейств, ожидая открытия железнодорожного сообщения с Дрезденом, играли в паровозики. Сообщение между городами меняло образ жизни: чтобы совершить деловой визит, уже не требовалось заказывать коляску – надо было прибыть на вокзал, оказаться под металлическими арками и вблизи опасного дыма. Это был настоящий выход в большой мир, но требовавший совсем иного движения, иной осанки, чем прежнее конное передвижение. Ты не утверждаешь себя и свою стать, не борешься с неудобной коляской, а просто входишь в большой мир как есть, со всей своей телесностью. Почему бы тогда и не покатать паровозик по полу? Это такой же вход в мир твоего дома, как в большой вокзал.

Второй раз игрушку создали англичане. «Рождественская песнь в прозе» (1843) Чарльза Диккенса, большого любителя железных дорог, открыла эру рождественских подарков, которые должны были доставляться напрямую. В начале морализаторского бестселлера Диккенса раздраженный на всех Скрудж наблюдает, как факельщики освещают путь экипажам. Город кажется ему бесмысленным бурлением, нечистым промыслом, уходящим во мгла. Движение в городе – суета, и он хватается за линейку, чтобы видеть только свои цифры и подсчеты. Но когда Скрудж кается в разговоре с третьим духом, в его речи вдруг появляется понятие «путь человеческой жизни». Нужно вовремя изменить путь, чтобы изменить всю свою жизнь, иначе ты катастрофически сорвешься в пропасть. Нужно прибыть на правильный вокзал. Так что Скрудж не просто кается, он принимает новый транспорт как главный способ взаимодействия с людьми; из мизантропа, убегающего от экипажей, он становится просвещенным поставщиком радости.

Англичане поставили игрушечный паровоз на рельсы и прицепили к нему вагончики. Замкнутый круг, конечно, напоминал о Британской империи, над которой не заходит солнце, о колониальном покорении мира как экономической системе. Но чудесные вагоны вносят в этот образ сразу несколько новых смыслов. Ты исчисляешь вагончики, исчисляешь, насколько хватит тебе подарков, насколько хватит тебе радости. Ты уже не делаешь, подобно Скруджу, тайные запасы, скрытые от родственников, все запасы твои явные, они прямо здесь, под рождественской елкой.

Но и сама сборка игрушечной железной дороги – это опыт работы в экономике, первый опыт. Собирая дорогу, ты становишься первым экономическим субъектом, тем, кто понимает хоть как-то, что такое «капитал», «оборот» и другие понятия. Ты осваиваешь политическую экономику буквально пальцами. Но одновременно ты вдруг застываешь над железной дорогой и завороженно смотришь, как паровоз катит раскрашенные вагоны. Ты тем самым становишься чистым наблюдателем экономического роста, простым наблюдателем, которого ждет чудесная встреча. «Вокзал, несгораемый ящик разлуки моих, встреч и разлуки», – сказал русский поэт. И когда на твоем имя прибыли игрушки, твое имя оказывается непременным участником самых важных встреч в твоей жизни.

Подрагивающий экран игры

В игрушечную железную дорогу играли властители: Наполеон III со своим наследником, будущим титуллярным императором Наполеоном IV, и Николай II с цесаревичем Алексеем. Конечно, дворцовые игрушечные железные дороги создавались в единичном экземпляре, но были и стандарты. Настоящая революция в стандартах произошла в 1935 году, она со-поставима по значимости с «маленьkim черным платьем» Коко Шанель или появлением транзисторного приемника. Долгое время немецкая фирма «Мэрклин» определяла колею в 32 мм как стандарт для всех сборных игрушек. Но конкурент, компания «Трикс» в Германии, решила удешевить производство и создала колею в два раза уже: 16,5 мм. Только после поражения Германии во Второй мировой войне этот стандарт стал массовым, до этого металл уходил, увы, не на игрушки.



Норвежские принцессы Рагнхильд и Астрид (1908)

скогого станционного дома были мужики, дети, Софья Андреевна с детьми. Гроб с телом поместили в багажный вагон и отправили в Ясную Поляну, где и завещал себя похоронить Толстой. В отличие от тех пассажей, которые исследовал Вальтер Беньямин как апофеоз капитализма, где человек теряется, становится чужд себе и своему телу, вокзал – это бюро находок, бюро разлуки и встреч, несгораемый их ящик (словами поэта). Вокзал всегда очень тосклив, это всегда отчужденная, заброшенная территория. Но иногда именно на вокзале ты вдруг ощущаешь радость встречи с приехавшим родственником, так что по тебе пробегает улыбка. Вдруг ты сознаешь себя под сводами вокзала чуть оторвавшимся от земли и пронизанным связями с дальными родственниками, друзьями, самыми любимыми людьми. На Большом центральном вокзале Нью-Йорка потолок – это небосвод с золотыми созвездиями и с добавлением лампочек самых ярких звезд, по которым все американцы должны найти друг друга, встретиться на Рождество, когда лампочки этих созвездий горят, подсветка усиливается и кассовый зал озаряется бесконечными излияниями дружбы.

Границы между анимацией о Рождестве и самым Рождеством стираются. Ведь электрическое искусство создает полную картографию мироздания. Поэтому в будущее может возить не сверхсовременный локомотив, а паровоз, как в фильме «Назад в будущее – 3» Роберта Земекиса. Паровоз исправляет ход времени, ход параллельных прямых, он со своей тяжелой основательностью не экспериментирует со временем, но чувствует себя с ним уверенно как никогда.

Пускай Набоков объяснит...

Владимир Набоков любил прогресс и боялся железнодорожных крушений. В этом было что-то очень детское. Ребенок обычно начинает путешествие в дальние края по железной дороге. Кукол и солдатиков он может крушить сам, а железная дорога в его детской – один из многих подарков. А вот настоящая железная дорога – это первый страх, что кончится

Крушение

В поля, под сумеречным сводом,
сквозь опрокинувшийся дым
прошли вагоны полным ходом
за паровозом огневым:
багажный – запертый, зловещий,
где сундуки на сундуках,
где обезумевшие вещи,
проснувшись, бухают в потряхах –
и четырех вагонов спальных
фанерой выложенный ряд,
и окна в молниях зеркальных
чредою беглою горят.

Там штору кожаную спустят
дремота, рано подоспев,
и чутко в стукотне и хрусте
отышет правильный напев.

И кто не спит, тот глаз не сводит
с туманных впадин потолка,
где под сквозящей лампой ходит
кисть задвижного колпака.

Такая малость – винт некрепкий,
и вдруг под самой головой
чугун бегущий, обод цепкий
сокочит с рельсы роковой.

И вот по всей ночной равнине
стучит, как сердце, телеграф,
и люди мчатся на дрезине,
во мраке факелы подняв.

Такая жалость: ночь росиста,
а тут – обломки, пламя, стон...
Недаром дочке машиниста
приснилась насыпь, страшный сон:

там, завывая на изгибе,
стремилось сонмище колес,
и двое ангелов на гибель
громадный гнали паровоз.

И первый наблюдал за паром,
смеясь, переставлял рычаг,
сияя перистым пожаром,
в летучий взглядывался мрак.

Второй же, кочегар крылатый,
стальной чешуйей блестал,
и угол черною лопатой
он в жар без устали метал.

Владимир Набоков (1925)

Игрушечная железная дорога: ритм и кукла

Александр Марков, профессор РГГУ
Оксана Штайн (Братина), доцент УрФУ



Александр Марков



Оксана Штайн

Такая смена стандарта означала не просто массовый тираж и большую доступность – железная дорога не просто пошла навстречу беби-буку и плану Маршалла в Европе. Железная дорога становится из части интерьера почти случайной игрушкой. Она становится фетишем, предметом желания. Теперь уже ты не «играешь в железную дорогу», а «обладаешь железной дорогой». В ССР были желанные железные дороги производства ГДР – как раз по стандарту «Трикс». Они должны были привезти советских детей в другие края. Но тогда же и голливудские звезды, и другие знаменитости стали коллекционировать игрушечные паровозики и с удовольствием катать их по простору огромных квартир – так они показывали, что желания сбываются и Рождество длится чуть ли не круглый год.

Большинству советских детей железная дорога не доставалась. Герой анимационной вставки в фильме Птушко «Сказка о потерянном времени» (1964), неорганизованный школьник, мечтает купить настоящий мотороллер, поехать в Африку и заарканить слона и жирафа (видимо, для зоопарка). Он мыслит себя явно покорителем природы и властителем всей африканской экономики: доставляет животных в зоопарк, а Африка получает какое-то благо от него – вероятно, благо свободного передвижения на новейших транспортных средствах. Он своими силами конструктирует что-то вроде поезда из арканов, покоряя пространство, но привозя дары насилиственно. Это не рождественская сказка, а морально осуждаемое поведение растратчика времени, – поэтому и поезд здесь не настоящий.

Но советская мультипликация создала и другой образ растраты времени – растраты на добрые дела. «Паровозик из Ромашково» («Союзмультифильм», 1967), голубой вагон в мультфильме «Про Гену и Чебурашку» («Союзмультифильм», 1974) – примеры добрых и самых настоящих (внутри анимированного мира) поездов. Это соответствовало уже не смешенному (киносъемка и анимация), а чисто анимационному медиуму, рисованному или кукольному. Вторгающиеся в этот чистый мир мечты деловые механизмы и люди – самоуверенный синий поезд «Стрела», торопливая и мстительная Шапокляк, никогда не опаздывающая, – выглядят чужеродными для самого медиума доброго действия, доброго оживления поверхности киноэкрана и телевидения, трепетной магии детства.

Паровоз из будущего: Шрёдингер и хвост

Железная дорога стала символом, началом и концом пути, исканием и судьбой героев Льва Толстого. «Он жил рядом с железной дорогой и ассоциировал себя с движением, считая, что жизнь состоит и проявляется в движении»¹. Железнодорожные станции Козловка, Лазарево, Ров не

только окружали его, но и провожали (станция Астапово). Толстой называл железную дорогу «горделивой чугункой». «Горделивая чугунка с характерной экспансией стала овладевать российским пространством. Бег паровозов, блеск рельсов, свист пара, лязг железа, мелькающие лица на перроне, ускользающие полустанки... Чугунка обогнала знаменитую голголовскую тройку»².

Русский поезд XIX века состоял из нескольких сцепленных фанерных вагонов с дверью между ними. В отличие от Западной Европы с ее германским углем, русские поезда отапливались дровами. Это создавало уютную домашнюю атмосферу, как и газовые лампы (у первых электрических ламп от тряски рвались спиралька, поэтому эра электричества наступила на железных дорогах с запозданием): чтобы погасить такую лампу, нужно было закрыть заслонку, как у печки. Об этом сказано в стихах Набокова «Крушение» (1925), где слышен тот же усыпляющий и тревожный ритм, что и в строках Иннокентия Анненского о библиотеке («Идеал», 1904):

Тупые звуки вспышек газа
Над мертвой яркостью голов,
И скучи черная зараза
От покидаемых стололов,
И там, среди зеленолицых,
Тоску привычки затая,
Решать на выцветших страницах
Постылый ребус бытия.

Салон поезда с газетами и библиотека с книгами сливаются в одном чадящем бреду, бреду порой диких идей и неизбежного прогресса. Толстой терпеть не мог ведомство путей сообщения, вообще регламенты прогресса, беспощадную бюрократию, и сам умер на вокзале, а до него умер на вокзале Иннокентий Анненский.

Страшные предчувствия, связанные со смертью на железной дороге, возникают уже в самом начале «Анны Карениной», когда дети Стивы соорудили поезд из шкатулки:

«Два детские голоса (Степан Аркадьевич узнал голоса Гриши, меньшого мальчика, и Тани, старшей девочки) послышались за дверьми. Они что-то везли и уронили.

– Я говорила, что на крышу нельзя сажать пассажиров, – кричала по-английски девочка, – вот подбирай!

«Всё смешалось, – подумал Степан Аркадьевич, – вон дети одни бегают». И, подойдя к двери, он кликнул их.

Они бросили шкатулку, представлявшую поезд, и вошли к отцу».

Толстой считал, что чугунка ворвалась в регламентированную жизнь Ясной Поляны: «Нить железная нарушила пустынный сон Ясной Поляны»³. В пустынnyй сон вернулся Лев Николаевич в багажном вагоне. У крыльца астапов-

¹ Никитина Н. Путешествие в компании с гением. – Тула: Ясная Поляна, 2006, с. 10.

² Там же, с. 54.

³ Там же, с. 80.



Михаил Эпштейн

Притчи о загадках и противоречиях бытия

Михаил Эпштейн, профессор Университета Эмори (США)

Обычно философия обходит случаи стороной, имея дело только с принципами, идеями, законами, универсалиями. Но в основании мира, как склонна считать современная наука, лежит именно случайность. По мысли Нильса Бора и вопреки Альберту Эйнштейну, Бог играет в кости – именно это он делает с квантами. На случайностях и вероятностях построена самая точная из наук об основах мироздания – квантовая физика. Почему бы и философии не обратиться к случайному? Дадим шансу шанс!

«Философские случаи» – это мыслительные эксперименты, которые разрывают привычную связь явлений, расщепляют реальность на смысловые кванты и дают толчок медитации и воображению. Каждый «случай» – зернышко новых представлений о мире. В традиционных поучительно-иноскательских жанрах, таких как притча или басня, обычно вещи или животные следуют тем ролям, которые им предписаны. Семя растет; вино наливается в мехи; овцы пасутся; стрекоза пляшет; муравей делает запасы на зиму; волк съедает ягненка... В данных «Случаях» вещи выходят из повиновения, пересекают отведененные им границы: дела бегут от мастера, золотое перо рисует каракули, песчинка вопиет в пустыне, скрепа диктует приказы... Такова природа случая как внезапного происшествия: он ломает правила, нарушает ожидания. Если притчи или басни учатвести себя сообразно с природой вещей и поэтому отвечают на запросы религии и морали, то философия ставит под сомнение наличный порядок, ее суть – удивление, неожиданность, подрыв устоев и вопрошание о смыслах. Поэтому «случай» в моем понимании – жанр философский.

Есть случайности, разрушительные для порядка вещей, как, например, у Даниила Хармса, чьи «Случаи» (1930-е) – это частицы абсурда, кванты нелепицы¹. Для меня, напротив, важно разрастание маленьких частиц до наибольших смыслов, включающих в себя всё: от человека до Бога, от атома до Вселенной. Мир тем и хорош, что любые ошибки, нелепости и заблуждения могут оборачиваться приращением смысла. Если хармсовские случаи – это антисмыслы, то в моем понимании это метасмыслы, включающие абсурд.

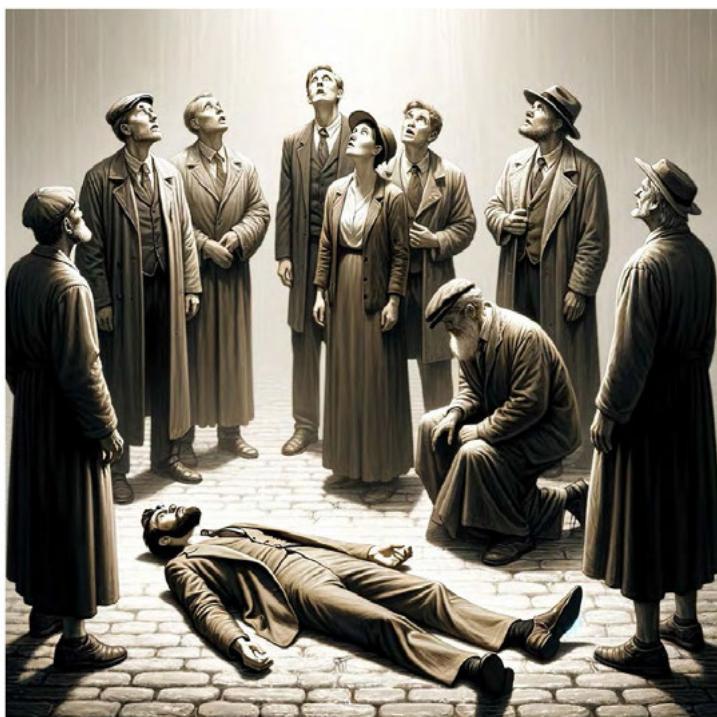
У Хармса первая фраза обычно еще несет смысл, а дальше он стремительно разрушается. Например: «У Пушкина было четыре сына...» – это неверно, но осмысленно. А дальше оказывается, что все они были идиотами и падали со стульев, как и сам Пушкин. И заканчивается полным абсурдом: «...на одном конце Пушкин всё время падает со стула, а на другом конце –

¹ См. также «Ereignisse» (1969) австрийского писателя Томаса Бернхарда (1931–1989): Происшествия / Пер. с нем. Е. Гайдуковой, А. Огнёва, В. Черкасова. – М.: Либра, 2018. – Ред.

его сын. Просто хоть всех святых вынос!» Я бы продолжил так: «А когда вынесли всех святых, оказалось, что сам Пушкин и есть главный святой. И хотя со всех стульев он падал, зато вознесся выше Александрийского столпа. Ай да сукин сын!». Так хармсовский антисмысл перерастает в сверхсмысл. То, что кажется абсурдом и идиотизмом, оказывается акробатикой случая, многозначной игрой разума. Каждый случай – переворот в привычной картине мира.

Эти короткие, в несколько строк, иносказания сопровождаются иллюстрациями, созданными с помощью нейросети. Картины, выдаваемые нейросетью в ответ на мои запросы и подсказки (промтпы), порой отходят от текста, вводят дополнительные подробности или опускают какие-то моменты сюжета. Иллюстрации – не буквальный перевод с языка словесного на изобразительный, но создание самоценных образов, новых ассоциаций, подсказывающих дальнейшее развитие ситуации.

Как и сами «философские случаи», картинки тоже случаются: их рождение в нейросети так же прихотливо и непредсказуемо, как вспышка мысли или образа в человеческом мозге. Вопреки стереотипному мнению о «механистичности» такого творчества, каждая картинка уникальна. Сама нейросеть не может ее повторить и по точно такому же запросу в ту же самую минуту выдает совсем другой образ. Перефразируя Гераклита, в одну и ту же нейросеть нельзя войти дважды. Если соединить классическую ясность, сюрреалистическое воображение и техническую изощренность, добавив юмор иironию, получится тот род искусства, который можно назвать «техно-арт» или «нейро-арт».



Теолог и атеисты

Теолог стал защищать Бога от нападок атеистов. Атеисты решили придушить теолога и посмотреть, что им за это будет от Бога. Не отводили глаз от небес. Проходит день, другой, а на третий один атеист приходит к другому и говорит: «Мы были неправы. Бог милосерд».



Золотое перо

Старый поэт подарил молодому золотое перо. Молодой принял дар с благоговением и спросил: «Что вы написали этим пером?» – «Ничего, – ответил великий поэт. – Я работал только на пишущей машинке и компьютере». «Для чего же вам перо?» – удивился молодой. «Я рисовал им всякую чепуху и ставил кляксы. Это перо удержало меня от сочинения тысяч плохих стихов». «Чудесный подарок!» – воскликнул молодой поэт и положил перо на письменный стол. И больше уже никогда не писал стихов.



Скрепка

Скрепка ныла от скуки. У нее не осталось никаких дел. Бумаг уже никто не скреплял, потому что они вышли из обихода. Коробка со скрепками лежала рядом с компьютером, ее могильщиком, – но никто к ней уже давно не прикасался. И вдруг в комнату вошло нечто большое – даже шкаф посторонился, а стол прогнулся. Это была огромная Скрепа. Она была в точности как маленькая, только в тысячи раз больше. «Ты для чего? – пискнула скрепка. – Ведь бумаги уже нет, и мы не нужны». – «Подумаешь, бумаги! – басом ответила Скрепа. – Я буду скреплять Народ. У меня железная хватка». И продиктовала компьютеру свой указ.

детство, что взрослые, со всей их мудростью, не справляются с ситуацией. Переживший политическую катастрофу, Набоков и мыслил ее как крушение имперского поезда. Об этом говорит процитированное во врезке стихотворение о железнодорожной катастрофе, заставшей спящих добродорядочных людей, любителей уюта и прогресса.

Но Набоков говорит о взрослой железной дороге как об общем желании детства, своего рода платоновской идеи любого современного ребенка. Вот как он пишет в автобиографии «Другие берега»: «Вместо дурацких и дурных фрейдистических опытов с кукольными домами и куколками в них («Что ж твои родители делают в спальне, Жоржик?»), стоило бы может быть психологам постараться выяснить исто-

рические фазы той страсти, которую дети испытывают к колесам. Мы все знаем, конечно, как венский шарлатан объяснял интерес мальчиков к поездам. Мы оставим его и его попутчиков трястись в третьем классе науки через тоталитарное государство полового мифа (какую ошибку совершают диктаторы, игнорируя психоанализ, которым целые поколения можно было бы развернуть). Молодой рост, стремительность мысли, американские горы кровообращения, все виды жизненности, суть виды скорости, и неудивительно, что развивающийся ребенок хочет перегнать природу и наполнить минимальный отрезок времени максимальным пространственным наслаждением. Глубоко в человеческом духе заложена способность находить удовольствие в преодолении земной тяги.

Но чем бы любовь к колесу ни объяснялась, мы с тобой будем вечно держать и защищать, на этом ли или на другом поле сражения, те мосты, на которых мы проводили часы с двухлетним, трехлетним, четырехлетним сыном в ожидании поезда. С безграничным оптимизмом он надеялся, что щелкнет семафор, и вырастет локомотив из точки вдали, где столько сливалось рельс между черными спинами домов. В холодные дни на нем было мерлушковое пальто – с такой же ушастой шапочкой, и то и другое пестроватого коричневого цвета с инейстым оттенком, и эта оболочка и жар его веры в павловов держали его в плотном тепле и согревали тебя тоже, ибо, чтоб не дать пальцам замерзнуть, надо было только зажать то один, то другой кулечек в своей руке, – и мы диву да-

вались, какое количество тепла может развить эта печка – тело крупного дитятия».

Издаваясь над Фрейдом и его последователями, Набоков натурализует психоанализ: условные фигуры снов превращаются в кукольные домики, а рутинная практика терапии – в рутину мещанских деловых путешествий. Решает он так для того, чтобы натурализовать и мечту о путешествиях: показать, что это не только грэзы ребенка над страницами иллюстрированных книг, но и неотменимая страсть к тому, чтобы быть в движении и быть больше себя.

Такова истинная страсть быть тем, кого созидают творчество и жар веры, – тот жар, который запускает опасный ритм поэзии и более надежный ритм прозы. И в этом ритме мы слышим и игрушечную железную дорогу. ♦

Как i попало в Алису

Герой этой истории – ирландский математик Уильям Роэн Гамильтон родился в Дублине в 1805 году. Возможно, его биографы преувеличивают, но утверждается, что он был настолько смышлен, что к десяти годам успел освоить десять древних языков, включая халдейский, сирийский и санскрит. Но мальчик и правда был весьма одарен: когда в семнадцать лет он прочел недавно опубликованный трактат Лапласа о механике небесных тел, он нашел в нем ошибку, которую не заметил больше никто. Уже в двадцать два года он стал королевским астрономом Ирландии. К тридцати годам он был посвящен в рыцари за заслуги в развитии наук.

Это случилось в 1835 году, в тот же год, когда Гамильтон увлекся комплексными числами. Ему искренне хотелось продвинуться дальше в этой сфере. Он рассудил, что если чисто мнимое число i дает нам дополнительное измерение в пространстве чисел, то нельзя утверждать, что других измерений в этом пространстве нет. Он решил провести эксперимент и предложил два дополнительных набора чисел – по сути, два дополнительных измерения на числовой оси. Обозначив их j и k , он стал изучать, какие арифметические действия может с ними произвести, подобно тому, как Бомбели поступил с квадратным корнем из -1 (ныне известным как i) тремя столетиями ранее.

Оказалось, что Гамильтон мог присвоить j и k математические свойства, которые позволили бы ему осуществлять сложение и вычитание в «тройке» – так он называл совокупность i , j и k . А вот с умножением и делением ничего не выходило. Гамильтон был твердо настроен расширить набор допустимых операций, и это находило отражение в вопросе, с которым дети обращались к нему каждое утро. «Ну что же, папа, – говорили они, когда отец спускался к завтраку, – ты научился умножать тройки?» Гамильтон, по его же словам, отвечал им, «печально качая головой»¹.

А затем у него всё получилось. Его изумление стало предметом известного анекдота из истории математики. 16 октября 1843 года он прогуливался с женой вдоль дублинского канала Ройал и вдруг понял, в какой взаимосвязи должны состоять i , j и k , чтобы задача обрела решение. «В тот миг я почувствовал, как замыкается гальваническая цепь моей мысли, и искры, вылетевшие из нее, дали мне базовые уравнения, связывающие i , j и k », – вспоминал он. Он так обрадовался, что, боясь упустить свою мысль, выцарапал решение на камне ближайшего моста. Следы его вандализма давно исчезли, уничтоженные годами и прикосновениями. Сегодня место, где на Гамильтона снизошло озарение, отмечено табличкой, на которой высечено и выражение, сложившееся из отдельных искр:

$$i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$$

Гамильтон добавил свою тройку к знакомому набору действительных чисел, чтобы создать то, что он назвал кватернионами. Он сказал, что создал это слово, опираясь на греческую идею о тетрактисе – изначальном мистическом наборе из четырех элементов. Эта связь была не случайной. Гамильтон полагал, что учёные сделаны из того же теста, что и древнегреческие мыслители. Он говорил, что им следует «изучать язык оракулов Вселенной и прислу-



Безумное чаепитие. Илл. Джона Тенниела
к «Алисе в Стране чудес» (1865 год)

Скандал с кватернионами

В издательстве Corgis под эгидой «Книжных проектов Дмитрия Зимина» вышел перевод книги британского популяризатора науки Майкла Брукса (Michael Brooks) «Искусство большого: как математика создала цивилизацию» ("The Art of More: how mathematics created civilisation"). Автор защитил диссертацию по квантовой механике в Университете Сассекса, затем переквалифицировался в научного журналиста, публиковался в изданиях *New Scientist*, *The Guardian*, *The Independent*, *The Observer*, выпустил несколько научно-популярных книг и даже создал «Научную партию Великобритании». «Посвящая по главе различным подразделам математики – алгебре, геометрии, математическому анализу, статистике, теории информации, – Брукс нащупывает идеальный баланс между научной и популярной составляющими книги», – отмечает переводчик книги Заур Мамедьяров, канд. экон. наук, заведующий сектором экономики науки и инноваций ИМЭМО РАН. Мы публикуем отрывок из книги с любезного разрешения издательства.

шиваться к ним)². Он также разделял любовь греков к поэзии и близко дружил с поэтами-романтиками Вордсвортом и Колъриджем. По мнению Гамильтона, крайне важно было восстановить связь науки с философией и поиском божественного начала. И он считал, что кватернионы стали первым шагом в нужном направлении.

На следующий день после открытия Гамильтон написал своему другу Джону Грейзу, который был юристом, но глубоко интересовался алгеброй. Грейзу ответил смело: зачем на этом останавливаться? «Я пока не понимаю, насколько мы волны по своему усмотрению создавать мнимые числа и наделять их сверхъестественными свойствами», – отметил он в ответном письме 26 октября. Два месяца спустя Грейзу снова написал Гамильтону. Он снова удвоил число мнимых чисел и разработал математику октонионов. Словно бы в угоду музыкальным вкусам древних, двое учёных создали числовую октаву.

Они попытались пойти дальше, но у них ничего не вышло. Теперь мы знаем, что шансов у них не было, потому что сделать это невозможно. Складывается впечатление, что природа сложена из наборов чисел, но количество их конечно. Математики доказали это с октонионами, и мы получили полный комплект возможных систем, с помощью которых люди могут чрезвычайно эффективно описывать Вселенную на языке чисел.

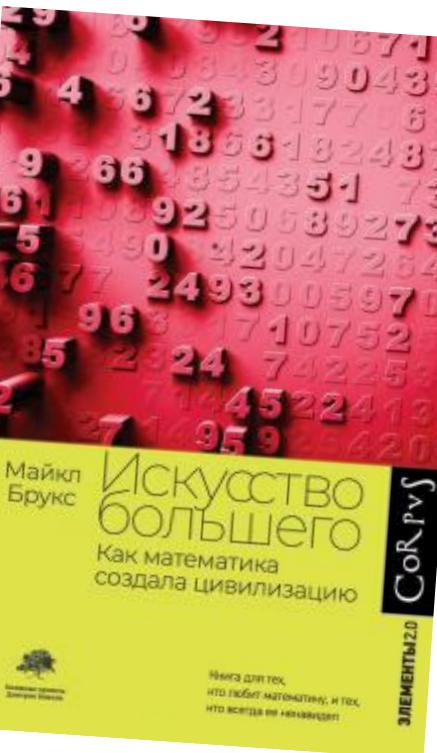
Как же это происходит? Вас вряд ли удивит, что это сложно. Настолько сложно, что, похоже, легло в основу одной из величайших сцен англоязычной абсурдистской литературы:

² Altmann S. L. Hamilton, Rodrigues, and the quaternion scandal. Mathematics Magazine. 62, no. 5 (1989): 291–308.

безумное чаепитие у Шляпника в «Алисе в Стране чудес».

Под псевдонимом Льюис Кэрролл скрывался оксфордский математик Чарльз Лютвидж Доджсон. Он преподавал геометрию в колледже Крайст-черч. По природе он был довольно консервативен, из книг больше всего любил «Начала» Евклида и похвалил чистую математику своего героя в книге *“Curiosa Mathematica”*: «Ее очарование, полагаю, заключается главным образом в абсолютной однозначности результатов, ведь именно этого больше всех скрывают разум и жаждет человеческий интеллект. Нам лишь бы быть хоть в чем-то уверенными!» Можно смело сказать, что Доджсон не особо жаловал экспериментальные идеи и прогресс.

Его самое известное сочинение родилось в 1864 году и поначалу было довольно скучной рукописью под названием *«Приключения Алисы под землей»*. В нем не было и намека на чаепитие. Но в ходе работы над ним Доджсон всё сильнее разочаровывался в том, как развивается его любимый предмет. Евклидовы алгебра устаревала, ее сменяла абстрактная – в частности, комплексные числа и кватернионы. Доджсон писал о своих опасениях сестре, обсуждал их с коллегами и транслировал их в статьях для математических журналов, но казалось, что никто его не слушает. И тогда он применил один из любимых риторических приемов Евклида: доведение до абсурда. «Алиса в Стране чудес» полна насмешек Доджсона над математическими тенденциями, которые нравились ему меньше всего³. Там



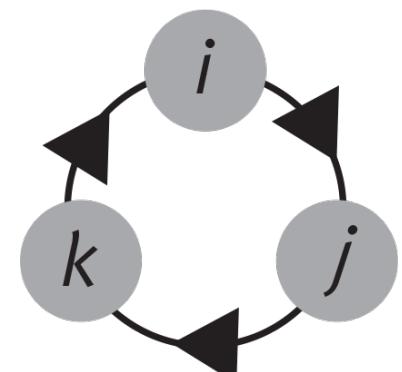
есть выпады в сторону отрицательных чисел, символьической алгебры и области, называемой проективной геометрией, и ее «принципа непрерывности» (чтобы высмеять ее идеи, Доджсон превратил младенца в свинью). Специалист по английской литературе Мелани Бэйли, собравшая из отдельных кусочков мозаики общую картину, полагает, что Доджсону наверняка доставляло особенное удовольствие проносить такие отсылки в дом Генри Лидделла, декана колледжа Крайст-черч⁴. Лидделл был отцом Алисы – той самой девочки, которая стала героиней первой истории Доджсона. Бэйли обнаружила документы, подтверждающие, что Доджсона сердило включение сим-

³ Bayley M. Alice's adventures in algebra: Wonderland solved. New Scientist, 19 December 2009.

⁴ Мелани Бэйли, электронное письмо автору от 22 апреля 2020 года.

волической математики в оксфордскую учебную программу и что он лично повздорил об этом с деканом Лидделлом как раз в то время, когда писал «Алису». Бэйли представляет, как Доджсон включил свои аргументы в отредактированную версию книги, которую он передал семейству Лидделл, чтобы его возражения оказались на столе в гостиной декана как тайная шутка – или шутка, понятная лишь сторонникам Доджсона.

Несмотря на нелюбовь Доджсона к символьической алгебре, именно кватернионы Гамильтона вдохновили его на самую яростную атаку. На чаепитии у Шляпника Алиса встречает трех странных персонажей: самого Шляпника, Мартовского Зайца и Соня. Алиса замечает, что герои постоянно пересаживаются. Похоже, это отсылка к одной из величайших инноваций Гамильтона – его способу умножать и делить кватернионы. Он схематично изображен на рисунке.



Цикл умножения кватернионов Уильяма Гамильтона

Дело в том, что в случае с кватернионами имеет значение порядок умножения. Мы говорим, что 2×3 равняется 3×2 . Но $i \times j$ (или k) не равняется $j \times i$ (или $-k$). Важно, как именно вы двигаетесь по кругу. Разговор Алисы с Мартовским Зайцем – следствие недоверия Доджсона к новой математике: как отмечает Безумный Шляпник, «говорить то, что думаем», – вовсе не то же самое, что «думать то, что говоришь». Тем временем четвертого героя – Времени – на чаепитии нет. Из-за его отсутствия возникает проблема: на часах всегда шесть – и всегда пора пить чай. Здесь Доджсон, похоже, отвечает на громкое заявление Гамильтона, что кватернионы тесно связаны с проблемой представления времени, существующей в физике. В 1835 году Гамильтон написал книгу «Алгебра как наука чистого времени». Изобретение кватернионов дало ему основание предположить, что одно из четырех чисел – время. В одном из своих (вполне бегущих за душу) стихов Гамильтон отметил: «Один от Времени, три от Пространства – цепь символов должна закольцеваться». Он представлял время четвертым измерением, но время не идущее, а существующее, статичное и абсолютное, или, по его словам: «До и после; прошедшее, последующее и одновременное; непрерывное бесконечное течение из прошлого через настоящее к будущему». Оказывается, Гамильтон был склонен к философствованиям. «Есть нечто таинственное и запредельное в понятиях Времени, – писал он, – но есть в нем также и нечто определенное и ясное, и если метафизики размышляют об одном, то математики строят свои рассуждения, отталкиваясь от другого». Это несколько многословнее некоторых цитат о времени другого его великого толкователя – Альберта Эйнштейна. Сразу вспоминается, как Эйнштейн сказал: «Единственная причина для существования времени – чтобы всё не случилось одновременно». Но это, по сути, всё та же мысль: время в голове – лишь иллюзия. И сцена из книги Доджсона показывает, что он этого не признал: без Времени нет прогресса. ►

Своей теорией относительности это доказал Эйнштейн, а не Гамильтон. И для разработки специальной и общей теорий относительности, которые описывают свойства пространства и времени и поведение объектов при движении по ним, ему даже не понадобились четырехмерные кватернионы Гамильтона. В математике шла война, напоминающая войну видеоформатов Betamax и VHS. В конце концов кватернионы уступили инновационным векторам, которые определяют числа, указывая направление и расстояние на числовом эквиваленте навигационной карты. С тех пор кватернионы считаются жалким подобием векторов. Однако, хотя Эйнштейн и использовал четырехмерные векторы, мы по-прежнему можем смело благодарили Гамильтона за то, что он поместил идею о четвертом измерении в сердца и головы всех тех, кто хотел открыть доступ к космосу пифагорейцев. И хотя кватернионы очень мало используются в реальном мире, родственные им октониины вполне могут стать ключом к финальной теории физики.

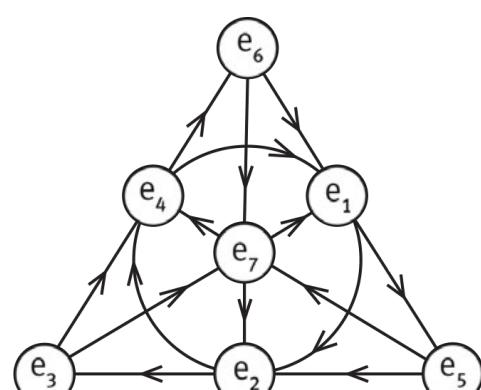
Восьмеричный путь

Даже Уильям Роэн Гамильтон, неустанный поборник своих кватернионов, не стал пропагандировать октониины. Четырехмерная алгебра позволяла учить время. Но какая польза от восьмимерной алгебры? Что делать с этим дополнительным пространством? Особено коль скоро его математические законы столь запутаны.

Кватернионы состоят в довольно простой математической связи. Но когда Грейвз понял, что арифметические операции можно также производить в восьми измерениях, ему пришлось прокладывать новые – и, казалось бы, несуразные – пути. Например, положение скобок в выражении никогда прежде не имело значения. Но с октонионами $3 \times (4 \times 5)$ не было равно $(3 \times 4) \times 5$.

При работе с обычными числами математики начинают вычисления со скобками. Так, вычисляя произведение $3 \times (4 \times 5)$, они получили бы 3×20 , или 60. Но если бы скобки переместились в другое место, ничего бы не изменилось. Вычисляя произведение $(3 \times 4) \times 5$, они получили бы 12×5 , то есть тоже 60.

Но октонионам обычные правила неприменимы. Если в кватернионах используются три числа i, j и k , то в октонионах их семь: $e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6$ и e_7 . Если хотите знать, e_1, e_2 и e_4 сравнимы с кватернионами i, j и k . На рисунке показано, как они работают вместе в математических целях.



Плоскость Фано
для умножения октонионов

В некотором роде это прекрасно. Эта карта ландшафта октонионов называется плоскостью Фано в честь итальянского математика Джино Фано. В ней есть нечто мистическое, напоминающее о всевидящем око, которое можно найти на обратной стороне Большой печати США и долларовой купюры. Математики эпохи Возрождения смотрели на него и видели око Бога, заключенное в треугольник, символизирующий христианскую Святую Троицу. Их современные коллеги – по крайней мере, некоторые – видят кое-что иное: краткое описание того, как устроена Вселенная.

Этот фрагмент математики пока не изменил историю человечества. Работа с октонионами еще не завершена, и она, возможно, ни к чему нас не приведет. Но эти странные числа дразнят нас, а их свойства отражают наши представления о поведении сил и частиц, которые встречаются в природе, и этого достаточно, чтобы некоторые физики отправились за ними вниз по кроличьей норе.

Мы уже упоминали о некоторых странных свойствах квантовой теории. Когда мы

описываем поведение различных субатомных частиц, некоторая странность в получающейся математике отражает свойства кватернионов. Рассмотрим принцип неопределенности Гейзенберга. Он гласит, что нельзя одновременно точно знать определенные пары характеристик частицы – например, ее координаты и импульс. Это следствие того, что в квантовой математике порядок вещей имеет значение, как и при работе с кватернионами i, j и k .

Неразрешимая странность квантовой теории оттолкнула от нее и Эйнштейна, и Шрёдингера. Они вместе искали ее недостатки и пытались убедить остальных – в частности, Нильса Бора, который часто считается отцом-основателем квантовой теории, – что лучше начать всё с начала. В 1939 году Эйнштейн прочел лекцию, на которой присутствовал Бор. Глядя ему прямо в глаза, Эйнштейн заявил, что теперь его цель состоит в том, чтобы сместить с позиций квантовую механику⁵.



Сэр Уильям Гамильтон

Шрёдингер также не стал дальше развивать квантовую теорию и отошел от нее примерно тогда же, когда и Эйнштейн. Оба ученых – независимо друг от друга – занялись разработкой теории, которая объединила бы квантовую физику с теорией относительности. Им хотелось создать грандиозную финальную теорию, которая включала бы в себя и описание космических свойств Вселенной из теории относительности, и объяснение субатомного мира и действующих в нем сил из квантовой теории. Так появилось бы единое математическое описание всего космоса. Ни один из двух ученых не преуспел в этом начинании, и они сильно разругались, публично критикуя труды друг друга⁶. После одного особенно колкого замечания о проблемах в рассуждениях Эйнштейна, сделанного Шрёдингером на пресс-конференции, Эйнштейн наказал бывшего друга и три мучительных (по крайней мере, для Шрёдингера) года не отвечал на его письма.

Теперь эстафету перехватили другие, но никто пока не заявил о близости к цели: математики и физики, а также все, кто работает в плодородных областях на стыке этих наук, по-прежнему исследуют различные пути. Любопытно – особенно в контексте этой главы, – что сегодня оптимизм в ученых вселяет в основном как раз математика комплексных чисел, в частности октонионов.

Всё началось с теории струн. Это попытка построить все частицы и силы физики, начав с довольно простой вещи – выбирающих струн энергию. Струны выбирают определенным образом – и мы получаем электрон. Вibration другого типа дает нам электромагнитную силу. Идея о том, что математика музыки переплетена с математикой кос-

⁵ Isaacson W. Einstein: his life and universe. New York: Simon & Schuster, 2007.

⁶ Halpern P. Einstein's Dice and Schrödinger's Cat: how two great minds battled quantum randomness to create a unified theory of physics. New York: Basic Books, 2016.



Льюис Кэрролл. Фотоавтопортрет (1857 год)

моса, весьма заманчива: пифагорейцам она бы точно понравилась.

Но такой подход работает, только если мы допускаем существование «дополнительных» пространственных измерений (отличных от тех, что предложил Луи де Брайль). Согласно теории струн, к трем измерениям, в которых мы живем, нужно добавить еще семь скрытых. В этой схеме свойства вещества взаимодействуют друг с другом такими способами, которые математически описываются с помощью октонионов. Хотя теория струн вряд ли станет итогом наших размышлений, на текущий момент она, пожалуй, представляет собой лучшую из имеющихся у нас вариаций описания «квантовой теории гравитации» и подсказывает нам, что в финальной теории, какой бы она ни оказалась, вполне может фигурировать математика октонионов.

Эти подсказки происходят из того, как специалисты по физике частиц собирают свой «зоопарк». Стандартная модель – это нечто вроде зоологической классификации, которая позволяет распределять частицы по классам на основании сходства их характеристик. Так, в класс адронов входят кварки, с которыми мы встречались в главе об алгебре. Адроны обладают электрическим зарядом, кратным заряду электрона (при этом множителем может быть и ноль). Вероятно, вы слышали о протонах и нейтронах, составляющих ядро атома. Это адроны. Существует и множество других классов, включая лептоны (к ним относятся электроны) и бозоны (например, бозон Хиггса).

Из-за различных классификаций, характеристик и особенностей поведения этих частиц Стандартная модель оказывается довольно запутанной. Нам сложно понять, как выглядят ее законы. Но есть основания предполагать, что запутанность возникает лишь потому, что мы пока не поняли, как модель соотносится со всеми тонкостями плоскости Фано и как в ней участвует гравитация. Лауреат Абелевской премии математик Майкл Атья отметил: «Настоящая теория, которую мы хотим вывести, должна сочетать гравитацию со всеми этими теориями так, чтобы гравитация казалась следствием октонионов... Это будет сложно, ведь мы знаем, что с октонионами не бывает легко, но такая теория, когда она будет обнаружена, окажется прекрасной и уникальной»⁷.

Но пока, разумеется, это лишь гипотетическая возможность для применения комплексных чисел. Но есть и другая прекрасная теория, чрезвычайно практичная и применяемая уже более века. Ее подарил нам Чарльз Протеус Штейнмейер, родившийся в Германии. И именно эта история показывает нам – возможно, нагляднее любой другой, – в каком долгу наша цивилизация перед математикой. ♦

Прорыв в создании перовскитных солнечных элементов

Международный коллектив ученых из 12 университетов и исследовательских центров Швейцарии, Китая, России, Люксембурга, Германии, Японии и Бельгии выдвинул революционный метод получения перовскитных солнечных элементов с большой площадью, а также с высокой эффективностью и долговечностью. В исследовании приняли участие Ольга и Мария Сызганцевы, ученые химического факультета МГУ.

Методика позволяет серьезно упростить создание перовскитных солнечных элементов, а самим элементам стать одним из ключевых преобразователей солнечной энергии в электричество. Статья с результатами работы опубликована в журнале *Nature*¹.

Как рассказала соавтор, старший научный сотрудник лаборатории квантовой фотодинамики химического факультета МГУ Ольга Сызганцева, речь идет о технологии создания самых перспективных на сегодня перовскитных солнечных батарей, в основе которых применяется соединение формамидиниевый свинцовий иодид. Они обладают оптимальными физико-химическими свойствами для применения в перовскитных солнечных батареях, но есть нюанс: «Оптимальные свойства формамидиниевые свинцовые перовскиты проявляют в так называемой „черной“ или альфа-фазе. Однако альфа-фаза по разным причинам может деградировать в неактивную дельта-фазу. К тому же в процессе кристаллизации перовскита могут появляться микро- и макродефекты. Чем больше дефектов, тем менее долговечна батарейка. Поэтому процесс кристаллизации нужно оптимизировать, и это самое „горячее“ на сегодня направление работы».

Один из способов оптимизации – введение в систему дополнительных веществ, которые совершенствуют процесс кристаллизации, обеспечивают равномерную зернистость и сильно уменьшают количество дефектов. Ноу-хау этой работы в том, что одновременно применяется соединение, которое встраивается в твердую фазу, а также еще одно, представляющее собой ионную жидкость (жидкость, состоящую исключительно из ионов), управляющую процессом кристаллизации.

«Ионная жидкость способствует формированию кристаллизационных центров, что в итоге делает пленку более однородной и содержащей меньшее количество дефектов. А следовательно, более долговечной и эффективной», – отметила Ольга Сызганцева.

По словам автора, экспериментальной части группы удалось решить одну фундаментальную проблему, что привело к серьезному продвижению в области коммерциализации перовскитовых фотоэлементов. «До сих пор не удавалось сделать достаточно высокозэффективные стабильные пленки площадью более $1,5 \text{ см}^2$. А в данном случае применение ионной жидкости привело к тому, что площадь одной стабильной ячейки выросла до $27,22 \text{ см}^2$. Это очень серьезное масштабирование, выдающийся результат, – подчеркнула Ольга Сызганцева. – Причем сертифицированная мощность модуля – 23,30%, а стабилизированная – 22,97%. Так что после тысячи часов непрерывной работы эффективность модуля сохраняется на уровне 94,66%. Непрерывность в данном случае очень важна, потому что известно, что перовскиты в солнечных элементах деградируют гораздо медленнее, если световая нагрузка идет не непрерывно, а периодами (день/ночь)».

Современные солнечные элементы на основе кремния даже в лабораторных условиях дают КПД 24–27%. То есть мощность перовскитовых элементов достигла уровня кремниевых (но стоимость производства их на порядки ниже).

Пресс-служба МГУ



На фото: Ольга Сызганцева.
Автор фотографии: Юлия Чернова /
пресс-служба химического факультета МГУ

¹ Ding B., Ding Y., Peng J. et al. Dopant-additive synergism enhances perovskite solar modules // Nature (2024). doi.org/10.1038/s41586-024-07228-z



Александр Мещеряков. Фото И. Соловьёва

Между прочим, я родился на равнине, у которой нет ни начала, ни конца. Умевшиеся на ней холмы и взгорки кажутся лишь мизерным отклонением от генерального плана плоскодонной России, по которой катись – не хочу. Такой рельеф благоволит первоходцам.

Самым высоким местом, куда я забирался, долгое время оставались Воробьёвы горы. Название звучало уничтожительно, и склонные к преувеличениям коммунисты переименовали их в Ленинские. Смех да и только! Как будто Пика Ленина в советском Таджикистане им было мало! Сравнение по высоте было отнюдь не в пользу Москвы: 220 метров против семи километров. Но в сопоставительном анализе большевики были не сильны. Зато с Ленинских гор открывался вид на светоносный Кремль, а с Пика Ленина – всего лишь на сельцо Сары-Могол, которое к тому же можно было разглядеть только в подзорную трубу.

В любом случае настоящие горы представлялись мне миром далеким и нездешним. Так продолжалось до 1967 года, когда на экраны вышел фильм про альпинистов «Вертикаль». Мы отправились на него почти всем классом. Еще бы – ведь там играл сам Володька Высоцкий! Все его слышали, но никто не видел – по телевизору его не показывали, а в театр на Таганке, где он играл, билетов было не достать. Так что мы слушали Высоцкого на съедавших выстраданных слова магнитофонных пленках со склейками, но этот хриплый надрывный голос всё равно не заклеивался до конца и западал в пацансскую душу. А в «Вертикали» я впервые увидел Володьку как живого. И пел он именно про то, что хотелось услышать в пятнадцать мальчишеских лет! А хотелось про верную мужскую дружбу, которая на всю жизнь. Романтика бушевала в наших сердцах ишибала в голову. Качество друга Высоцкий определяло через инициацию – испытание горами:

Если он не стонал, не ныл,
Пусть он хмур был и зол, но шел,
А когда ты упал со скал,
Он стонал, но держал;
Если шел он с тобой, как в бой,
На вершине стоял хмельной,
Значит, как на себя самого,
Положись на него.

После коллективного просмотра фильма в кинотеатре «Стрела» мы позабыли про обиды, ссоры и драки –казалось, что наша дружба уже прошла испытание на прочность, и даже жаждый Серёга вернул мне стыренную из моего альбома год назад почтовую марку с изображением Моны Лизы. Вот она, великая сила искусства! Но все-таки это было не до конца выверенное ощущение прочности, потому что в горах никто из нас не был. А потому настоящие горы стали манить меня.

Сказать по правде, альпинистские подвиги были не по мне – я не любил таскать тяжести. Другое дело горные лыжи, которые сами несут тебя! В данном случае я присоединился к большинству – горнолыжников на этом свете намного больше, чем альпинистов.

Вот с моим незабвенным другом Гашишом мы и отправились в Терскол. Какая прельстительная фонетика: Чегет, Баксан, Эльбрус! Поязже на приворотное заклинание, звавшее на первое свидание с величественной природой.

Автобус в Терскол отправлялся из Минеральных Вод еще затемно, так что рассвет мы встречали уже в горах. До этого времени я думал, что пейзажи Периха – плод его богатой фантазии. Разве бывают горы такими розовыми, сиреневыми, земляничными? А оказалось, что Перих вовсе не фантазер, а отпетый реалист, который поднимался с постели с утра пораньше. Самого солнца видно из-за гор не было, но они и вправду утопали в нежной ра-

Про горы

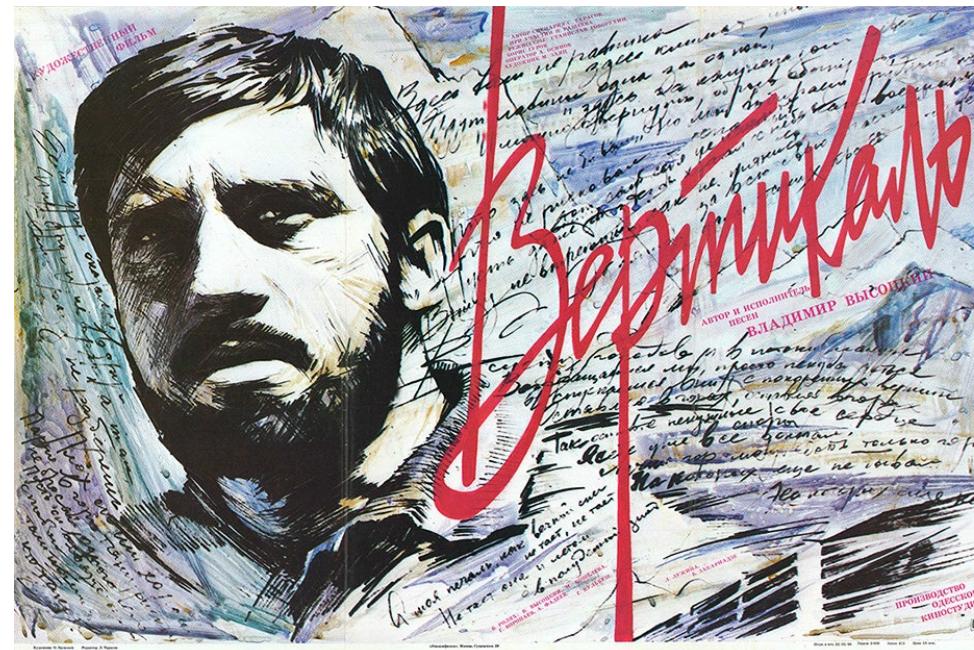
Александр Мещеряков

дужной взвеси, которая выливалась неизвестно откуда и переливалась неизвестно куда.

Мы жили на турбазе Министерства обороны. Своего инвентаря у меня тогда еще не имелось, а крепление на прокатных лыжах тут же лопнуло. Но инструктор Саша Дивинский споро починил его с помощью каких-то гвоздиков и проволочек. Починив, удовлетворенно хмыкнул: «Сделал по-русски – некрасиво, но прочно». И эти допотопные лыжи из карпатского бука действительно шустро покатили меня по склону до самого низа.

Днем в Терсколе палило едкое солнце, варившее снежную кашу, которая вечером затвердевала в рашильный наст. Под неправдоподобно яркими звездами стояла такая тишина, от которой ты казался себе глухим. Совсем не-подалеку в подгорных туннелях московские физики ловили не видимые профанному глазу нейтрино¹. От мелкого ручья с негазированной минералкой несло адовой серой, но религиозные коннотации не портили ни воздуха, ни настроения. Из ржавой трубы мы набирали минералку в казенные графины, на стенах которых поселился коричневый налет, считавшийся исключительно целебным.

Днем мы утюжили гору, вечером отправлялись на танцы. Сказать по правде, после утомительного дня на крутом склоне девушки нас интересовали мало, но танцы входили в обязательную программу культурного отдыха. Становясь в кружок, мы дергались под *Rasputin Love*



Саша подрабатывал на турбазе инструктором, в основной части жизни он был геологом, душевно пел под свою истакканную гитару:

Мой маленький Гном, поправь колпачок
И брось, не сердись, разожми кулачок.
Беги от людей, мой маленький Гном,
Беги поскорей в свой старенький дом.

Было так странно слышать игрушечные куплеты из уст этого исходившего полстраны человека, отчаянно лавировавшего по Чегету между скалами и пропастью – снег столбом! Сашина кожа прочно задубела от могучего солнца, буйного ветра и колючего табачного дыма, но детсадовская песенка выдавала не-прикаянность и бездомность. После возвращения в Москву я бывал у Саши дома. Квартира напоминала камеру для хранения случайных вещей случайного здесь человека.

Machine. Эта песенка группы «Бони-М» длилась почти пять минут, что, учитывая наш тогдашний темперамент и разреженный горный воздух, вызывало нешуточную одышку. Впрочем, одышка проходила быстро и не сказывалась на утреннем самочувствии.

С Гашишом нас поселили в разных комнатах. Мне достались соседями одержимые горнолыжники, Гашишу – шахтеры, которые приехали отдыхать по бесплатной профсоюзной путевке. Огромная зарплата позволяла им пить водку круглые сутки. Иные жидкости казались им издевательством над подземным человеком. Когда кто-то из шахтеров отлучался в сортир,

¹ Шентябин А., Шихин А., Рубинштейн Г.
Бруно Понтекорво и Баксанская нейтринная обсерватория // ТрВ-Наука № 397
от 13 февраля 2024 года.
trv-science.ru/2024/02/pontecorvo-i-bno-inr-ras/

чтобы проблеваться, друзья приветствовали его возвращение словами «Со свиданьицем!» и немедленно подносили еще. Они пили водку жуткого нальчикского разлива, на которую нутро реагировало выталкивающим ядовитую жидкость спазмом.

Когда после завтрака я зашел за Гашишом, чтобы отправиться на подъемник, шахтеры потребовали, чтобы и я принял «грамульку». Не желая создавать конфликтную ситуацию, я накапал себе на донышко граненого стакана, чем вызвал неприкрытое возмущение хозяев. Один из них вырвал у меня стакан и залил его до краев. Я робко возразил: «Мы же договаривались по грамульке...» На что и получил достойный ответ: «Это и есть наша шахтерская грамулька!» Я попытался напугать их: «Меня с вашей грамульки стошнит!» Аргумент не подействовал: «Ничего, подотрем, дверь откроем – всю вонь выдует». Я так и не выпил, шахтеры крепко обиделись, но зла не запомнили. Впрочем, не помнили они и добра, им было не до того.

Эти ребята выходили из номера только «за добавкой». Это происходило вечером, ослепительного горного солнца они не заставали. Видимо, кротовий образ жизни отнял у них потребность в свете. Когда настал срок возвращаться в забой, согласно признавались: «Отдохнули на славу!»

Я тоже отдохнул на славу, организм благодарно реагировал на чистый снег, свист ветра в ушах и рододендроны – гемоглобин играл в крови.

И вот подали автобус до Минеральных Вод. Перед стеклянными дверями турбазы стоял симпатичный ослик. Он загораживал проход. С ослями я никогда знаком не был и попытался легким поджопником отогнать его. Ослик не обратил на это никакого внимания, даже хвостом не повел. Я раззадорился, уперся в круг обеими руками и попытался его сдвинуть. Он удивленно посмотрел на меня своим равнодушным карим глазом и не сдвинулся с места. Он был сделан из горного гранита, а я – из равнинной глины с добавлением костной муки. Тогда я позвал на помощь Гашиша, но мощь одной ослиной силы преодолеть двум москвичам так и не удалось. Тут откуда-то нарисовался бородатый балкарец в папахе и презрительно оттопырил губу. Одобрительно потрепав осла по загривку, он что-то цокнул ему на местном ослином наречии, и тот без всякой морковки покорно затопал вслед за хозяином. Я смотрел им вслед, но им было всё равно, они шли, не оглядываясь на московитов.

Тем не менее я приезжал сюда еще не раз. Чегет, Баксан, Эльбрус! – заклинание сильное. И каждый раз ослик стоял на положенном ему месте и по-прежнему жевал сено. Я по-прежнему не мог сдвинуть его с места. Мне хотелось поделиться с ним новостями московской жизни, но он по-прежнему не признавал меня за своего. ♦

ИНФОРМАЦИЯ

Помощь газете «Троицкий вариант – Наука»

Дорогие читатели!

**«Троицкий вариант»
нуждается в вашей поддержке.
Около года работы над изданием идет
исключительно на волонтерских началах,
но мы не намерены сдаваться.**

**Теперь есть удобный канал пожертвований
через банковские карты:**

trv-science.ru/vmeste

Редакция



«Троицкий вариант»

Учредитель – ООО «Тровант»

Главный редактор – Б. Е. Штерн

Зам. главного редактора – Илья Мирмов, Михаил Гельфанд

Выпускающие редакторы – Алексей Огнёв, Максим Борисов

Редсовет: Юрий Баевский, Максим Борисов, Алексей Иванов,

Андрей Калиничев, Алексей Огнёв, Андрей Цатурян

Верстка – Глеб Позднев, Максим Борисов. Корректура – Максим Борисов

Адрес редакции 121170, г. Москва, вн.тер.г. муниципальный округ Дорогомилово,

и издательства: пр-кт Кутузовский, д.36 стр. 41, помещ. 1П;

e-mail: info@trv-science.ru, интернет-сайт: www.trv-science.ru.

Использование материалов газеты «Троицкий вариант» возможно только при указании ссылки на источник публикации.
© «Троицкий вариант»

