

Познавательный журнал для хороших людей

НАУКА

из первых рук

www.scfh.ru

1 (77) ● 2018

НОЧЬ
НАУЧНЫХ
ИСТОРИЙ

НОВЕЙШИЕ
НЕБЕСНЫЕ
ХРОНИКИ

БОРЬБА ЗА
НЕАНДЕРТАЛЬСКОЕ
НАСЛЕДСТВО

ЕСТЬ ЛИ
ПОЛЬЗА
ОТ ЙОГИ

Отбор
Лучшего Друга



Агентство
городских
новостей
«Москва»

*Журнал «НАУКА из первых рук»
стал лауреатом IV Всероссийской премии
«За верность науке!» в номинации
«Лучшее периодическое печатное издание о науке».*

*Торжественная церемония
награждения лауреатов
и финалистов состоялась 6 февраля 2018 г.
в Министерстве образования и науки России.*

*«Звездную» награду журналу вручил
президент Российской академии наук
академик А. М. Сергеев*

1. 2018
научно-популярный журнал



НАУКА

из первых рук



В НОМЕРЕ:

Несколько тысяч книг об эксперименте новосибирских генетиков по одомашниванию лисиц подарит американским школьникам издатель журнала *Science*

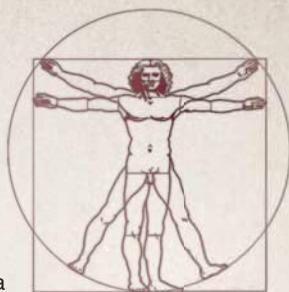
Последние археологические открытия на Алтае подтверждают возможность скрещивания между разными подвидами древних людей

Многие современные методы селекции растений по воздействию на геном сравнимы с технологиями создания ГМО

Медитация препятствует уменьшению длины теломер, защищающих хромосомы от повреждения при делении клеток

В новосибирском Академгородке успешно прижился новый для России формат популярной науки – «научный бар-хоппинг»

Познавательный журнал
для хороших людей



Редакционная коллегия

главный редактор
акад. *Н. Л. Добрецов*
заместитель главного редактора
акад. *В. И. Бухтияров*
заместитель главного редактора
акад. *В. В. Власов*
заместитель главного редактора
чл.-корр. *Н. В. Полосьмак*
заместитель главного редактора
акад. *В. Ф. Шабанов*
ответственный секретарь
Л. М. Панфилова
акад. *И. В. Бычков*
акад. *М. А. Грачев*
акад. *А. П. Деревянко*
акад. *А. В. Латышев*
к. ф.-м. н. *Н. Г. Никулин*
акад. *В. Н. Пармон*
акад. *Н. П. Похиленко*
чл.-корр. *М. П. Федорук*
акад. *М. И. Эпов*

Редакционный совет

акад. *Л. И. Афтанас*
акад. *Б. В. Базаров*
чл.-корр. *Е. Г. Бережко*
акад. *В. В. Болдырев*
акад. *А. Г. Дегерменджи*
проф. *Э. Краузе (Германия)*
акад. *Н. А. Колчанов*
акад. *А. Э. Конторович*
акад. *М. И. Кузьмин*
акад. *Г. Н. Кулипанов*
д. ф.-м. н. *С. С. Кутателадзе*
проф. *Я. Липковски (Польша)*
акад. *Н. З. Ляхов*
акад. *В. И. Молодин*
д. б. н. *М. П. Мошкин*
чл.-корр. *С. В. Нетесов*
д. х. н. *А. К. Петров*
проф. *В. Сойфер (США)*
чл.-корр. *А. М. Федотов*
д. ф.-м. н. *М. В. Фокин*
д. т. н. *А. М. Харитонов*
акад. *А. М. Шалагин*
акад. *В. К. Шумный*
д. и. н. *А. Х. Элерт*

Над номером работали

к. б. н. *Л. Овчинникова*
Л. Панфилова
к. б. н. *М. Перепечаева*
Т. Морозова
А. Харкевич
к. ф. н. *Е. Игнатова*
А. Мистрюков

«Естественное желание хороших
людей – добывать знание»

Леонардо да Винчи

Периодический научно-популярный журнал

Издается с января 2004 года

Периодичность: 6 номеров в год

Учредители:

Сибирское отделение Российской
академии наук (СО РАН)

Институт физики полупроводников
им. А. В. Ржанова СО РАН

Институт археологии и этнографии
СО РАН

Лимнологический институт СО РАН

Институт геологии и минералогии
им. В. С. Соболева СО РАН

Институт химической биологии
и фундаментальной медицины СО РАН

Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН

ООО «ИНФОЛИО»

Издатель: ООО «ИНФОЛИО»

Адрес редакции и издателя:
630090, Новосибирск,
ул. Золотодолинская, 11
Тел.: +7 (383) 330-27-22, 330-21-77
Факс: +7 (383) 330-26-67
e-mail: zakaz@info-press.ru
e-mail: editor@info-press.ru

<https://scfh.ru>

Журнал зарегистрирован
в Федеральной службе по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)

Свидетельство ПИ № ФС77-37577
от 25 сентября 2009 г.

ISSN 2310-2500

Отпечатано в типографии
ООО «ИД „Вояж“» (Новосибирск)

Дата выхода в свет 16.04.2018

Свободная цена

Перепечатка материалов только
с письменного разрешения редакции

© Сибирское отделение РАН, 2018

© ООО «ИНФОЛИО», 2018

© Институт физики полупроводников
им. А. В. Ржанова СО РАН, 2018

© Институт археологии и этнографии
СО РАН, 2018

© Лимнологический институт СО РАН,
2018

© Институт геологии и минералогии
им. В. С. Соболева СО РАН, 2018

© Институт химической биологии
и фундаментальной медицины
СО РАН, 2018

© Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А. А. Трофимука
СО РАН, 2018

Дорогие друзья!



Для нашего журнала этот год особенный. Во-первых, он юбилейный: ровно 15 лет назад, в мае 2003 г., Президиум СО РАН принял решение учредить научно-популярный журнал «НАУКА из первых рук». Во-вторых, в начале этого года журнал получил первый подарок к юбилею – всероссийскую премию «За верность науке» в номинации «Лучшее периодическое печатное издание о науке». Высокая награда – это большая ответственность, повод трезво оценить сделанное и подумать о векторе развития журнала, наиболее полно отвечающем требованиям времени.

Не секрет, что сегодня разные науки «говорят» практически на разных «языках», но самые интересные проекты рождаются именно на стыке дисциплин. С самого начала одной из главных задач журнала было помочь специалистам из разных областей науки познакомиться с работами своих научных «соседей». Поэтому многие публикации были ориентированы главным образом на образованных людей с хорошей профессиональной подготовкой.

Новой приметой нашего времени стал резкий рост интереса к научной тематике среди самой широкой публики. Свидетельство этому – множество государственных и коммерческих проектов, направленных на пропаганду научных знаний, а также рост популярности научных фестивалей, научных шоу и мероприятий нового формата, таких как лекции-бои молодых ученых (Science Slam) и пришедшие в Россию собирающие огромные залы конференции TED. Все это говорит о необходимости расширять читательскую аудиторию. Сегодня старшеклассники составляют лишь 9% посетителей нашего сайта, но эта цифра растет. Назрела необходимость сделать журнал более востребованным среди старшеклассников и студентов, которые сегодня выбирают профессию, а завтра станут «лицом» российской науки.

В этом выпуске мы публикуем рассказы о науке, подготовленные на основе лекций, прочитанных учеными разных специальностей в пабах и барах новосибирского Академгородка в рамках «Ночи научных историй», которая уже второй год проводится командой новосибирского фестиваля науки EUREKA! FEST.

Еще одной приметой времени является огромный интерес к астрофизике, астрономии и освоению космоса. В России в прошлом году даже вернули в школу астрономию. Правда пока, без современных учебников и подготовленных учителей. Этот пробел могут заполнить увлекательные и прекрасно иллюстрированные лекции известного астронома и популяризатора науки Владимира Сурдина, изданные в 2017 г. отдельной книгой. Кстати, эти лекции В. Сурдин уже второй год

читает на физическом факультете Новосибирского государственного университета, и «НАУКА из первых рук» приняла самое деятельное участие в их подготовке к публикации. В новом выпуске читатель найдет одну из лекций, посвященную истории открытий на Марсе, загадочной планете, которая привлекает внимание людей уже не одну тысячу лет и которую человек собирается осваивать в первую очередь.

В прошлом году в США вышла книга *How to tame a fox (and build a dog)* «Как приручить лису (и сделать из нее собаку)» о знаменитом эволюционном эксперименте академика Д. К. Беляева. В 2018 г. издатель журнала Science Американская ассоциация содействия развитию науки (AAAS) признала книгу, изданную к 100-летию ученого, «Лучшей книгой о науке для молодежи». AAAS ежегодно выбирает победителей среди научно-популярных книг в четырех номинациях, а в результате ее партнерства с компанией *Subaru of America, Inc.* в прошлом году в американские школы было пожертвовано более 76 тыс. призовых книг!

В этом году AAAS уже заказала дополнительный тираж книги, благодаря которой тысячи американских школьников прочтут про уникальный эксперимент российских генетиков по одомашниванию лисицы. К сожалению, у российских школьников такой возможности пока не будет. По словам Людмилы Николаевны Трут, одного из авторов книги, ученицы и последовательницы академика Д. К. Беляева, чьи воспоминания стали основой публикации «Отбор лучшего друга», все усилия издать эту книгу в России потерпели неудачу. Есть повод присмотреться к американскому опыту, если нас волнует будущее российской науки.

Академик Н. Л. Добрецов,
главный редактор



«**ПИВНОЙ ЖИВОТ**» грозит его владельцу **БЕСПЛОДИЕМ** из-за **НАРУШЕНИЙ** сперматогенеза **С. 32**

Один из путей борьбы со **СТАРЕНИЕМ** – **ПОДАВЛЕНИЕ СИСТЕМ**, отвечающих за рост и развитие клеток, которые с возрастом работают **ИНТЕНСИВНЕЕ**, теряя при этом **ЭФФЕКТИВНОСТЬ** **С. 40**

.01

НОВОСТИ НАУКИ

- 6 В. И. Молодин**
Журнал «НАУКА из первых рук» стал лауреатом Всероссийской премии «За верность науке»
- 10** Научная мозаика академика В. Н. Пармона

.02

НАУКА И ОБЩЕСТВО

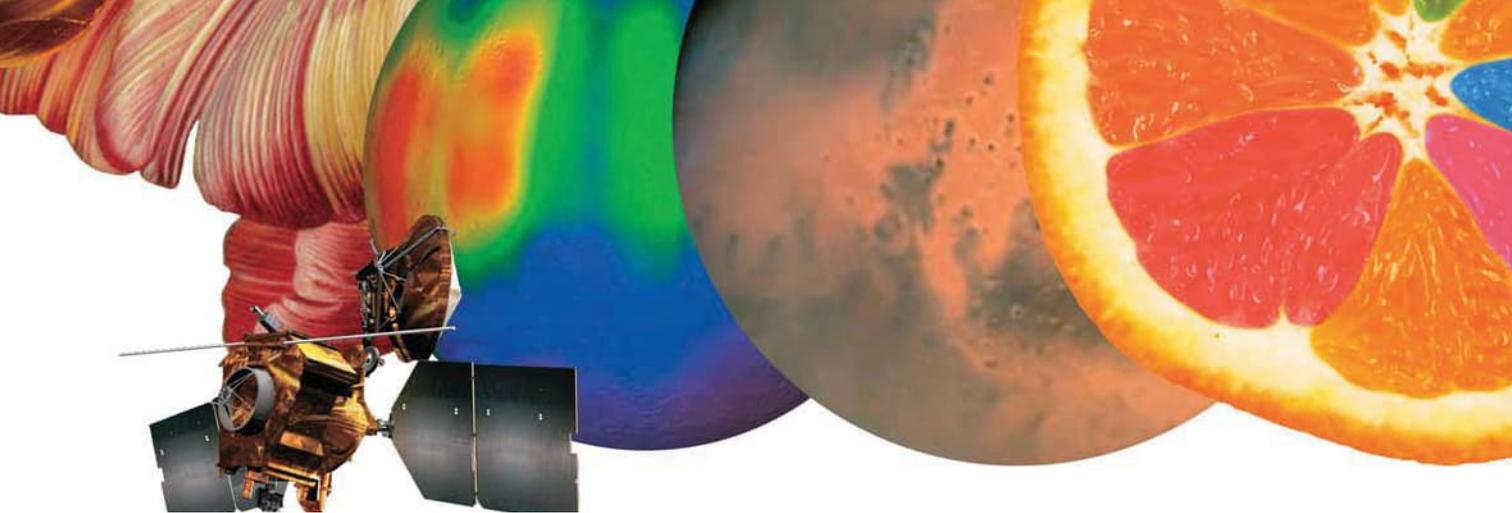
- 18 А. В. Дубынин**
Ночь научных историй, или Зашел ученый в бар...
- 22 А. И. Кривошапкин**
Происхождение человека: борьба за неандертальское наследство
- 32 Е. А. Епанчинцева**
Мужское бесплодие: кто виноват, и что делать?
- 40 М. А. Тюменцев**
Лекарства от старения, и где они обитают

.03

ГОРИЗОНТЫ НАУКИ

- 50 А. А. Волчок, В. А. Ню**
ГМО и другие генетические тайны селекции растений





Раковые клетки, формирующие **МЕТАСТАЗЫ**, как и **СЕМЕНА**, выживают лишь в **ПОДХОДЯЩЕЙ «ПОЧВЕ»** С. 90

МЕТАН в атмосфере **МАРСА** может быть продуктом жизнедеятельности **МИКРООРГАНИЗМОВ**, обитающих глубоко **В ГРУНТЕ** С. 98

.04

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЙ

66 Отбор лучшего друга.
Беседы с Л. Н. Трут

.05

ЧЕЛОВЕК

80 **А. В. Баранова**
«Ничего со слов»,
или Есть ли польза от йоги...

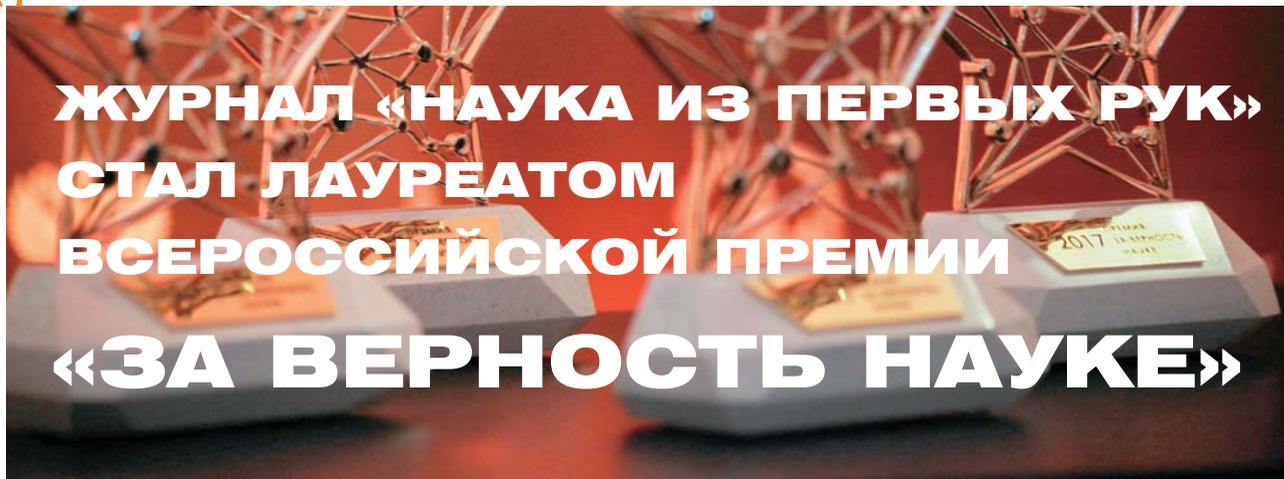
90 **М. П. Рафаева**
Во власти опухолей:
почему метастазы
так трудно остановить?

.06

ФАКУЛЬТЕТ

98 **В. Г. Сурдин**
Новейшие небесные хроники





ЖУРНАЛ «НАУКА ИЗ ПЕРВЫХ РУК» СТАЛ ЛАУРЕАТОМ ВСЕРОССИЙСКОЙ ПРЕМИИ «ЗА ВЕРНОСТЬ НАУКЕ»

*Академик В.И. Молодин,
председатель НИСО СО РАН,
заместитель директора по научной работе
ИАЭТ СО РАН, Новосибирск*

Торжественная церемония награждения лауреатов и финалистов IV Всероссийской премии «За верность науке» состоялась 6 февраля 2018 г. в Министерстве образования и науки России. В числе почетных гостей церемонии – ведущие ученые страны, руководство Минобрнауки России, Российской академии наук, ФАНО России, Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, представители Администрации Президента, Правительства Российской Федерации и журналисты.

Основная цель премии «За верность науке» – выявление и поддержка проектов, направленных на популяризацию научных достижений, повышение престижа профессиональной научной деятельности в России и развитие профессиональной научной коммуникации. Ежегодно премию вручают лучшим ученым, журналистам, просветителям, медиапроектам, фотографам и представителям бизнеса, занимающимся популяризацией научного знания.

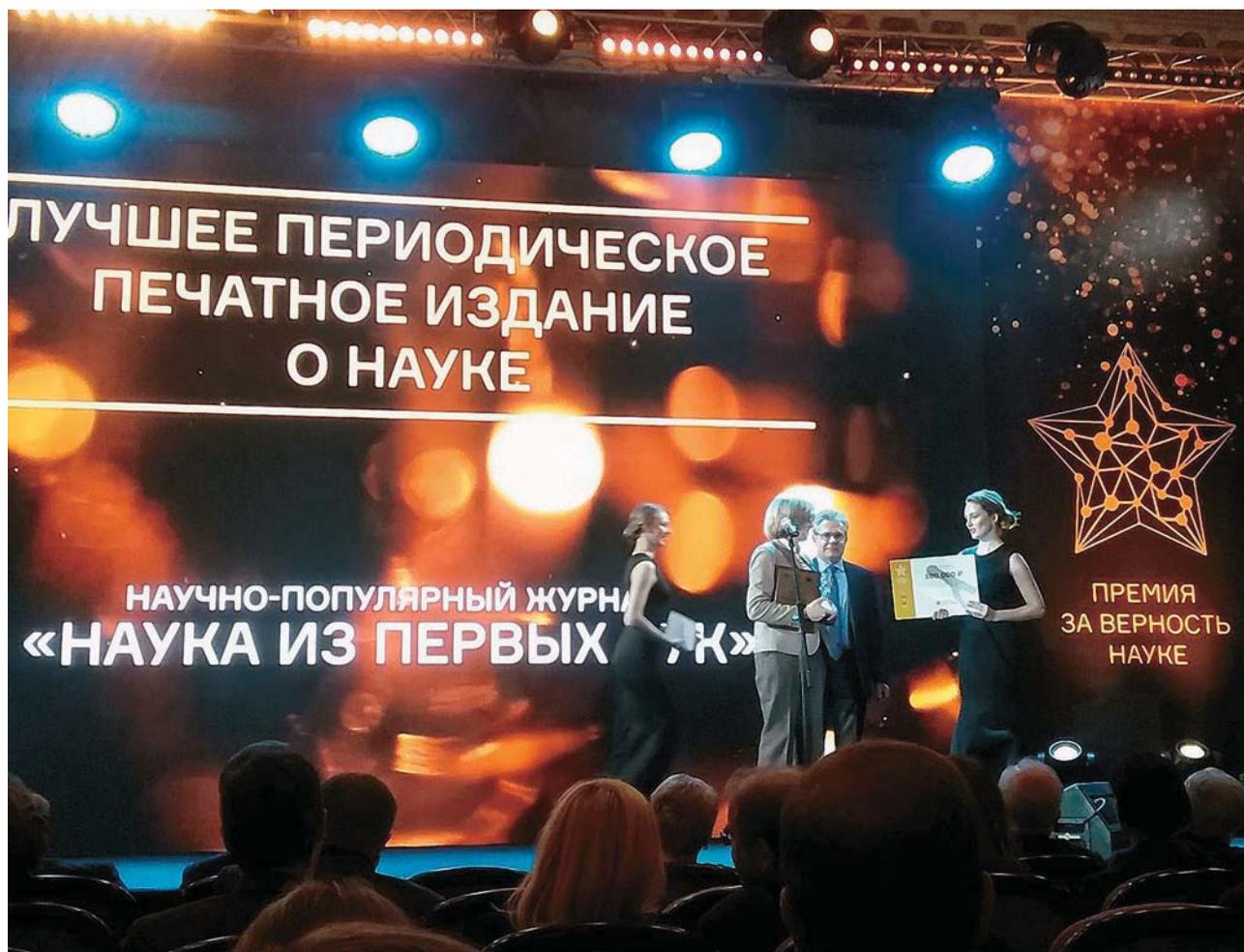
В жюри премии традиционно входят известные ученые, популяризаторы науки, деятели культуры и образования. В этом году среди тех, кто отбирал победителей, были президент РАН академик Александр Сергеев, директор Эрмитажа академик Михаил Пиотровский, ректор МГУ им. М.В. Ломоносова академик Виктор Садовничий и другие выдающиеся ученые России.

Научно-популярный журнал «НАУКА из первых рук» победил в номинации «Лучшее периодическое печатное издание о науке». На торжественной церемонии в Министерстве образования и науки России «звездную награду» Лидии Панфиловой, ответственному секретарю журнала и директору издательства «ИНФОЛИО» вручил президент Российской академии



В январе 2004 г. увидел свет первый пилотный номер «НАУКИ из первых рук», посвященный происхождению и эволюции жизни

Фото вверху – © Агентство городских новостей «Москва»



наук академик А. М. Сергеев. Он напомнил присутствующим о современной злободневной проблеме достоверности информации: «...Мы привыкли к тому, что если есть информация о каком-то серьезном научном достижении, то она достоверная. К сожалению, сейчас это не всегда так. И роль популяризаторов настоящей науки заключается как раз в том, чтобы отделить эти зерна от плевел».

Высокую награду журнал получил в год своего пятнадцатилетнего юбилея. Решение о его учреждении было принято Президиумом СО РАН в мае 2003 г. Бессменным главным редактором нового издания стал академик Н. Л. Добрецов, заместителями главного редактора – академик Э. П. Кругляков и к. г.-м. н. В. Д. Ермаков. Издателем выступило издательство «ИНФОЛИО», которому и принадлежала идея самого журнала. Позднее наряду с СО РАН оно вошло в число учредителей вместе с шестью институтами Сибирского отделения РАН.

В январе 2004 г. увидел свет первый пилотный номер «НАУКИ из первых рук», посвященный происхождению и эволюции жизни. А сама его история началась по-

Президент РАН академик А. М. Сергеев вручает награду журналу «НАУКА из первых рук». *Министерство образования и науки России, Москва, 6 февраля 2018 г.*

лугодом ранее на Денисовой пещере (Горный Алтай) – крупнейшем в России научно-исследовательском полигоне Института археологии и этнографии СО РАН. Именно здесь на междисциплинарном семинаре, посвященном проблемам эволюции и происхождения жизни на Земле, окончательно получил «путевку в жизнь» новый журнал Сибирского отделения РАН в весьма необычном для Академии популярном формате.

Участники этой встречи, известные отечественные ученые из самых разных областей знания: физики, химики, геологи, палеонтологи, биологи, генетики, молекулярные биологи, археологи, – пытались найти общий язык и достигнуть взаимопонимания в одном из самых сложных и спорных фундаментальных вопросов естествознания. Они и стали первыми авторами нашего журнала, а сама тема эволюции – его своеобразной «визитной карточкой».

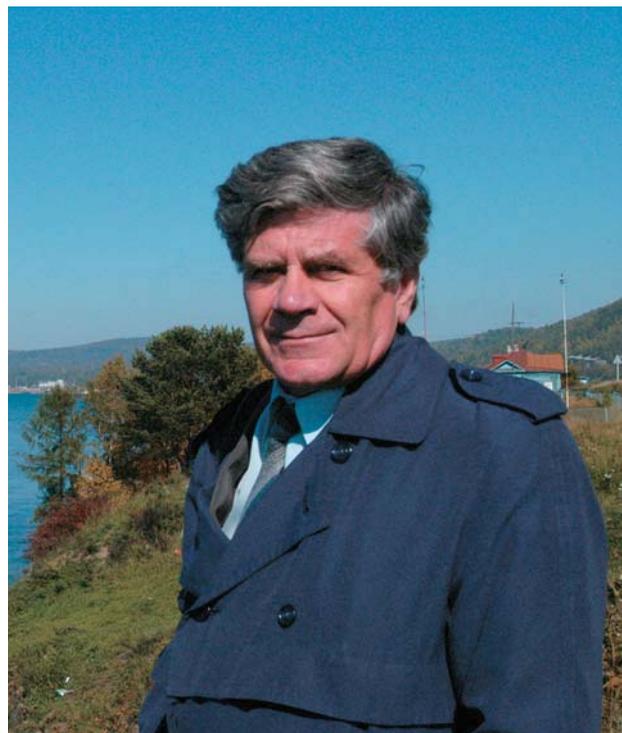


Участники междисциплинарного семинара «Происхождение и эволюция жизни на Земле» – известные отечественные ученые из самых разных областей знания: химики, геологи, палеонтологи, биологи, генетики, молекулярные биологи, археологи, ставшие авторами первых выпусков журнала «НАУКА из первых рук». Научно-исследовательский стационар «Денисова пещера» Института археологии и этнографии СО РАН (Горный Алтай), август 2003 г.

Заместитель главного редактора (с 2003 по 2008 г.) и один из организаторов журнала «НАУКА из первых рук» к. г.-м. н. В. Д. Ермиков

Примечательно, что через несколько лет после этого события в многотысячелетних отложениях Денисовой пещеры были найдены останки ранее неизвестного вида древних гоминид, что стало одним из самых значительных археологических открытий XXI в., во многом перевернувшим наши представления об эволюции человечества. Прорывные результаты палеогенетических исследований денисовца заняли достойное место на страницах журнала.

Особенность журнала отражена в его названии – «... из первых рук», что означает самое активное участие именно ученых в создании контента журнала и, следовательно, их ответственность за достоверность и актуальность материала. Тематика журнала охватывает практически все области человеческого знания. Предпочтение отдается статьям, посвященным междисциплинарным исследованиям.



Несмотря на серьезные трудности последних лет, небольшому коллективу журнала «НАУКА из первых рук» удастся поддерживать неизменно высокий научный и художественный уровень издания, блестящим подтверждением чего и стала всероссийская премия «За верность науке». Заметим также, что среди победителей в десяти номинациях новосибирский журнал оказался практически единственным региональным проектом. Название премии, кстати, также весьма символично: вероятно, именно «верность науке» помогает журналу до сих пор преодолевать все «риффы» на непростом пути научно-популярного издания.

Команда журнала «НАУКА из первых рук» со своим бессменным главным редактором академиком Н. Л. Добрецовым (ведущие редакторы: Лариса Овчинникова, Татьяна Надточий и Анна Мистрюкова) на Международном рабочем совещании по программе РАН «Происхождение и эволюции биосферы». Новосибирск, 2005 г.



Авторы выпусков журнала, посвященных оз. Байкал, сотрудники ЛИИ СО РАН (Иркутск) д. б. н. Е. В. Лихошвай (в центре) и д. б. н. Т. И. Земская (справа) с Л. М. Панфиловой (слева), ответственным секретарем журнала, директором издательства «ИНФОЛИО» (издатель и соучредитель журнала). Международное рабочее совещание по программе РАН «Происхождение и эволюция биосферы». Новосибирск, 2005 г.

Статья печатается в сокращении по: (Молодин В. И. «За верность науке» / Наука в Сибири, № 11(3122), 22 марта 2018)





НАУЧНАЯ МОЗАИКА АКАДЕМИКА ПАРМОНА

Один из первых авторов журнала «НАУКА из первых рук» академик В.Н. Пармон в апреле 2018 г. отмечает свой юбилей. Авторы – это главный капитал нашего журнала, а первые авторы – это та основа, на которой журнал развивался и которая определила выражение его сегодняшнего «лица». В 2004 г. в пилотном выпуске журнала вышли сразу две статьи Валентина Николаевича, посвященные фундаментальным проблемам эволюции: формированию «допланетной жизни» и автокаталитическим процессам, которые могли определять первую абиогенную фазу эволюционного преобразования органического вещества Земли. Эти работы – яркие свидетельства широты и глубины его научных интересов. В этом выпуске журнала коллеги академика Пармона рассказали о некоторых его давних, но важных и интересных научных работах как частях «мозаики» разносторонних интересов ученого

Академики РАН, химик-катализатор В. Н. Пармон и генетик С. Г. Инге-Вечтомов – участники междисциплинарного семинара, посвященного проблеме происхождения и эволюции жизни. 2003 г. Денисова пещера, Алтай





От левитации до естественного отбора катализаторов

*К.х.н. Н.И. Сорокин,
Институт катализа им. Г.К. Борескова
СО РАН, Новосибирск*

*«Многие выбирают область для своей кандидатской диссертации,
а затем продолжают ту же тему, пока не уйдут на пенсию.
Я не разделяю такого подхода. Сам я пять раз менял свою тему...»
А.К. Гейм, лауреат Нобелевской премии*

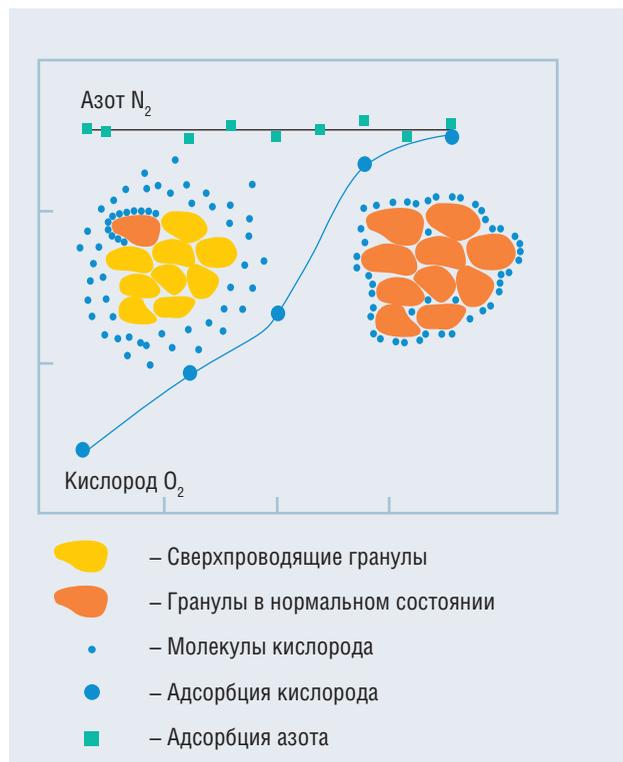
Слова Нобелевского лауреата Андрея Гейма «Я не разделяю такого подхода. Сам я пять раз менял свою тему», вынесенные в эпитаф, можно отнести и к академику Валентину Николаевичу Пармону.

Его деятельность как директора, много лет руководившего крупным институтом, бесспорного лидера сильного научного коллектива, хорошо известна. Вероятно, именно она в эти его юбилейные дни будет основной темой приветствий, статей и частных разговоров, да и в персоналиях будут упоминать преимущественно его заслуги в области основной тематики Института катализа СО РАН. Но одной

ПАРМОН Валентин Николаевич – академик РАН, д.х.н., научный руководитель Института катализа им. Г.К. Борескова СО РАН (Новосибирск), заведующий кафедрой физической химии факультета естественных наук Новосибирского государственного университета. Директор ИК СО РАН в 1995–2014 гг. Председатель СО РАН с 2017 г.

Награжден Орденом Почета (1999), «За заслуги перед Отечеством» IV степени (2007),), медалью Франциска Скорины Республики Беларусь (2009). Лауреат премии за инновации в катализе EFCATS (2005), Государственной премии РФ по науке и технике (2009), международной премии «Глобальная энергия» (2016). Автор и соавтор более 800 научных работ, включая 7 монографий, 7 учебников для вузов и более 100 авторских свидетельств и патентов.

Главный редактор-организатор журналов «Химия в России» и «Катализ в промышленности». Представитель России в Европейской федерации каталитических обществ (EFCATS) и Международной ассоциации каталитических обществ (IACS)



Высокотемпературный сверхпроводник имеет разную адсорбционную способность (величину удельной поверхности в относительных единицах) по отношению к кислороду и азоту. Изменения температуры в интервале 77–96 К не влияют на его способность адсорбировать молекулы азота. Однако при переходе этого адсорбента в сверхпроводящее состояние при понижении температуры молекулы кислорода адсорбируются все хуже и хуже и начинают буквально левитировать над поверхностью. *Из отчета Института катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, 1996 г.*

из черт академика Пармона является разносторонность его научных интересов, и ненаучных тоже. И хотя его разнообразные увлечения достаточно хорошо известны научному сообществу, некоторые давние, но интересные работы могли быть подзабыты.

В багаже каждого научного сотрудника есть такие результаты, которые относятся к разряду «*эффектов*». О них авторы могут говорить долго и с воодушевлением, поскольку то, что получилось, превзошло все ожидания. Такой результат, по крайней мере на некоторое время, с одной стороны, становится предметом гордости автора, а с другой – неподдельного интереса его коллег. О некоторых таких работах Валентина Николаевича, пользуясь сегодняшним поводом, хотелось бы рассказать. Не исключено, что сам автор может быть уже другого мнения об их значимости, в том числе и потому, что его, возможно, уже захватило что-то новое.

Поскольку торжественная дата академика В. Н. Пармона приходится на апрель, а сам он ценит шутки, позволим себе в этой небольшой статье некоторое отступление от строгого академического стиля.

Левитация наяву

У Андрея Гейма и Валентина Николаевича есть нечто общее и помимо легкости в перестройке с темы на тему. Во-первых, оба они выпускники знаменитого Московского физико-технического института. Во-вторых, у них есть работы, касающиеся *левитации*.

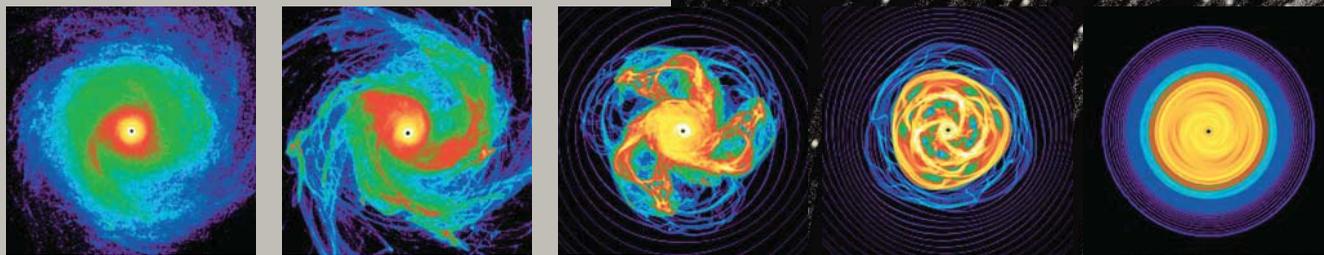
Думается, читателям хорошо известен эксперимент Гейма и Берри, который в свое время вызвал всеобщий живой интерес, и авторы даже получили за это в 2000 г. Игнобелевскую премию с формулировкой «За использование магнитов для демонстрации возможности левитации лягушек». Причиной левитации в этом эксперименте является *индуцированный электронный диамагнетизм*.

Академик В. Н. Пармон с сотрудниками, при изучении свойств высокотемпературных сверхпроводников, в том числе их адсорбционной способности, обнаружили аномалии в адсорбции кислорода и предположили, что причиной этих аномалий могло стать явление левитации парамагнитных молекул над сверхпроводящей поверхностью.

Суть аномалий состояла в том, что количество адсорбированного кислорода, который, как известно, является парамагнитной молекулой, оказывалось в шесть раз меньше при температуре кипения жидкого азота, чем при более высокой температуре, когда адсорбент уже перестает быть сверхпроводником. Было сделано предположение, что к появлению «парящих» над поверхностью молекул кислорода может приводить отталкивание магнитного момента молекулярного кислорода и «магнитного момента изображения».

Хорошей иллюстрацией к этому может служить рисунок известного художника-мультипликатора и карикатуриста С. Тюнина. На нем изображены стоящие рядом перед зеркалом папуаска в набедренной повязке из листьев и представительный тумбообразный господин в строгом костюме. В отличие от папуаски, которая в зеркале отражается как и положено, человек в строгом костюме видит в зеркале собственную спину (!). Для ясности надо сказать несколько слов об этом парадоксе и о спине, только нужно уточнить: разговор пойдет не о «спинё», а о «спине», собственном моменте импульса, и о магнитном моменте электрона.

Если рассмотреть отражение относительно абсолютно проводящей поверхности вращающейся заряженной частицы, которая создает механический момент (спин) и магнитный момент, то окажется, что в результате отражения изменится направление движения частицы



ЖИЗНЬ СОЗДАЕТ ПЛАНЕТЫ?

Ученые давно пытаются ответить на «вечные» вопросы, касающиеся образования планет, происхождения жизни и самого сознания на Земле. Один из ключевых – где, когда и при каких условиях появилось первичное органическое вещество, ставшее основой для всех живых организмов? Есть несколько наиболее распространенных гипотез, намечающих возможные подходы к ее решению. При этом синтез «земных» органических соединений никогда не «привязывался» к процессам возникновения сгустков вещества в протопланетном облаке...

Наша гипотеза «каталитического реактора» в околозвездном диске находится в пограничной области многих дисциплин. Она становится мостиком между физическим, химическим и геологическим этапами эволюции Солнечной системы и Земли. Пока найдены лишь подходы к решению комплекса проблем, касающихся первичного синтеза органического вещества в космических облаках. Далее следует внимательно наблюдать места звездообразования. Для этого требуются наземные установки, орбитальные телескопы... Не менее нужны надежные данные с Марса, Венеры, Титана – спутника Сатурна, из зоны астероидов и метеоритов. Созданная математическая модель еще не гарантирует хорошую точность числа для расчетных величин. Неучтенными остаются важные физико-химические процессы. Но ключевая идея имеет большой потенциал для своего развития.

По: (Снытников В. Н., Пармон В. Н. Жизнь создает планеты. «НАУКА из первых рук». 2004. № 0(1). С. 20—31)

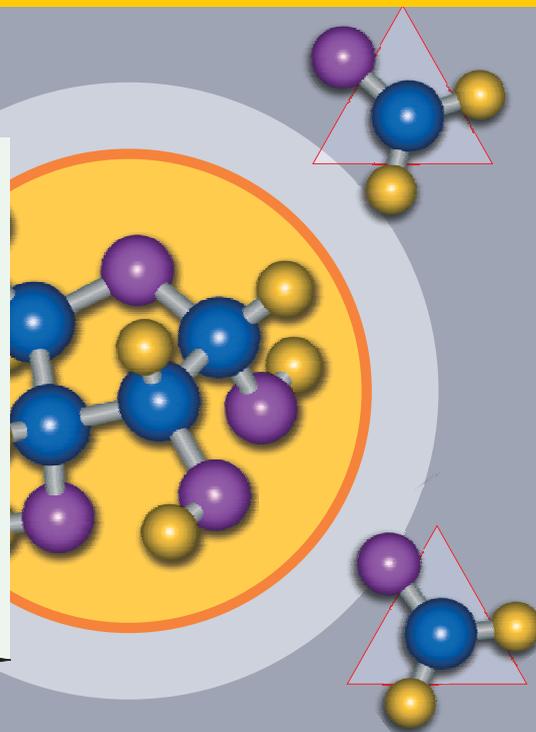
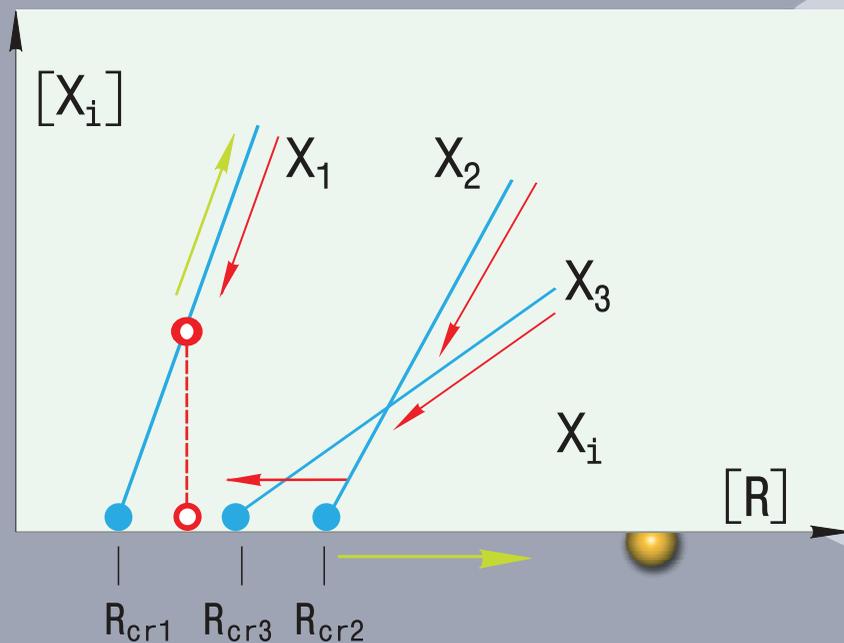
относительно плоскости, а проводящая поверхность создаст заряд изображения противоположного знака. Если вернуться к рисунку художника, то можно сказать, что результатом будет то, что папуаска перейдет в своего левого двойника, а в зеркале будет видна «спина» господина, стоящего к зеркалу лицом. Иначе говоря, при таком отражении проекция спина изменится, а магнитного момента сохранится. Поскольку два одинаковых магнитных момента в результате взаимодействия будут отталкиваться как два одинаковых полюса магнита, это может привести к левитации парамагнитных молекул.

Динамика волн плотности в газопылевом диске вокруг звезды. Компьютерное моделирование. По: (Снытников, Пармон, 2004)

Согласно гипотезе космического каталитического реактора, планеты формируются через накопление межзвездной пыли в диске. Столкновение пылинок приводит к их слипанию, а увеличение массы и размера частиц твердой фазы способствует их удержанию в диске. Рост пыли ограничивается примерно на метровом диаметре. Тела этих размеров совершают несколько оборотов вокруг протозвезды до столкновения между собой. На этой стадии поток газа на протозвезду фильтруется через слой относительно редко сталкивающихся тел. Органические соединения синтезируются из простых молекул, масса вещества в диске локально нарастает. Крупные тела, планетезимали, образуются благодаря развитию коллективной неустойчивости движения многих мелких тел. Из многокилометровых планетезималей создаются современные кометы, метеориты и планеты

Здесь следует указать на разницу в постановке задачи в экспериментах Пармона и Гейма. В экспериментах с лягушкой диамагнетиком является лягушка, а магнитное поле создается мощным магнитом. В экспериментах же с адсорбцией диамагнетиком является высокотемпературный сверхпроводник, а маленькими магнетиками выступают парамагнитные молекулы кислорода.

Подобное *отталкивающее взаимодействие* на молекулярных расстояниях при низких температурах может быть сравнимо по величине с энергией теплового движения молекул. В результате вместо ожидаемого



Зависимость стационарной концентрации автокатализаторов (X) от концентрации субстрата «пищи» $[R]$. При уменьшении в системе концентрации пищи до некоторого значения восстановить свою «численность» при улучшении пищевых условий сможет только автокатализатор X_1 с наименьшим значением «критической концентрации» пищи $[R]_{cr1}$. По: (Пармон В.Н. *Естественный отбор среди молекул*. «НАУКА из первых рук». 2004. № 0(1). С. 32—41)

«прилипания» молекул кислорода к поверхности наблюдается их левитация над сверхпроводящими зонами адсорбента. При температурах выше температуры сверхпроводящего перехода, когда адсорбент находится в нормальном состоянии, вся его поверхность покрывается молекулами кислорода, и в этом случае его адсорбционные свойства одинаковы по отношению как к молекулам кислорода, так и к тому же азоту.

Эти и другие подобные результаты важны для описания взаимодействия высокотемпературных сверхпроводников с различными радикалами и другими парамагнитными частицами.

Универсальный СВС

Следующий элемент «научной мозаики» – *селективные сорбенты воды (СВС)* – многофункциональный материал, в создании которого академик Пармон принимал самое непосредственное участие.

СВС представляет собой композитный сорбент на основе пористой матрицы, поры которой заполнены

гигроскопичным веществом. Пористая матрица выбирается исходя из планируемых условий применения: это может быть и силикагель, и окись алюминия, или углерод-углеродный пористый материал, аэрогель и т.п. Наполнителем служат неорганические соединения, легко образующие кристаллогидраты с большим координационным числом: соли щелочных и щелочно-земельных металлов. Свойства СВС, определяющие их уникальность, обусловлены обыкновенными процессами сорбции-десорбции молекул воды в порах.

По сравнению с широко используемыми промышленными осушителями СВС характеризуются на порядок большей механической прочностью, в 2,5–3,0 раза большей сорбционной емкостью, а также способностью регенерировать при невысокой температуре. Уже в конце 1990-х гг. стали выпускаться опытные партии СВС для глубокой осушки газов. Также были разработаны сорбенты, обратимо поглощающие углекислый газ.

Применение СВС может быть самым разнообразным: от получения пресной воды из атмосферы в засушливых районах и аккумуляирования так называемого низкопотенциального тепла до создания теплозащитных покрытий и влагопоглощающих стелек для обуви. Наконец, селективные сорбенты воды могут стать незаменимыми в быту при различных ремонтных и строительных работах. Например, СВС-ткань выдерживает кратковременный нагрев бытовой газовой горелкой без существенного нарушения структуры волокна. Рука, защищенная этим пористым материалом, даже не почувствует жара.

Меньше потребности – больше шанс на выживание

Академик В. Н. Пармон предложил одну из самых простых, вероятно, мыслимых кинетических схем, в которых в химической системе возникает естественный отбор молекул. Модель состоит из двух процессов: обратимой реакции взаимодействия катализатора с субстратом, который можно назвать пищей, и с удвоением концентрации самого катализатора как продукта этой стадии. Этот катализатор может в другой реакции превращаться в некоторый конечный продукт, который не претерпевает никаких дальнейших превращений.

Формальный анализ такой кинетической схемы показывает, что концентрация продукта в системе растет линейно, пересекаясь с осью координат, соответствующей концентрации пищи в некоторой ненулевой точке.

Представим себе теперь гомогенную систему, содержащую одновременно молекулы-автокатализаторы разных типов, не взаимодействующие между собой, но образующиеся в ходе химических реакций с одним и тем же субстратом-пищей. Если внести внешнее дополнительное условие, согласно которому свойства автокатализаторов будут меняться (говоря языком биологии, *мутировать*), то в такой системе возможно возникновение явления однонаправленного естественного отбора катализаторов. И это закономерно будет приводить к закреплению благоприятных свойств.

Явление естественного отбора катализаторов, предложенное академиком Пармоном, можно описать как результат последовательного, одного за другим, вымирания автокатализаторов. С точки зрения химика, это выглядит как падение стационарной концентрации конкретного автокатализатора до строгого нуля. Причина в том, что каждый из этих катализаторов может воспроизводиться только при определенной концентрации субстрата, которая определяется индивидуальной реакционной способностью или какими-либо другими свойствами катализатора.

Даже если впоследствии концентрация «пищи» возрастет, восстановление «популяции» вымерших автокатализаторов будет невозможно из-за отсутствия соответствующей заправки. Поэтому такой отбор имеет строго однонаправленный характер, способствующий выживанию только тех автокатализаторов, у которых критическая концентрация субстрата наименьшая. Другими словами, выживают автокатализаторы с самыми скромными потребностями.

Таким образом, в ходе естественного отбора молекул происходит своеобразное закрепление благоприятных признаков, выражающееся в сохранении и размножении случайных модификаций. Возможность закрепления таких свойств в простых химических системах, не имеющих в своем составе носителей

биологической информации типа ДНК, имеет принципиальное значение для создания мыслимых сценариев зарождения жизни.

Научные увлечения академика В. Н. Пармона можно перечислять долго. Это и солнечная энергетика, и использование возобновляемого сырья, и топливные элементы... Общий интерес вызывали и вызывают его работы в области фотокатализа, которые особенно важны для описания гетерогенной химии атмосферы. К примеру, так ли страшны фреоны, если учитывать возможность их фотокаталитического разложения на естественных природных аэрозолях, образующихся из минералов земной коры? Ответы на этот и подобные вопросы можно найти в работах Валентина Николаевича, которые, думается, будут и в дальнейшем охватывать самые различные области и научно развиваться.

Как превратить метан в ароматические углеводороды

*Д.х.н. А.Г. Степанов,
Институт катализа им. Г.К. Борескова
СО РАН, Новосибирск*

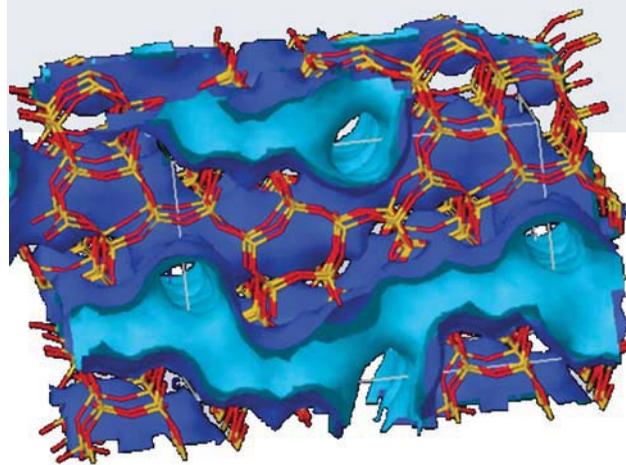
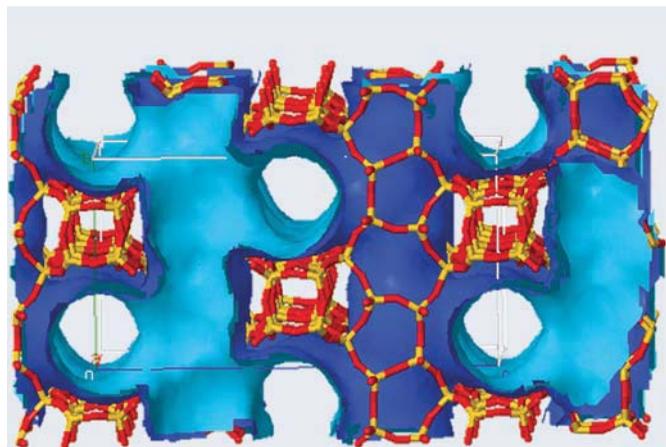
О том, как новосибирские химики под руководством академика Пармона разработали очень элегантный, экономичный и чрезвычайно полезный способ получения из метана, очень химически инертного простейшего углеводорода, ценных химических соединений, широко используемых в химической промышленности и при производстве высокооктанового бензина

Метан (CH_4) – основной компонент природного газа, и его запасы на нашей планете огромны. Однако из-за химической инертности этого простейшего углеводорода его трудно превращать в более ценные высокомолекулярные углеводородные соединения, например, в *ароматические углеводороды*, молекулы которых содержат одно или несколько бензольных

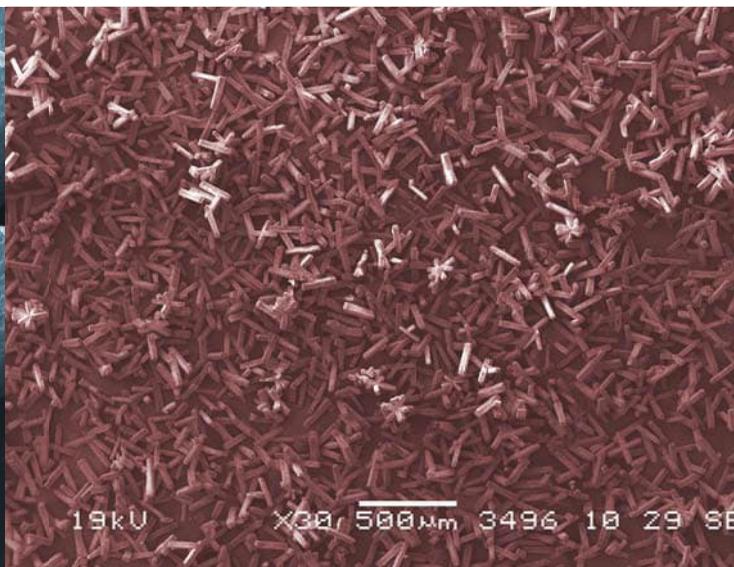
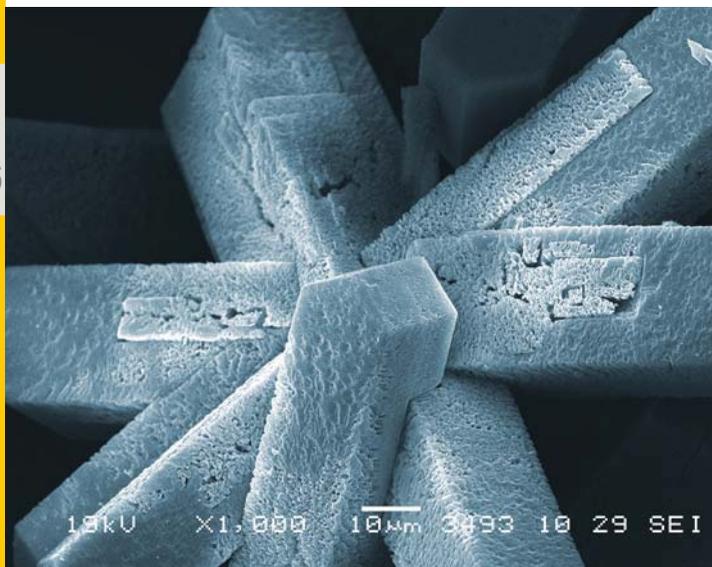
На рисунке схематично представлена система каналов в кристаллах цеолитов, используемых при совместной ароматизации метана и пропана (размер пор соизмерим с размером превращаемых молекул, т. е. составляет несколько ангстрем). Разный размер каналов подразумевает, что в них могут адсорбироваться и реагировать молекулы алканов различного размера, образуя разные ароматические соединения

колец. Эти химические соединения сегодня широко используются в качестве высокооктановых добавок к моторным топливам и как сырье для производства разнообразных полимерных материалов, а также технического углерода, графита и графитового волокна. Известный способ синтеза ароматических соединений из метана в неокислительных (без участия кислорода) условиях с использованием *цеолитных* катализаторов может работать только при высоких температурах и давлениях, причем с низким выходом целевого продукта.

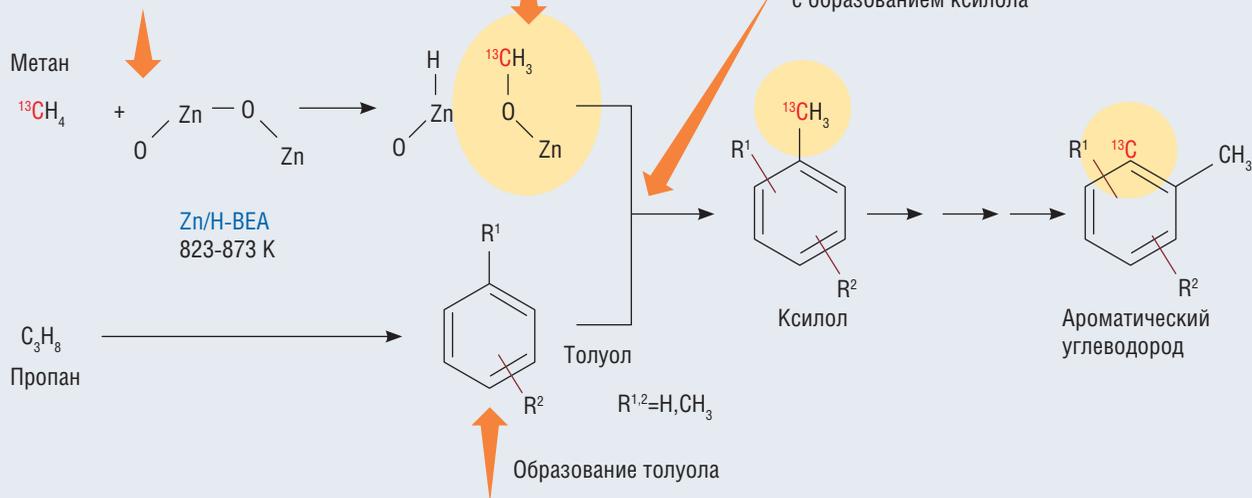
Проблемой разработки более рационального, с меньшими энергетическими затратами способа ароматизации метана в начале 2000-х гг. заинтересовался академик В. Н. Пармон, который в течение нескольких лет преподавал курс химической термодинамики на факультете естественных наук Новосибирского государственного университета. Основываясь на термодинамических оценках неокислительной конверсии метана в ароматические углеводороды, он сделал вывод, что ее можно вести при значительно более низких температурах, если при этом будет присутствовать *алкан* (насыщенный углеводород) с большей молекулярной массой, например, *пропан* (C_3H_8).



Кристаллы цеолитов, используемых для процесса ароматизации пропан-метановых смесей



Метан диссоциативно адсорбируется на ZnO



При совместной ароматизации метана и пропана на цинк-модифицированном цеолите Zn/H-BEA происходит ряд процессов. При ароматизации пропана образуются ароматические углеводороды, например, толуол. Далее образовавшийся толуол взаимодействует непосредственно с метаном – происходит алкилирование толуола метаном с образованием ксилола. Механизм этого взаимодействия заключается в том, что метан сначала диссоциирует на цинкоксидных частицах, находящихся в порах цеолита, образуя метоксильные частицы Zn-O-CH_3 . Метоксил, в свою очередь, непосредственно взаимодействует с толуолом, образуя ксилол. В результате углерод метана в качестве составного блока включается в структуру образовавшейся ароматической молекулы. По: (Parmon, et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2008. V. 47. P. 4559)

Иницированное им в новосибирском Институте катализа имени Г. К. Борескова СО РАН исследование ароматизации метан-пропановой смеси на цеолитных катализаторах, содержащих цинк, действительно показало заметное увеличение выхода целевых продуктов. Однако оставалось неясным, служат ли молекулы метана строительными блоками при образовании ароматических углеводородов, или они выполняют в этом процессе иную роль.

Чтобы проверить, внедряется ли метан непосредственно в продукты ароматизации пропана, В. Н. Пармон предложил пометить его изотопом углерода ^{13}C . С помощью ЯМР-спектроскопии и хромато-масс-спектрометрии было однозначно установлено, что метан действительно включается в структуру конечных продуктов, образующихся при совместной ароматизации пропана и метана. Результат этого фундаментального исследования был опубликован в престижном журнале прикладной химии *Angewandte Chemie* в 2008 г. Рецензенты статьи отметили «чрезвычайную важность» этой работы» и поблагодарили «за ясное и всем понятное доказательство внедрения $^{13}\text{CH}_4$ в углеводороды

на цеолитном катализаторе», а также отметили актуальность работы для прояснения возможности совместной ароматизации метана в будущих химических процессах, которая обсуждается «в мировом научном сообществе в весьма противоречивом виде».

В рамках исследований по внедрению метана в ароматические углеводороды академик Пармон также инициировал работы по изучению возможных механизмов активации метана на цинк-модифицированных цеолитах. В перспективе такие катализаторы могут быть использованы для окисления метана кислородом воздуха и превращения его в *метанол* (CH_3OH), простейший одноатомный спирт, который служит важнейшим сырьем для химической промышленности, в первую очередь для органического синтеза.

Редакция благодарит д. х. н., профессора РАН Д. В. Козлова и Е. Б. Никифорову (ИК СО РАН, Новосибирск) за помощь в подготовке публикации



Сегодня мы представляем вниманию читателей статьи, подготовленные на основе публичных лекций известного археолога, молодого молекулярного биолога и практикующего специалиста-андролога. Но прочитали они их не где-нибудь в университете или библиотеке, а в барах новосибирского Академгородка. 25 февраля 2018 г. наши ученые «зашли в бар» не просто так, а в рамках так называемого сайнс-бар-хоппинга, когда в популярных местных барах выступают активные исследователи и популяризаторы науки и технологий. Как известно, во время бар-хоппинга (от англ. *bar-hopping*, – «прыгающий по барам»), иначе называемого дринк-марафоном, публика собирается в выходные в стартовом баре и затем передвигается по маршрутам, обозначенным в Интернете, знакомится, общается, таким образом обходя за ночь пять-десять заведений независимо от сезона и погоды. Главное здесь – настроение. Приставка «science» добавляет этому популярному столичному мероприятию неожиданную глубину, позволяя не просто отдохнуть и расслабиться со стаканом лимонада в руках, но и с легкостью и удовольствием пополнить свой багаж знаний об окружающем мире. Большой плюс такого общения и в том, что в научном марафоне компанию вам могут составить ваши дети. Сам же докладчик доступен для любых, самых каверзных вопросов, а за лучший вопрос полагается приз. Знаменитая актриса Фаина Раневская как-то написала, что «все приятное в этом мире либо вредно, либо аморально, либо ведет к ожирению». Научный бар-хоппинг в этом смысле – приятное исключение



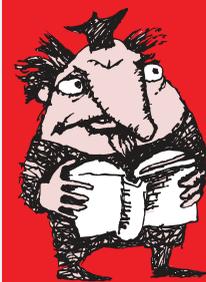
Учиться сегодня можно везде

Школы и университеты теряют монополию на распространение знаний, а научную лекцию в баре или пабе уже нельзя считать чем-то неожиданным.

«Научный бар-хоппинг» можно рассматривать как новую форму самообразования. Первое такое мероприятие в Сибири, названное «Ночь научных историй», состоялось 29 октября 2017 г. при большом стечении народа, а его организатором стала команда фестиваля EUREKA! FEST. Вдохновителем новосибирской акции стал г. Санкт-Петербург, где в 2016 г. впервые прошла «Ночь науки» в рамках германо-российского BarCamp – конференции популяризаторов науки из России и Европы, организованной компанией «Бумага Медиа».

Как устроена новосибирская «Ночь научных историй»? В один и тот же вечер одновременно на нескольких площадках в барах и пабах специалисты из разных областей науки рассказывают что-то интересное, важное и полезное. Лекция длится около получаса, а затем присутствующие в течение еще 15 минут задают вопросы. Затем объявляется перерыв, достаточный, чтобы участники при желании смогли сменить площадку.

Для подготовки площадок нам потребовалось привлечь дополнительную звукоусиливающую технику и проекционное оборудование (проектор и экран оказались предпочтительнее телевизора-плазмы), а также технически подкованного координатора. Единственным пожеланием от хозяев площадок было сдвинуть образовательную акцию с изначально предложенной пятницы, когда бары и так полны посетителями, на воскресенье. В результате вечер воскресенья оказался в барах даже более многолюдным, чем традиционная «хмельная пятница».



Анекдот в тему:

«Заходит как-то бесконечное количество математиков в бар. Первый подходит к бармену и говорит: “Мне половину кружки пива”. Потом второй: “Мне половину от того, сколько налили первому”. Третий: “А мне половину от того, сколько налили второму”. Четвертый: “А мне половину от того, сколько налили третьему”. И так далее... Бармен: “Я тоже математик, вот вам одна кружка пива на всех»»





Со спикерами в новосибирском Академгородке, как и ожидалось, больших проблем не возникло. Новосибирский государственный университет, более двух десятков научно-исследовательских институтов и Технопарк предоставляют богатейший выбор интересных лекторов. Их набор длился примерно две недели. Каждый из лекторов заполнял в гугл-доке анкету, важным пунктом которой был вопрос «Почему вы считаете, что об этом важно знать человеку 18–35 лет?». Главными критериями при выборе докладчиков стало умение зажигательно и понятно рассказывать непростые вещи и наличие темы, сочетающей познавательность и важность.

Регистрация желающих посетить научный бар-хоппинг была организована на платформе *timepad.ru*. В результате 820 посадочных мест были разобраны за два с половиной дня! Вход на лекции был бесплатным, что имело, правда, и свою негативную сторону. Некоторые участники, мучаясь с выбором, регистрировались сразу на нескольких площадках, а отказаться от такой регистрации можно было только «пакетом». Из-за ажиотажного спроса это не повлияло на заполнение лекционных площадок, однако в будущем такую проблему, вероятно, стоит решать введением умеренной платы за первую лекцию и вручением браслета-пропуска для



входа на последующие, как это уже сделали в Санкт-Петербурге.

Первая «ночь» прошла с аншлагом: практически на всех площадках не хватило посадочных мест. По результатам анкетирования организация и содержательность акции были оценены участниками в среднем на пятерку по шестибальной шкале. Участникам понравились как сам необычный формат, так и разнообразие тем. Следующая «Ночь научных историй» успешно прошла в феврале 2018 г., и ее инициаторы пообещали, что она не будет последней.

*Александр Дубынин,
соучредитель Фонда
«Академгородок» (Новосибирск),
директор фестиваля науки
EUREKA! FEST*

По: (<https://echo.msk.ru/blog/metkere/2089260-echo/>)



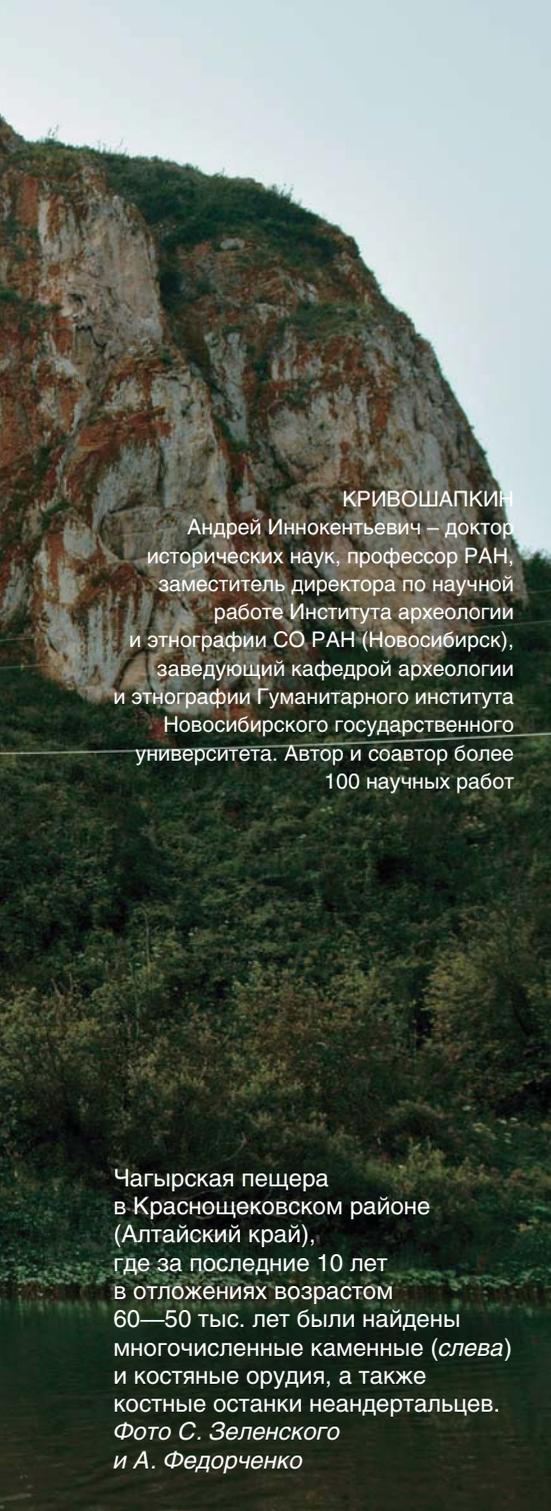
Фото А. Танюшина (Новосибирск)



ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА: борьба за неандертальское НАСЛЕДСТВО



Многие, наверное, хоть раз задумывались о том, что такое современный человек, как он появился на свет и чем отличается, к примеру, от неандертальца или питекантропа. Настоящей сенсацией, радикально изменившей наши представления о происхождении человека и перевернувшей теорию антропогенеза, стали недавние находки ископаемых антропологических останков на Горном Алтае, палеогенетическое исследование которых открыло новую главу в истории становления человека современного типа



КРИВОШАПКИН

Андрей Иннокентьевич – доктор исторических наук, профессор РАН, заместитель директора по научной работе Института археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск), заведующий кафедрой археологии и этнографии Гуманитарного института Новосибирского государственного университета. Автор и соавтор более 100 научных работ

Чагырская пещера в Краснощековском районе (Алтайский край), где за последние 10 лет в отложениях возрастом 60—50 тыс. лет были найдены многочисленные каменные (слева) и костяные орудия, а также костные останки неандертальцев. Фото С. Зеленского и А. Федорченко

Ключевые слова: эволюция человека, человек современного типа, полицентризм, моноцентризм, палеогенетика.

Key words: human evolution, anatomically modern humans, multi-regional theory of human origin, "Out-of-Africa" theory, ancient DNA

© А. И. Кривошапкин, 2018

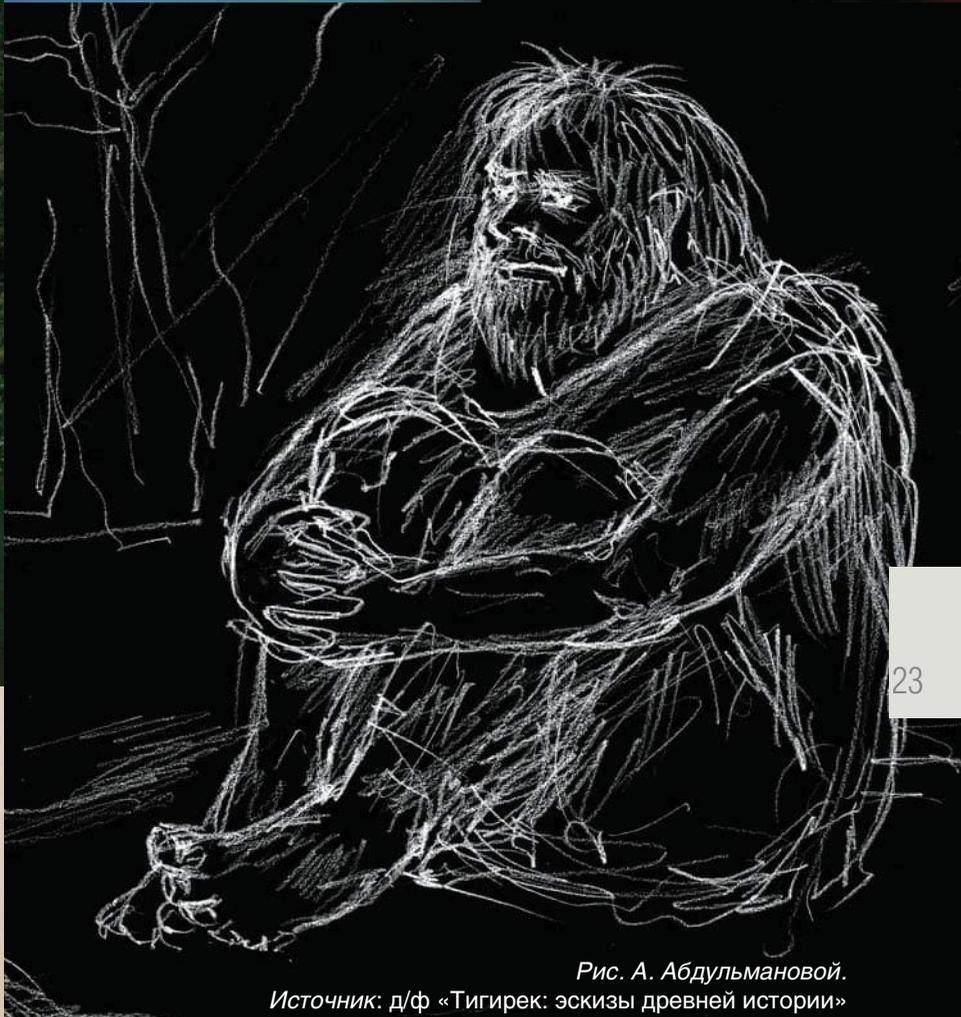


Рис. А. Абдульмановой.

Источник: д/ф «Тигирек: эскизы древней истории»

Еще не так давно и в солидных научных изданиях, и в школьных учебниках эволюция человека рассматривалась как единое поступательное движение на пути к венцу развития – человеку современного типа. В самом низу этой родословной «линии» – *австралопитеки*, еще даже не люди, но уже обезьяноподобные «товарищи», уверенно шагнувшие в сторону *Homo sapiens*.

Первым «настоящим» человеком, по сути, признавался африканский человек умелый (*Homo habilis*), уже почти красавец по нашим меркам, чьи останки впервые были обнаружены супругами Лики в танзанийском ущелье Олдувай в 1960 г. Считается, что именно этот первобытный человек первым начал применять орудия труда, чтобы изменять мир под себя, в отличие от всех своих предшественников, которые к этому миру приспособивались.

Далее, согласно этой стройной теории, человек умелый по разному роду причин постепенно эволюционировал, становясь все умнее и красивее, пока не превратился в *питекантропа*. И хотя в переводе



Говорят, что до сих пор есть племена, которые не научились добывать и использовать огонь. До какой ступени развития они могут дойти? Мог ли человек выжить без огня?

Выжить без огня в условиях Сибири, пожалуй, нельзя, но где-нибудь в Африке – почему нет? До какого-то эволюционного этапа человек мог вполне существовать без огня. У нас есть свидетельства, что люди, стоящие на более высоких ступенях развития (денисовцы, неандертальцы), скрещивались с представителями очень архаичного человечества, например, эректусами, которые, возможно, и не пользовались огнем. И все это происходило во вполне обозримом историческом прошлом. Вероятно, к тому времени эти первобытные люди могли сохраниться в каких-то изолированных местообитаниях, на островах, а потом либо влиться в общий человеческий «коллектив», либо исчезнуть. Но не думаю, что на данный момент существуют племена, не использующие огонь



это слово все равно звучит как «обезьяночеловек», предполагается, что он уже в буквальном и переносном смысле хорошо встал на ноги, за что был назван *Homo erectus* (человеком прямоходящим), занимавшимся охотой и вообще развивавшимся во всех направлениях.

Именно эректус и начал победное шествие по всей территории старого мира. В Европе он эволюционировал до *неандертальца*



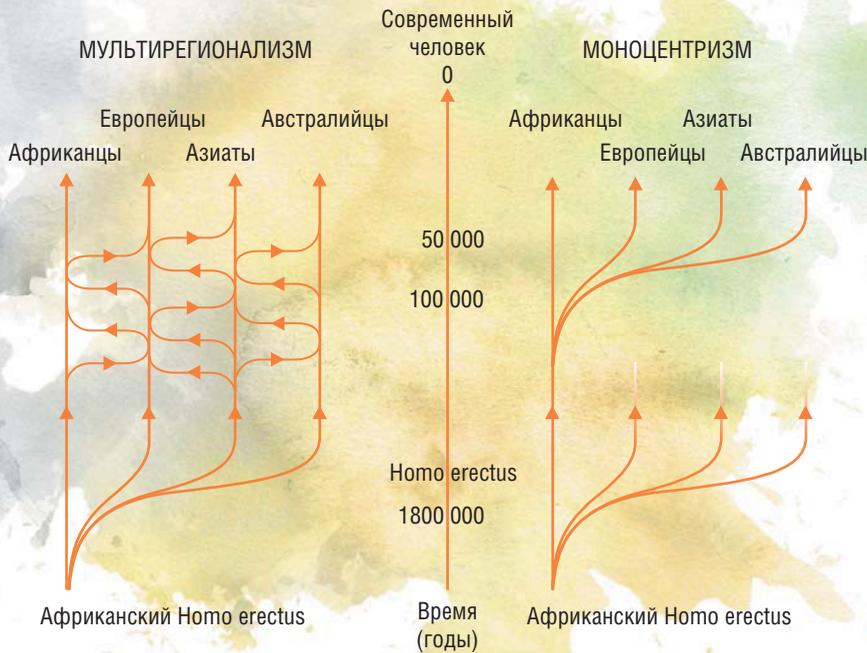
Рис. А. Абдульмановой. Источник: д/ф «Тигирек: эскизы древней истории»

От простого к сложному

Когда «прямолинейный» подход к эволюции человека сменился на комплексный «древовидный», последний, в свою очередь, породил несколько точек зрения. Согласно одной из них, менее радикальной, человек действительно впервые появился в Африке, но очень рано ее покинул и расселился по разным территориям, где пошел и развивался сам по себе, независимо от других. Ученые, придерживающиеся этой *мультирегиональной гипотезы*, как правило, самые маститые специалисты, опирающиеся на данные «традиционных» научных дисциплин (палеоантропологии и археологии).

В последнее время широкое распространение получила вторая теория, согласно которой все люди «out of Africa». По *моноцентрической теории* «черный континент» не только является родиной древнейшего населения планеты, но и все последующие волны миграции также исходили отсюда, включая и человека современного типа, который также появился впервые именно в Африке и лишь впоследствии заселил территории Евразии, смешиваясь с местными аборигенами, проживающими там на тот момент.

Мультирегиональная точка зрения сейчас подтверждается археологическими данными, согласно которым практически в каждом регионе мы видим постепенное, поступательное развитие материальной культуры древнего человека. А вот моноцентрическую теорию поддерживают данные естественных наук, прежде всего палеогенетики. Но истина, как всегда, должна быть где-то посередине. В любом случае все ученые сходятся во мнении, что человечество зародилось в Африке. Наличие «африканской колыбели» подтверждается как антропологическими, так и археологическими



Теория происхождения и эволюции человека в свою очередь тоже эволюционировала. Простую «линейную» модель сменили две «древовидные». Мультирегиональная модель (слева) предполагает независимое формирование современного человека в разных регионах планеты, а моноцентрическая (справа), базирующаяся на изучении древней ДНК, настаивает на его африканском происхождении при ограниченном скрещивании с архаичными людьми. По: (Gibbons, 2011)

(*Homo neanderthalensis*), знакомого многим как симпатичный, хотя и слегка неуклюжий, парень. Неандертальцы настолько хорошо прижились в Европе, что с течением времени развились в человека современного типа. Считалось, что это судьбоносное событие произошло около 40 тыс. лет назад. Новый игрок на эволюционной арене постепенно вытеснил с нее всех остальных и сам успешно освоил свободные территории, добравшись и до американского континента.

Такая теория развития человека существовала вплоть до конца XX в., на ней выросли все современные исследователи, изучающие наше древнейшее прошлое. Но потом стали появляться данные, которые не укладывались в эту стройную картину. Например, на Ближнем Востоке нашли ископаемые останки человека вроде современного типа, но возрастом 90 тыс. лет. Откуда они там взялись?

Таких «подозрительных» первобытных людей, которых стали находить не только на Ближнем Востоке, но и в других частях света, стали называть «продвинутыми неандертальцами», относя их к непосредственным предшественникам современных людей. Но самое важное открытие было сделано с развитием *палеогенетики*, которая начала изучать ископаемую ДНК. Выяснилось, что наш с вами подвид человека сформировался не 40 тыс. лет назад: этот процесс шел последние 200 тыс. лет и совсем не так просто, как принято было считать.



Если принять наше африканское происхождение, то получается, что все основные генетические волны формировались именно в Африке. Что было причиной этих миграций?

Африку еще называют «котлом»: здесь были хорошие условия для размножения. А что потом? Есть такие понятия, как экологическая ниша и демографический взрыв. Когда человеческая популяция долгое время живет на одном месте, то она исчерпывает его ресурсы, тем более если эта группа людей не производит, а только потребляет. Конечно, первобытные люди не собирались покорять Евразию, о которой и понятия не имели. Они просто шли туда, где им было лучше, что хорошо видно по стоянкам, отмечающим путь их передвижения. Все они расположены в местах со знакомыми им экологическими условиями, рельефом и т. п. То же самое явление было обнаружено и на Ангаре при изучении памятников неолита. Если копать там речной берег, то на протяжении километров будут вновь и вновь попадаться стоянки охотников, которые перемещались вдоль берега по мере того, как ресурсы местного участка истощались



первичного расселения человеческой популяции.

Следующее массовое расселение людей за пределы Африки состоялось намного позже (около 400—500 тыс. лет назад) и было связано с развитыми формами человека прямоходящего, более известного нам как «питекантроп». В этот раз люди добрались до еще более далеких областей Евразии, включая Сибирь. Именно с такой волной мы сегодня связываем настоящий расцвет в производстве каменных орудий и навыках охоты на животных. Эти первобытные люди, уже имевшие одежду и жилища, были хорошо приспособлены к выживанию в условиях среды, намного более суровых, чем африканские.

Понятно, что деление человеческих «исходов» на первую и вторую волну – это условность. Таким способом мы просто стремимся выделить наиболее значимые события.

Открытие «третьего человека»

Как уже было сказано, первые свидетельства заселения Алтая человеком датируются примерно возрастом около 800 тыс. лет. Затем идет значительный «перерыв»: судя по всему, в период 600—300 тыс. лет назад на Алтае и в целом в Западной Сибири люди не жили, скорее всего, из-за не слишком ласкового климата. Возможно, что человеческая популяция, обитавшая тогда в этих широтах, была небольшой и могла исчезнуть в результате действия биологических законов.

Следующий точно известный «форпост» человека на Алтае – Денисова пещера. Самые нижние древние слои отложений на этом памятнике датируются возрастом около 300 тыс. лет, т. е. относятся ко второй глобальной волне миграции человека. С этого времени вся территория Алтая активно и успешно осваивалась человеком.

данными, в том числе находками древнейших каменных орудий труда, возраст которых составляет более 3 млн лет.

По современным представлениям около 2 млн лет назад человек впервые покинул пределы своей африканской родины и вышел на просторы Евразии. Этот шаг действительно сделал первый представитель рода *Homo* – человек умелый, хотя в разных регионах ему зачастую присваивают «местные» имена. Например, останки девяти особей одной из его разновидностей, обнаруженные в Дманиси, в Грузии, отнесли к «человеку грузинскому». Впрочем, основания для этого имеются: многие ученые считают, что дманисийские гоминины в своем развитии уже шагнули от человека умелого к более продвинутому (в морфологическом плане) подвиду *Homo ergaster*.

Постепенно человек все дальше и дальше продвигался по территориям евразийского континента вплоть до северных рубежей. Конечно, речь идет не о направленной миграции и не о толпах, а о небольших группах, которые продвигались от одного местообитания к другому, например, вслед за стадами животных, на которых охотились.

Особо отметим, что до нашего Алтая «докатались» потомки первой волны расселения древних людей, относившиеся к *Homo erectus*. Самые ранние свидетельства пребывания человека на территории Северной Азии были обнаружены недалеко от Денисовой пещеры. Это хорошо датированная первобытная стоянка Карамы возрастом не менее 800 тыс. лет! В 1980-х гг. была предпринята попытка на основе находок, сделанных в Якутии, обосновать возможность более раннего заселения Северной Азии, но якутские артефакты, в отличие от алтайских, до сих пор служат предметом спора. В любом случае теперь мы уверены, что Сибирь была вовлечена в процесс

Именно с Денисовой пещерой связаны поистине фантастические находки нового подвида человека, который был назван *денисовцем*, или *человеком алтайским* (*Homo altaiensis*). Исследования в пещере ведутся планомерно и очень тщательно: за годы изучения в пещерных отложениях было найдено множество ископаемых костей различных животных, но антропологические останки были единичны. Среди них и небольшая косточка – дистальная фаланга детского мизинца, обнаруженная в 2008 г. в восточной галерее пещеры в слое возрастом более 40 тыс. лет, т.е. она принадлежит времени предполагаемого перехода от неандертальца к человеку современного типа.

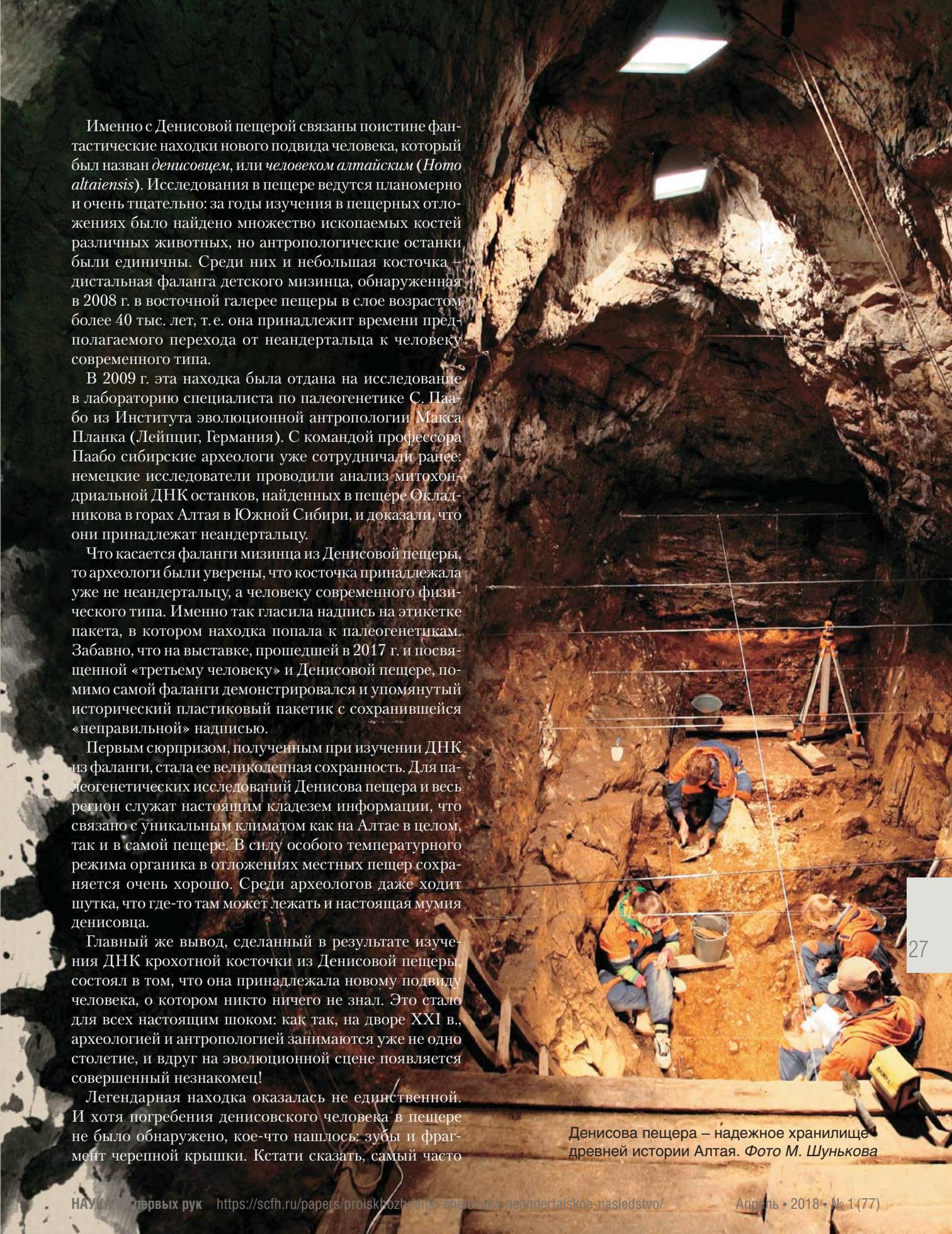
В 2009 г. эта находка была отдана на исследование в лабораторию специалиста по палеогенетике С. Паабо из Института эволюционной антропологии Макса Планка (Лейпциг, Германия). С командой профессора Паабо сибирские археологи уже сотрудничали ранее: немецкие исследователи проводили анализ митохондриальной ДНК останков, найденных в пещере Окладникова в горах Алтая в Южной Сибири, и доказали, что они принадлежат неандертальцу.

Что касается фаланги мизинца из Денисовой пещеры, то археологи были уверены, что косточка принадлежала уже не неандертальцу, а человеку современного физического типа. Именно так гласила надпись на этикетке пакета, в котором находка попала к палеогенетикам. Забавно, что на выставке, прошедшей в 2017 г. и посвященной «третьему человеку» и Денисовой пещере, помимо самой фаланги демонстрировался и упомянутый исторический пластиковый пакетик с сохранившейся «неправильной» надписью.

Первым сюрпризом, полученным при изучении ДНК из фаланги, стала ее великолепная сохранность. Для палеогенетических исследований Денисова пещера и весь регион служат настоящим кладом информации, что связано с уникальным климатом как на Алтае в целом, так и в самой пещере. В силу особого температурного режима органика в отложениях местных пещер сохраняется очень хорошо. Среди археологов даже ходит шутка, что где-то там может лежать и настоящая мумия денисовца.

Главный же вывод, сделанный в результате изучения ДНК крохотной косточки из Денисовой пещеры, состоял в том, что она принадлежала новому подвиду человека, о котором никто ничего не знал. Это стало для всех настоящим шоком: как так, на дворе XXI в., археологией и антропологией занимаются уже не одно столетие, и вдруг на эволюционной сцене появляется совершенный незнакомец!

Легендарная находка оказалась не единственной. И хотя погребения денисовского человека в пещере не было обнаружено, кое-что нашлось: зубы и фрагмент черепной крышки. Кстати сказать, самый часто



Денисова пещера – надежное хранилище древней истории Алтая. Фото М. Шунькова



встречающийся антропологический материал на Алтае – это именно кости пальцев, почему – неизвестно. Может быть, их отмораживали и удаляли, или это было связано с какими-то ритуалами... В любом случае мы постепенно начинаем представлять, как выглядел в действительности наш герой. И пусть это пока фантазия, так как черепа «третьего человека» пока найти не удалось, но нам помогают палеогенетики, которые могут сказать, какого цвета были глаза у денисовцев, какие волосы...

Одной крови

Исследования образцов ДНК из костных останков денисовцев показали, что это была не какая-то небольшая популяция. Судя по генетическому разнообразию, численность денисовцев была даже больше, чем алтайских неандертальцев: по-видимому, в каменном веке именно денисовцы составляли основное население Северной Азии.

Гены денисовцев, как и гены неандертальцев, сегодня обнаружены во многих современных человеческих популяциях. Интересно тот факт, что самое большое

Согласно реконструкциям среды обитания древних людей, 50—70 тыс. лет назад климат Алтая был засушливым и относительно холодным. Основным занятием людей была охота на степных животных, преимущественно бизонов. *Вверху* – челюсть бизона из Чагырской пещеры. *Фото С. Шнайдер*



По находкам из Денисовой пещеры можно ли установить, как уживались между собой денисовцы и неандертальцы? Враждовали ли они, или это было мирное сосуществование?

Судя по тому, какие орудия труда создавали денисовцы, мы можем утверждать, что свидетельств присутствия материальной культуры неандертальцев в Денисовой пещере, скорее всего, нет. Откуда тогда там их кости? Может быть, денисовцы ели неандертальцев (что не исключено) либо вступали с ними в брачные отношения. Что же касается конфликтных ситуаций, то раньше существовала красивая теория, согласно которой люди современного типа, уже со сложившейся культурой, пришли в Европу, но эта территория была обжита неандертальцами, и пришлые мигранты вытеснили местное население. Самые «поздние» неандертальцы были обнаружены как раз на периферии Европы – в Средиземноморье, в Португалии, где они и вымерли окончательно. Было ли это вытеснение принудительным, путем вооруженных конфликтов и войны, сейчас сказать сложно. Однако охотничье снаряжение, имевшееся у людей современного типа, давало возможность убивать себе подобных





Рис. А. Абдульмановой.

Источник: д/ф «Тигирек: эскизы древней истории»



Костяной ретушер – это первый инструмент, который используется для изготовления других орудий. Ретушер из Чагырской пещеры сделан из кости бизона. Фото А. Федорченко

человечества могли скрещиваться между собой, давая полноценное потомство.

В пользу этого утверждения свидетельствуют и другие поразительные находки из Денисовой пещеры. Например, в том же слое, что и найденная фаланга денисовской девочки, была обнаружена ископаемая фаланга пальца ноги, которую предварительно классифицировали как останки денисовского человека. Но палеогенетический анализ показал, что речь идет о неандертальце! А в результате изумительной сохранности этой ДНК впервые в мире удалось восстановить полный геном неандертальца.

Благодаря совместным усилиям археологов, антропологов и палеогенетиков уже сейчас мы знаем, что было несколько «эпизодов» скрещивания между денисовцами и неандертальцами, между неандертальцами и человеком современного типа. Кроме того, изучение палеогенетического материала из Денисовой пещеры показало, что в более позднее (в масштабах каменного века, конечно) время имело место скрещивание с еще более архаичной по происхождению популяцией. Предположительно, это были дожившие в укромных уголках Евразии потомки эректусов.

Помимо этого очень интересного и полного загадок сюжета с межгрупповым скрещиванием сейчас активно

генетическое наследие человека алтайского обнаружено в Меланезии: население Папуа-Новой Гвинеи и аборигены Австралии до 6% своей ДНК унаследовали от денисовцев. С чем это связано, пока загадка, так как между Алтаем и Океанией лежат огромные просторы Китая, а попытки извлечь ДНК из обнаруженных там костных останков пока не увенчались успехом из-за ее плохой сохранности. Поэтому пока невозможно ответить на вопрос, каким образом гены денисовцев оказались сегодня так далеко от Алтайских гор.

Но главное, что дало нам изучение ДНК денисовца, – это понимание, что все первобытные люди, существовавшие на протяжении истории человечества, включая питекантропа и неандертальца, являлись не самостоятельными видами, а подвидами *Homo sapiens*. Это принципиальный момент, так как разные виды при скрещивании не дают фертильное потомство. Судя же по наличию наследия денисовцев и неандертальцев в нашем геноме, все эти представители первобытного



Рис. А. Абдульмановой.
Источник: д/ф «Тигирек: эскизы древней истории»

Зуб неандертальца в культурном слое.
Чагырская пещера. Фото С. Шнайдер



Когда на территории Сибири впервые появился человек современного физического типа?

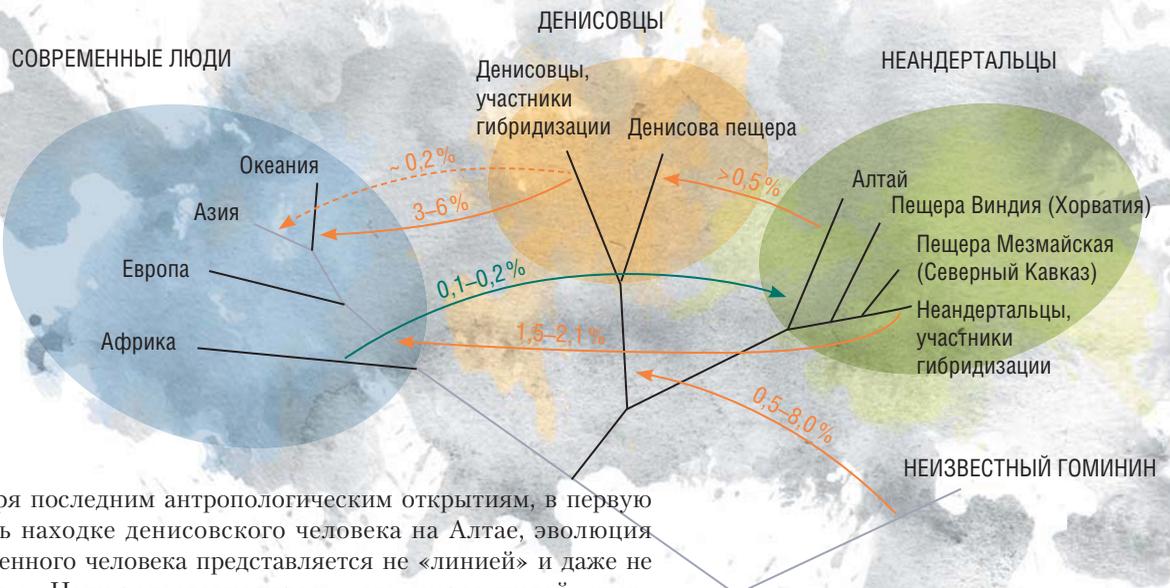
На сегодня мы относительно неплохо изучили культуру «сибирских» неандертальцев и денисовцев, но вот информации по человеку современного типа на Алтае у нас немного. Самая ранняя такая находка на территории Северной Азии – берцовая кость из Усть-Ишима (Омская область), датированная возрастом 45 тыс. лет. Интересный факт: анализ ДНК этой находки свидетельствовал об относительно недавнем скрещивании с неандертальцами, но не показал присутствия генов денисовцев. Возможно, скрещивание с неандертальцами произошло еще в начале расселения исходной человеческой популяции, и случилось это, скорее всего, на территории Ближнего Востока. Но эта находка случайная, никаких сопутствующих артефактов рядом с ней не было обнаружено, поэтому и время первого появления человека современного типа на территории Сибири, и его взаимодействие с денисовцами и неандертальцами пока остаются тайной



уточняется и история появления неандертальцев на сибирских просторах. Недавние открытия в Чагырской пещере, данные повторного анализа антропологических и археологических материалов из пещеры Окладникова, а также результаты анализа ДНК неандертальцев из Денисовой пещеры говорят о том, что и неандертальцы на Алтае были разные, и приходили они сюда не один раз из разных уголков Старого света.

Что же влекло этих древних людей в Сибирь? Как они уживались с человеческими популяциями, укоренившимися здесь ранее? Почему до сих пор на Алтае не обнаружены останки ранних людей современного типа? Неужели те древнейшие предметы палеолитического искусства (подвески, бусины и т. д.), обнаруженные в Денисовой пещере, были также изготовлены денисовцами? Если последнее удастся доказать, это может стать сенсацией еще более резонансной, чем само открытие денисовцев.

Чем больше мы получаем новых данных, тем, с одной стороны, нам становится понятнее наше прошлое, а с другой – это порождает все новые загадки...



Благодаря последним антропологическим открытиям, в первую очередь находке денисовского человека на Алтае, эволюция современного человека представляется не «линией» и даже не «деревом». Наше родословное древо – это, скорее, густой «куст» с очень сильно переплетающимися ветвями.

Очень наглядно бытующее сегодня представление эволюции человека в виде «переплетающихся потоков». Согласно этому взгляду есть основное русло реки, от которого уходят протоки. Некоторые из них могут где-то потеряться, а где-то неожиданно пробиться и влиться в другой. Об одних человеческих потоках мы сегодня знаем уже много, но, судя по данным палеогенетики, могут найтись и другие, пока безымянные, но которые также смогут внести свой вклад в океан современного человечества.

На этой модели представлены возможные генные потоки в человеческой популяции в позднем плейстоцене. Показаны направление и оценочная величина предполагаемых событий. Пунктирная линия указывает вливание в современный геном денисовцев, которое могло происходить как единожды, так и неоднократно.
По: (Prüfer et al., 2014)



Наверное, если бы сейчас проводились раскопки в тех местах, где в свое время были найдены самые ранние археологические находки, то они дали бы намного больше информации. К примеру, та же фаланга денисовца: если бы ее нашел Дюбуа, она была бы бесполезна. Может быть, и сейчас стоит что-то оставить на будущее, до лучших времен?

Китайская мудрость гласит: сиди на берегу реки, и труп твоего врага проплывет мимо тебя. Возможно, и великие открытия могут быть сделаны в результате бездействия... Действительно, двигаться вперед надо, но что-то нужно и оставлять. К примеру, одно время была распространена такая методика изучения небольших пещер, когда они буквально полностью выкапывались. Преимущество этого метода в том, что на основе всех находок можно было строить интерпретации, где и как человек ел, спал, зажигал огонь... В случае большого памятника мы таким образом получим хорошую комплексную картинку. Но вдруг мы сегодня все выкопаем, а через 10 лет изобретут чудо-прибор, который сможет непосредственно в пещере воссоздавать голографическое изображение того, что здесь некогда происходило... Тут важно соблюдать баланс, как в учебнике полевой археологии, согласно которому при изучении памятника нужно оставлять участок для будущих контрольных раскопок. Поэтому копать надо, но и что-то оставлять тоже необходимо



Литература

Паабо С. Неандерталец. В поисках исчезнувших геномов. М.: АСТ, Corpus, 2017. 416 с.

Соколов А. Мифы об эволюции человека. М.: Альпина Нон-фикшн, 2015. 390 с.

Gittelman R. M., Schraiber J. G., Vernot B. et al. Archaic hominin admixture facilitated adaptation to Out-of-Africa environments // *Curr Biol*. 2016. V. 24. P. 3375–3382.

Schlebusch C. M., Malmström H., Günther T. et al. Southern African ancient genomes estimate modern human divergence to 350,000 to 260,000 years ago // *Science*. 2017. V. 358. № 6363. P. 652–655.

Simonti C. N., Vernot B., Bastarache L. et al. The phenotypic legacy of admixture between modern humans and Neandertals // *Science*. 2016. V. 351. N. 6274. P. 737–741.

Timmermann A., Friedrich T. Late Pleistocene climate drivers of early human migration // *Nature*. V. 538. N. 7623. P. 92–95.

МУЖСКОЕ БЕСПЛОДИЕ: — КТО ВИНОВАТ, И ЧТО ДЕЛАТЬ?



Биологическая эволюция – это естественный процесс, который шел, идет и будет идти на Земле, пока существует жизнь. Чтобы стать победителем в эволюционной гонке, нужно выполнить основную задачу любого живого организма – передать свои гены новому поколению. И здесь немного грустной статистики: сегодня каждая пятая-шестая пара в мире сталкивается с такой проблемой, как бесплодие. И как счастливое наступление беременности является результатом усилий двух людей, так и в отношении невозможности иметь детей соблюдается гендерный паритет: в половине случаев бесплодия в паре ответственность лежит на мужчине

В современном мире проблема бесплодия затрагивает не менее 50–80 млн человек (Imamovic Kumalic, Pinter, 2014). Согласно оценкам, число бесплодных пар в Европе достигает 15%, а в России – 19%. Если же значение этого параметра превышает 20%, то бесплодие уже считается демографической проблемой страны.

Еще не так давно принято было считать, что если в семье нет детей, то в этом «виновата» женщина, ей и надо проходить медицинское обследование. Сейчас же мы абсолютно уверены, что мужской фактор в семейном бесплодии составляет до 50%. Об этом говорит ВОЗ, Американское общество репродуктивной медицины, Европейское общество урологов. Эти данные известны, но в силу российского менталитета до сих пор первой должна идти обследоваться женщина. И она идет, чего не всегда можно сказать о ее партнере.

А теперь немного справочной информации. Согласно современным представлениям, беременность у абсолютно здоровых людей должна наступать в течение года. Это очень важный момент, потому что к врачам на прием часто приходят пары и говорят: «Доктор, мы планируем детей, но у нас не получается». И тогда начинаются вопросы: сколько лет-месяцев вы планируете, предохранялись ли раньше, есть ли нарушения репродуктивной функции? Основным критерием мужского бесплодия сегодня считаются патологические изменения в показателях *спермограммы* или других показателей семенной жидкости в сочетании с отсутствием зачатия в браке в течение 12 месяцев. Таким образом, если беременность за год не наступила,

Ключевые слова: мужское бесплодие, спермограмма, MAP-тест, HBA-тест, индекс фрагментации ДНК сперматозоидов.
Key words: male infertility, spermogram, MAP-test, HBA-test, sperm DNA fragmentation

На фото – семья Елены и Александра Дубыниных (Новосибирск). Из семейного архива



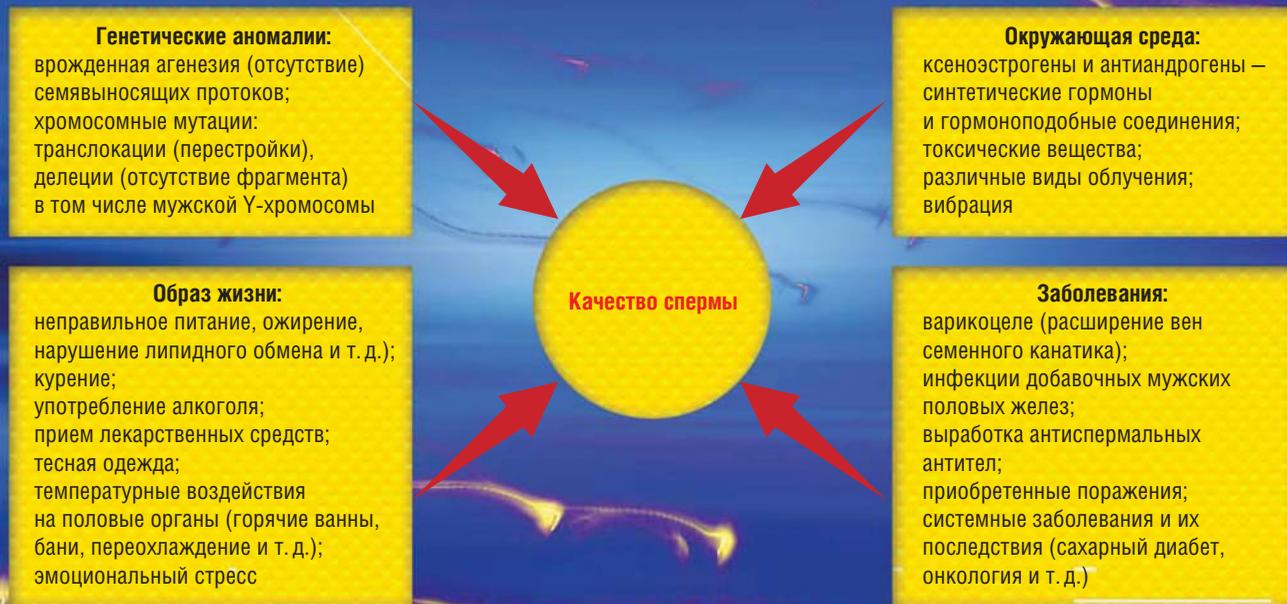
ЕПАНЧИНЦЕВА Елена Александровна – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории эндокринологии Федерального исследовательского центра фундаментальной и трансляционной медицины (Новосибирск), врач эндокринолог-андролог Новосибирского центра репродуктивной медицины группы компаний «Мать и дитя», многопрофильной клиники СМИТРА. Действительный член Российской ассоциации репродукции человека, Профессиональной ассоциации андрологов России. Автор и соавтор 30 научных публикаций

это должно стать веским поводом для глубокого медицинского обследования. И в половине таких случаев мы обнаруживаем «мужской фактор».

Стаж бесплодия – пять лет

Сперматогенез (развитие сперматозоидов) – процесс достаточно длительный, формально он занимает 74 дня, или приблизительно 3 месяца. Большое преимущество мужчин по сравнению с женщинами в том, что их фертильность плавающая: высокая плодовитость может понизиться вплоть до бесплодия, но возможен обратный процесс, если будут созданы хорошие условия. Факторов, влияющих на мужскую фертильность, много: генетические аномалии, влияние окружающей среды, профессиональные вредности, заболевания. Отдельно стоит выделить образ жизни, включая социальные условия, потому что это именно тот фактор, на который может самостоятельно повлиять абсолютно любой человек.

© Е. А. Епанчинцева, 2018



Процесс формирования сперматозоидов занимает около трех месяцев. Даже если у мужчины не имеется наследственных нарушений сперматогенеза, на него может воздействовать целый ряд неблагоприятных факторов химической, физической и биологической природы. Среди них – профессиональные вредности, неправильный образ жизни, ряд заболеваний, в том числе и инфекции, передающиеся половым путем.
По: (Шилл и др., 2011; с изменениями)

© CC BY 2.0. Some rights reserved by ir0cko

И это не голословные утверждения. Приведем данные нашего собственного исследования, проводившегося в 2013–2015 гг. на выборке из более 900 мужчин, где 95 % составляли жители Новосибирска. Средний возраст пациентов был равен 34 годам, стаж бесплодия – 4,5–5 лет (Епанчинцева и др., 2016).

Проанализировав возможные факторы бесплодия, мы получили следующую картину. Вредные производственные факторы (перегревание, переохлаждение, ионизирующее излучение, вибрация и т. п.) были фактором риска менее чем у 20 % пациентов. Это связано с тем, что Новосибирск – мегаполис, где нет градообразующего предприятия, к примеру, химической промышленности, на котором было бы занято большинство населения.

Разнообразные болезни, включая такие воспалительные процессы, как *простатит*, были обнаружены примерно у 40 % мужчин. Но вот неправильный образ жизни был характерен почти для 80 % обследуемых! Алкоголь, курение, избыточная масса тела... Все эти проблемы не врожденные, как тот же *крипторхизм* (неопущение яичка), – их мы создаем себе сами.

Важнейшим фактором бесплодия могут быть эмоциональные стрессы. Их испытывали около 44 % мужчин, которые приходили к нам на прием. Причем эта цифра

явно занижена, потому что представителям сильного пола в принципе нелегко признаться в том, что они испытывают стресс.

Судя по результатам научных исследований, нервно-психические нагрузки действительно оказывают негативное влияние на сперму. Когда организм попадает в стрессовую ситуацию, ему уже не до размножения. Часто приходится слышать: «Вот, мол, у друзей тоже не получалось забеременеть, но съездили на море, отдохнули, и у них все получилось. Море – это так волшебное, может быть, нам тоже нужно туда съездить?». А дело ведь не в самом море, а в том, что люди «отключили» голову, вышли из всех социальных сетей и просто расслабились. И у сперматогенеза появилась возможность немного обновиться, да и было время заниматься сексом, это тоже важный момент.

Почему-то люди искренне уверены, что для наступления беременности достаточно заниматься сексом раз в месяц, в день овуляции. Недостаточно, желательно делать это 2–3 раза в неделю хотя бы для того, чтобы поддерживать нормальную работу мужской половой системы. Но если планируете детей, то не чаще, чем раз в день, иначе можно добиться обратного эффекта в виде снижения концентрации и качества сперматозоидов из-за слишком быстрого их обновления.

Чтоб не пил, не курил...

Следующая вредная привычка – курение: более 40 % наших пациентов курили. Если говорить про патофизиологию, то известно, что никотин обладает сосудосуживающим действием. При этом нарушается питание *сперматогенного эпителия*, из которого и формируются сперматозоиды, в результате чего последние получают с дефектами или не получаются вообще. Самое удивительное в том, что о вреде курения вроде бы знают все, но это не останавливало наших пациентов, которые 5 лет безуспешно пытались стать отцами.

Все вышесказанное в полной мере относится и к употреблению алкоголя, которым «баловались» 75 % опрошенных. При этом когда начинаешь спрашивать об отношении к этому, то стандартный ответ: «Я же не алкоголик, употребляю, как все». Но что это значит: как все? Раз в день, в неделю, в месяц, в полгода? Допустим, раз в неделю. Хорошо, но тогда какой алкоголь? Пиво, вино, что-то более крепкое? Ответ: либо пиво, либо виски-коньяк (водку упоминают редко). И если пиво, то 1–3 л, если крепкий алкоголь – 100–300 мл.

А теперь вспомним, что сперматогенез идет около трех месяцев. И можно посчитать, сколько же алкоголя эти бедные неокрепшие сперматозоиды «принимают на грудь» за все время. Поэтому простого отказа от алкоголя зачастую оказывается достаточно, чтобы случилась беременность. Но при этом надо помнить, что

недостаточно быть трезвенником только одну неделю перед овуляцией потенциальной матери. Это, конечно, тоже хорошо. Но чтобы полностью нивелировать воздействие такого фактора, требуется максимально сократить употребление алкоголя как минимум за три месяца до этого события. А еще лучше – в течение двух и даже трех циклов сперматогенеза, т. е. почти год.

Следующие на очереди – избыточная масса тела и ожирение. Об отношении в обществе к этому явлению свидетельствует «толстый» мужской манекен, на котором демонстрируется одежда для мужчин соответствующей комплекции. Манекены производят серийно для привлечения массового покупателя: никто не будет делать это ради одного покупателя из миллиона, даже из тысячи. Это значит, что ожирение уже не воспринимается как проблема, как патология.

Конечно, у каждого из нас есть свои конституционные особенности: есть астеники, нормостеники, гиперстеники. Но вот реализация нашего потенциала – особый разговор, касающийся уже медико-социальных факторов: сколько мы едим, насколько активны и т. п. Путей влияния абдоминального ожирения на сперматогенез много: по опыту можно сказать, что затрагиваются все звенья сперматогенеза – нет ни одного показателя спермограммы, на который бы оно не действовало (Епанчинцева и др., 2015).





У бесплодных мужчин с абдоминальным типом ожирения наблюдаются угнетение функционального состояния периферического звена гипоталамо-гипофизарно-гонадной системы и нарушения процессов сперматогенеза.

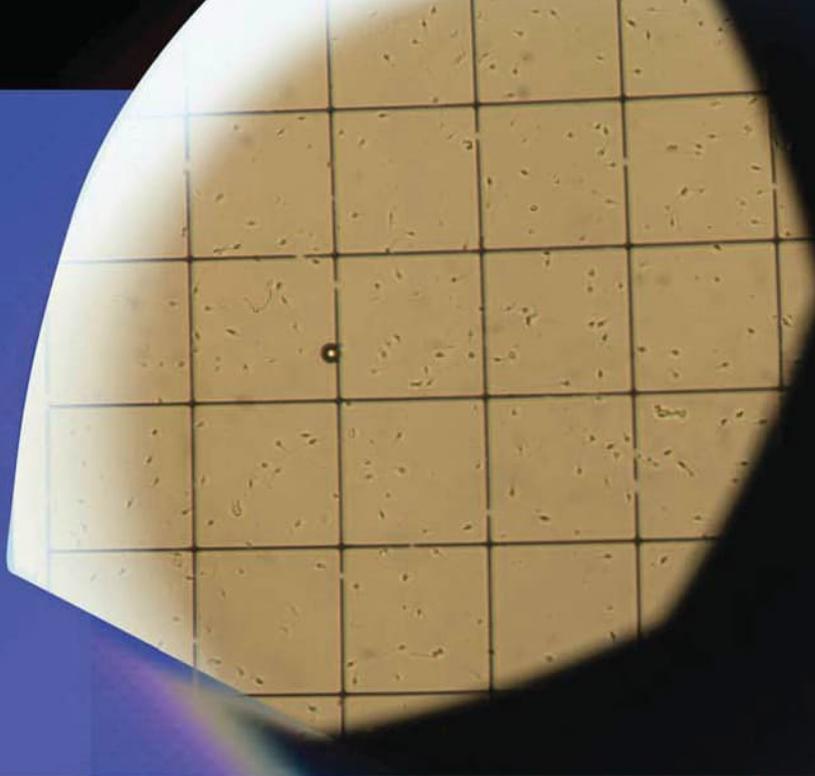
Внизу – основные механизмы влияния абдоминального ожирения на формирование бесплодия у мужчин.

По: (Епанчинцева и др., 2015)

Наиболее высокий риск репродуктивных нарушений характерен для мужчин с абдоминальным ожирением, при котором жир скапливается преимущественно в верхней части туловища и на животе



Интенсивность выработки антител к собственным сперматозоидам пациента определяют с помощью MAR-теста. Для этого к сперме добавляют латексные шарики, которые «прилипают» к сперматозоидам, покрытым антителами, что хорошо заметно под микроскопом (внизу)



Для спермограммы в первую очередь проводят микроскопический анализ эякулята, который позволяет определить концентрацию сперматозоидов и их подвижность, а также показатели других клеточных компонентов спермы (вверху).
Фото Е. Кирс (Новосибирский центр репродуктивной медицины)

Когда такие пациенты приходят на прием, то работать с ними непросто. Супертаблеток для похудения нет, хотя есть препараты и хирургические вмешательства, которые могут в этом помочь, но без глобальной перестройки сложившегося образа жизни все они будут иметь только временный эффект. Самым эффективным методом является профилактика: когда в семье есть предпосылки к избыточной массе тела, то надо работать с детьми, подростками, чтобы они избежали проблем в будущем. И во взрослом состоянии сознательно к себе относиться: если за праздники вы прибавили 5 кг, то надо с ними бороться, а не считать, что если они равномерно распределились по телу, то все в порядке.

И, наконец, инфекции, передающиеся половым путем. К ним можно относиться по-разному, например,

считать, их признаками настоящего мачо. Но лучше задуматься о том, что любое активное воспаление активирует и окислительный стресс, в результате чего происходит непосредственное повреждение сперматозоидов. В случае давнего заболевания могут запуститься перекрестные реакции между сперматозоидами и микроорганизмами, что провоцирует выработку *антиспермальных антител*. Результатом может стать бесплодие (Сухих, Божедомов, 2009; Gimenes *et al.*, 2014).

Смотреть в корень

Что надо сделать, чтобы определить корни проблемы? Во-первых, сделать анализ спермы (*эякулята*), во-вторых, сделать стандартные тесты на выявление генетических аномалий.

Что касается самой спермограммы, то важно не просто ее сделать, но сделать правильно, потому что анализ спермы согласно всем требованиям, как правило, делают только в клиниках ЭКО. В обычных клиниках можно найти спермоанализаторы неизвестного поколения, в том числе разработанные для крупного рогатого скота, с помощью которых можно определить факт присутствия или отсутствия сперматозоидов, но не их качество. Кстати сказать, неподготовленному человеку проанализировать спермограмму совершенно не под силу – этому надо специально обучаться.

Важный момент, который почему-то часто игнорируется, – период полового воздержания перед сдачей анализа. Не нужно специально воздерживаться неделю или месяц, ведь анализ делается для того, чтобы определить



Если отсутствие беременности в течение года без контрацепции служит симптомом бесплодия, то как можно позиционировать метод прерывания полового акта? Это контрацепция или нет?

Метод прерванного полового акта является одним из вариантов контрацепции. Но у него очень низкая надежность, поскольку какая-то часть спермы может начать выделяться уже с начала полового акта. Поэтому если семейная пара практикует этот метод контрацепции, и при этом беременность не наступает в течение 2—3 лет – это также повод задуматься. Кстати, год – это тоже с «запасом», если имеются какие-то небольшие нарушения фертильности. В идеале без контрацепции беременность должна наступить в течение первых 3 месяцев



Нормальный сперматозоид

Патологические сперматозоиды

Дополнительное исследование спермы – определение морфологии сперматозоидов по Крюгеру – позволяет максимально точно выявить патологии в строении сперматозоидов

На основе исследования около 3 тыс. супружеских пар было показано, что высокий уровень фрагментации ДНК сперматозоидов значительно увеличивает вероятность выкидыша (Robinson *et al.*, 2012). На фото – анализ эякулята пациента с бесплодием

нарушения при вашем обычном образе жизни.

Что же видят эмбриологи, оценивая сперму? Нормальная сперма должна быть светлого, серо-молочного цвета, а вот, к примеру, красно-рыжий свидетельствует о примеси крови из-за воспалительного процесса или травмы. Это тревожный сигнал, на который надо сразу реагировать. Очень важна подвижность сперматозоидов и их количество. Например, если

Фрагментированный сперматозоид

Фото Е. Кирс (Новосибирск)

Иммунологическая форма бесплодия лечится только с помощью «оплодотворения в пробирке». В более грустном варианте воспаление может приводить к склерозу тканей и одно- или двусторонней обструкции – непроходимости семявыносящих протоков. Это когда сперма есть, а сперматозоидов в ней нет. В этом случае пациенту предлагают биопсию: можно вырезать из яичка несколько фрагментов и поискать в них сперматозоиды. В случае удачи можно воспользоваться ЭКО+ИКСИ. Когда про такой метод рассказываешь пациенту, он всегда говорит: «А нельзя ли как-нибудь иначе?». Можно, если бы вы, 10 лет назад заболев гонореей, вылечили ее сразу, а не через полгода. А так выход один: биопсия или донорская сперма

на спермограмме виден только один «живчик», то его можно использовать лишь на процедуре ЭКО+ИКСИ, когда его иголкой «заведут» в яйцеклетку. В обычных же условиях шанса на оплодотворение нет.

Следующий анализ – оценка морфологии сперматозоидов по строгим критериям Крюгера, которая проводится лишь после специального окрашивания и с использованием микроскопа с большим увеличением. Последнее условие очень важно: только на таком микроскопе можно разглядеть и головки, и шейки, и хвостики, и все дефекты мужских половых клеток.

Дальше идет *MAR-тест*, с помощью которого можно определить интенсивность выработки антител к собственным сперматозоидам пациента. Когда таких антител много, они покрывают сперматозоиды как бы коконом, не давая им возможность проникнуть в яйцеклетку. Эти белки также способствуют слипанию сперматозоидов между собой, из-за чего последние не могут продвинуться дальше влагалища. Технически такой тест выглядит следующим образом: к сперме добавляють латексные шарики, и если сперматозоиды покрыты антителами, то шарики накроют их сверху, как панцирь. Если затронуто более половины всех сперматозоидов, поможет только ЭКО+ИКСИ.

Среди новых методов диагностики – *HVA-тест*. Известно, что сперматозоид, чтобы зайти в яйцеклетку, должен сначала за нее «зацепиться». С помощью этого теста проверяют способность сперматозоидов связываться с *гиалуроновой кислотой* – одним из основных компонентов окружения яйцеклетки. Делать это могут только полноценные сперматозоиды, благополучно прошедшие все этапы созревания.

Последний тест – определение уровня *фрагментации ДНК*, наследственной информации, содержащейся в сперматозоидах. Сперматозоид с фрагментированной (поврежденной) ДНК может быть подвижным и способным оплодотворить яйцеклетку, но результатом в конечном счете станет прерывание беременности

на раннем сроке либо выкидыш. На сегодня получены достоверные данные, что уровень фрагментации ДНК действительно коррелирует с угрозой выкидыша (Robinson *et al.*, 2012). И если раньше считалось, что роль «мужского фактора» заканчивается с наступлением у женщины беременности, то теперь мы знаем, что такой дефектный сперматозоид может спровоцировать ее неблагоприятный исход в будущем.

Что же делать? Обычно это именно тот вопрос, который возникает у любого, кто сталкивается с такой непростой проблемой, как бесплодие.

Во-первых, не откладывая на будущее, максимально ограничить воздействие всех факторов, негативно влияющих на сперму. Во-вторых, следить за временем. Если вы не предохраняетесь, а беременность не наступает в течение года, то не нужно думать, что каждый раз 50 млн сперматозоидов случайно поворачивают не в ту сторону. Нужно искать проблему: женщина идет к репродуктологу, мужчина – к андрологу.

И третье, что в наши дни достаточно легко сделать, это сдать сперму на анализ, и в случае ее «профпригодности» провести криоконсервацию. Доказано, что в возрасте двадцати лет сперма (да и яйцеклетки) лучше, чем в тридцать и тем более в сорок-пятьдесят. А современные технологии позволяют заморозить и сохранить половые клетки в течение многих лет. Такой «вклад на будущее» обычен для Европы, да и в России начинает набирать популярность. И если когда-нибудь у вас возникнут репродуктивные проблемы, вы сможете воспользоваться своей, а не донорской спермой или яйцеклетками, чтобы если и не выиграть, то хотя бы принять участие в гонке эволюции.

Литература

Епанчицева Е. А. Медико-социальные факторы риска бесплодия у мужчин с ожирением // *Андрология и генитальная хирургия*. 2016. № 3. С. 47–53.

Епанчицева Е. А., Селятицкая В. Г., Шеина Ю. И. Параметры яэкулята у пациентов с абдоминальным ожирением // *Андрология и генитальная хирургия*. 2015. № 1. С. 88–93.

Сухих Г. Т., Божедомов В. А. Мужское бесплодие. М.: Эксмо, 2009. 240 с.

Gimenes F., Souza R. P., Bento J. C. *et al.* Male infertility: a public health issue caused by sexually transmitted pathogens // *Nat. Rev. Urol.* 2014. V. 11. N. 12. P. 672–687.

Imamovic Kumalic S., Pinter B. Review of clinical trials on effects of oral antioxidants on basic semen and other parameters in idiopathic oligoasthenoatozoospermia // *Biomed Res Int* 2014. doi: 10.1155/2014/426951.

Robinson L., Gallos I. D., Conner S. J. *et al.* The effect of sperm DNA fragmentation on miscarriage rates: a systematic review and meta-analysis // *Hum Reprod.* 2012. V. 27. N. 10. P. 2908–2917

Лекарства от старения, и где они обитают



Время напрямую людей не убивает, старение – это биологический процесс. Есть группа заболеваний, которые называют возраст-ассоциированными, или старческими. Основным фактором риска их развития является возраст, и они составляют значительную долю среди причин смертности. Это инсульты, инфаркты, онкологические заболевания, болезнь Альцгеймера, диабет 2-го типа... Именно эти болезни убивают нас. Ученые, работающие в области биологии старения, ищут, что их объединяет, единый механизм, если, конечно, он существует

Я хотел бы поговорить о том, существуют ли на самом деле какие-то успехи в деле «героической» борьбы со старением. СМИ нам время от времени сообщают, что ученые открыли ген старения, но таблеток от старости в аптеках все еще нет. Хотелось бы знать, как обстоят дела на самом деле. Для этого надо определиться, что мы считаем успехом в борьбе со старением. Чтобы люди жили до ста лет? Или до ста пятидесяти? Тогда можно будет говорить об успехе или еще нет?

Надо понимать, что биология старения – тема очень актуальная, и это обоюдоострое лезвие, потому что любые разговоры на эту тему легко продать как в буквальном, так и в переносном смысле. Эта тематика требует от ученых, с одной стороны, корректности и сдержанного оптимизма, а с другой – способности не бросаться в крайности в своих представлениях. Существуют две противоположные точки зрения. Одна состоит в том, что со старением вообще ничего нельзя сделать: как на роду (в генах) написано, так оно и будет. Другая подразумевает, что бессмертие должно наступить буквально на днях. Последним пользуются некоторые фармакологические компании, которые начинают продавать баночки с «лекарством от старости». Но если бы где-то в секретных лабораториях стояла баночка с таким лекарством, то мы бы уже жили в другом мире.

Уже довольно давно существуют методики, позволяющие перепрограммировать специализированные, терминально дифференцированные клетки в индуцированные плюрипотентные стволовые клетки, которые могут дифференцироваться почти во все типы клеток. Для этого в них с помощью вирусных векторов вводят гены, кодирующие регуляторные молекулы, характерные для плюрипотентных клеток. Но подсадка человеку таких клеток связана с высоким риском развития злокачественной опухоли, а использование вирусных векторов в клинической практике не одобрено в связи с тяжелыми осложнениями, развившимися в клинических испытаниях этой методики



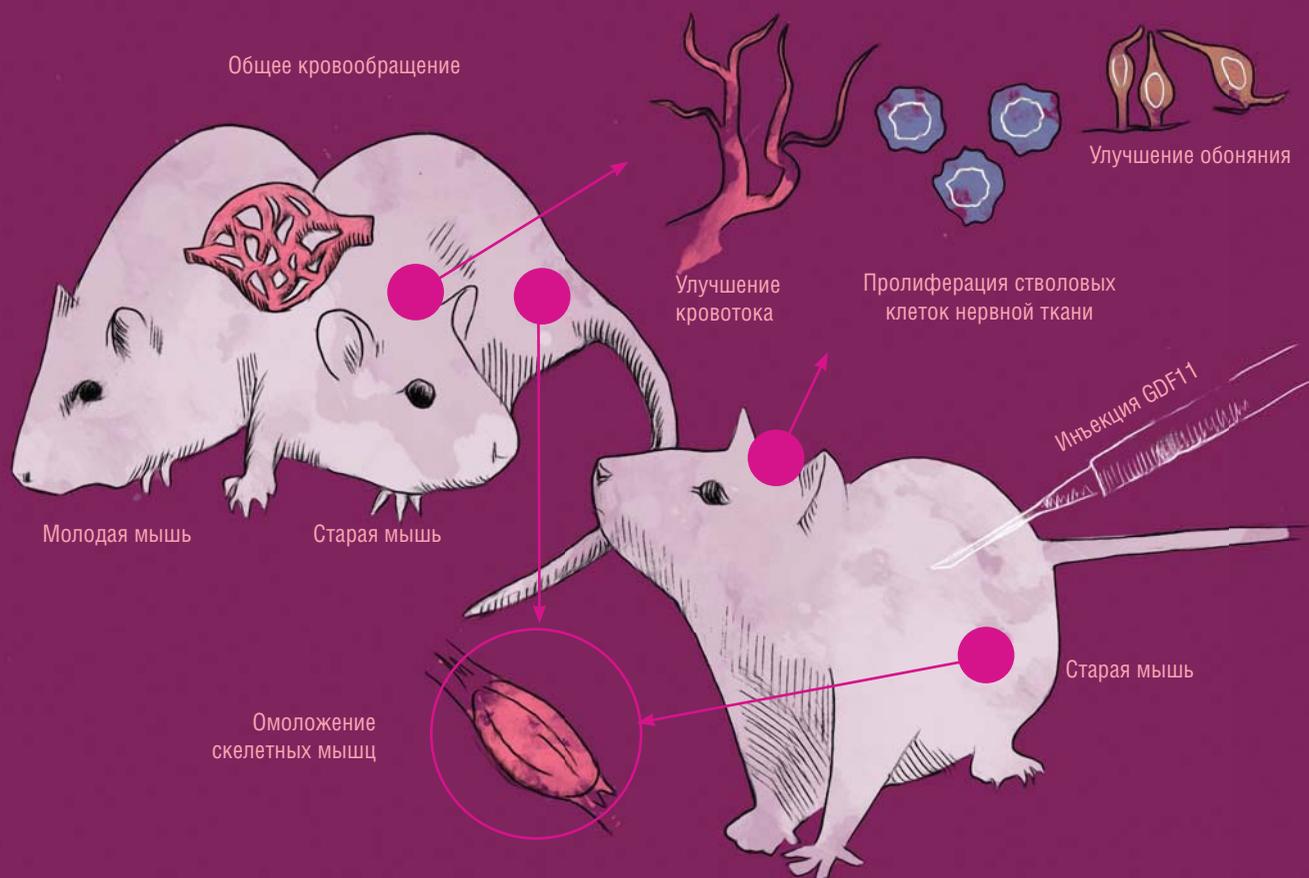
ТЮМЕНЦЕВ Михаил Алексеевич – аспирант лаборатории молекулярных механизмов старения Института цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 2 научных работ

Где ищут «лекарства от старости»?

Одно из очевидных направлений поисков средств борьбы со старением – заменять органы, которые в процессе старения приходят в упадок, на новые, специально выращенные. Сейчас уже более-менее понятно, в каком направлении двигаться, чтобы этого достичь. Существуют методики, позволяющие перепрограммировать специализированные, терминально дифференцированные клетки в индуцированные плюрипотентные стволовые клетки (ИПСК), которые затем можно направленно превращать почти во все типы клеток. Можно взять у пожилого пациента его же собственные клетки, превратить их в ИПСК, в ходе чего они помимо прочих теряют черты, свойственные старческим клеткам (иногда употребляют термин «омолаживаются», но его рекомендуют избегать). Далее можно из них

Ключевые слова: старение, продление жизни, ограничение калорийности пищи, воспаление, геропротекторы, модельные организмы.

Key words: aging, lifespan extension, caloric restriction, inflammation, geroprotectors, model organisms



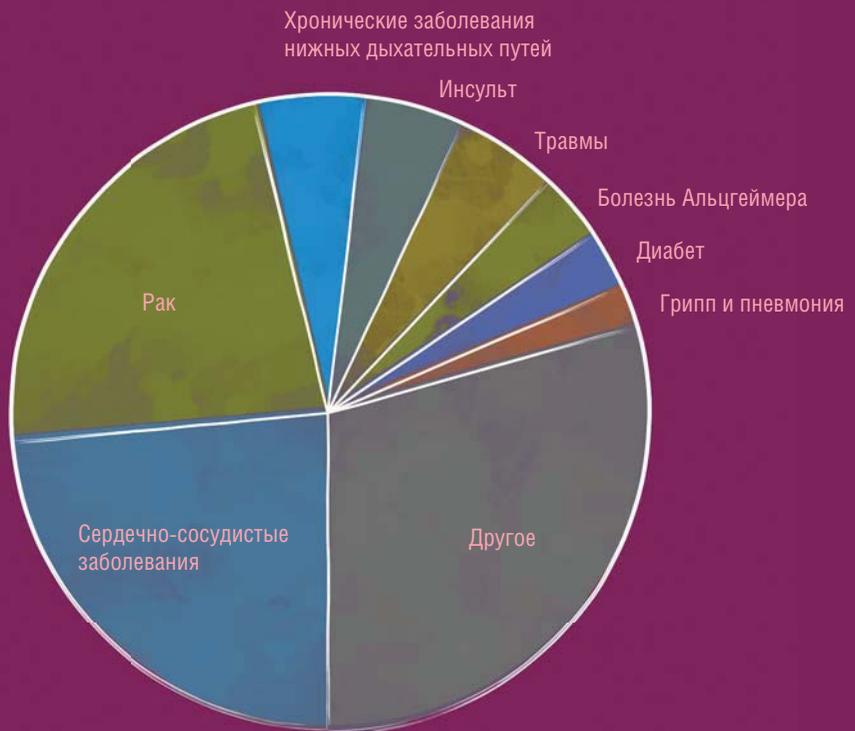
вырастить «молодой» орган или, по крайней мере, «молодую» ткань и пересадить ее пациенту.

Одна из проблем метода в том, что это тактическое отступление, имеющее смысл только до тех пор, пока речь не заходит о мозге: ведь его так просто не заменить. Вторая проблема в том, что клетки, имеющие свойства молодых, оказавшись в окружении старческих клеток, сами приобретают *фенотип* (молекулярные маркеры) старческих клеток (Acosta *et al.*, 2013). Таким образом, выращенный и пересаженный молодой орган недолго пробудет молодым.

Однако этот эффект работает и в обратную сторону: старые клетки, оказавшись среди молодых, приобретают уже их свойства! Чтобы понять, как это происходит, и, возможно, воспроизвести этот эффект, нужно найти молекулярный субстрат «узнавания» клетками «молодого» или «старого» клеточного окружения. Этим субстратом, вероятно, являются какие-то сигнальные молекулы. Результаты экспериментов с использованием *парабиоза*, искусственного соединения мышей через кровеносную систему, в результате чего мышечные

и нервные ткани старых мышей «омолодились», выявили и предполагаемого кандидата на место посредника этого эффекта. Им оказался белок GDF11 (*фактор роста и дифференцировки 11*), выделенный из крови молодых мышей (Sinha *et al.*, 2014). Правда, эти работы впоследствии подверглись критике, которая состояла в том, что GDF11 – сопутствующая находка, и поэтому исследования до сих пор продолжаются (Reardon, 2015). Но я полагаю, что обнаружить истинного посредника или посредников – только вопрос времени.

Другое стратегическое направление борьбы со старением – попытки влиять непосредственно на его механизмы, изменяя регуляцию обмена питательных веществ и энергии. В качестве субстратов влияния можно назвать *гормон роста*, который управляет ростом ткани, а также *инсулиноподобный фактор роста* – молекулу, похожую на гормон инсулин, необходимый для регуляции обмена глюкозы, но имеющую широкий спектр действия на процессы роста и развития клеток.

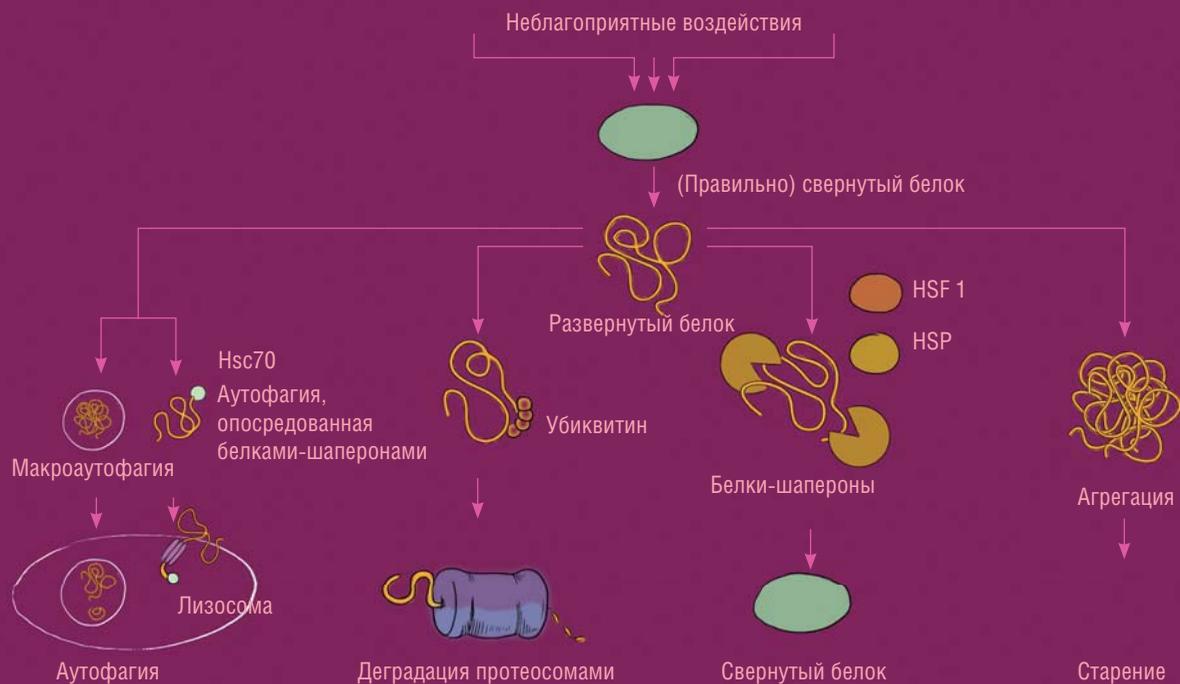


◀ Создание хирургическим путем общего кровообращения между лабораторными мышами разного возраста, а также инъекции пожилым особям белка GDF11, полученного из крови молодых, приводили к одному и тому результату: у «пожилых» мышей уменьшались признаки старения мышечной, нервной и кровеносной системы.
По: (Kaiser, 2014)

Причины смертности в США в 2010—2015 гг. Возраст-ассоциированные заболевания – сердечно-сосудистые, онкологические, инсульт, болезнь Альцгеймера, диабет, вносят в нее огромный вклад. По: (de Magalhães, Stevens, Thornton, 2017)

На графике выживаемости в популяции со временем количество особей снижается за счет их гибели. Если мы научимся лечить какую-то одну группу возраст-ассоциированных заболеваний, например, онкологические, но не научимся влиять на механизм старения в целом, вырастет средняя продолжительность жизни (А), но максимальная продолжительность жизни, если и изменится, то ненамного: место онкологии тут же будет занято расширившейся долей прочих старческих заболеваний. (Б). Но радикальная борьба со старением подразумевает увеличение именно максимальной продолжительности жизни.
По: (Flurkey et al., 2007)





Молекулярные системы, о которых идет речь, «принимают решения» о том, насколько активно клетки должны расти, делиться, использовать энергию. И, хотя это кажется неочевидным, в ходе старения такие системы начинают работать не слабее, а сильнее, но при этом неэффективно (Blagosklonny, 2010). В результате большинство потенциальных средств, изменяющих работу этих систем, направлены на их подавление. Например, к ним относится антибиотик и иммунодепрессант *рапамицин*, ингибирующий так называемый *сигнальный путь киназы mTOR*, участвующей в синтетических процессах в клетке и активируемой аминокислотами. Рапамицин имеет серьезные побочные эффекты и не пригоден к использованию для продления жизни человека, но, возможно, в дальнейшем будут найдены более подходящие вещества. Одним из них может оказаться противодиабетический препарат *метформин*, если будет доказано, что его безопасно применять в профилактических целях.

Надо заметить, что процесс старения довольно долгое время протекает очень медленно, а потом ускоряется. Дело в том, что в организме существуют «системы контроля качества», которые заняты «починкой сломанного», а то, что уже не починить, отправляют в переработку. Это, к примеру, система *протеостаза*, которая отвечает за правильное свертывание молекул белков; и процесс *аутофагии*, являющийся в числе прочего важным звеном для отправки на переработку

Система протеостаза – одна из «систем контроля качества», функционирующих в клетках. Под действием ряда неблагоприятных факторов, например, окислительного стресса, белки могут потерять свою структуру, сложную свертку белковой молекулы. Такие белки должны быть либо уничтожены – с помощью процесса аутофагии или убиквитин-протеосомной системы, или их структура может быть восстановлена при участии белков-шаперонов. В противном случае они будут формировать агрегаты, накопление которых приводит к нарушениям функционирования клетки и ее старению. Аутофагию подразделяют на микро- и макроаутофагию. Первый тип называется аутофагией, опосредованной шаперонами, когда эти белки участвуют в направлении поврежденного белка в лизосому, клеточную органеллу, содержащую ферменты для расщепления клеточных макромолекул. Макроаутофагия связана с образованием мембранной структуры – аутофагосомы, которая содержит подлежащий уничтожению белок, и, сливаясь с лизосомой, обеспечивает его деградацию.

По: (Lopez-Otín et al, 2013)

поврежденных клеточных органелл; и *апоптоз* (клеточное «самоубийство»). Наконец, сама иммунная система, которая борется не только с инфекциями, но и с опухолевыми клетками. Со временем все эти системы начинают работать хуже, но если вернуть



им былую активность, возможно, удастся повернуть ряд старческих изменений вспять, и одним из направлений работ является как раз поиск веществ, которые бы увеличивали активность «систем контроля качества».

Еще одно направление связано с тем, что в ходе старения в тканях организма развивается состояние слабого, вялотекущего, неспособного завершиться воспаления – так называемое *тлеющее воспаление* (Salminen, Kaarniranta, Kauppinen, 2012). Вообще воспаление характеризуется пятью признаками: покраснением, отеком, болью, повышением температуры и нарушением функции. И, возможно, если мы будем бороться с воспалением или с тем, что его вызывает в ходе старения, мы сможем вернуть тканям утраченную функциональность.

Довольно давно известно (хотя потребовалось много времени для подтверждения этого феномена), что ограничение калорийности питания ведет к замедлению развития старческих изменений и увеличению продолжительности жизни (Colman *et al.*, 2009). На крысах таким способом удалось добиться увеличения продолжительности жизни до 40%. Эти эксперименты доказывают, что искусственное увеличение максимальной продолжительности жизни в принципе возможно. Ограничение калорийности действует и на системы контроля качества, и снижает тлеющее воспаление, т. е., по-видимому, «бьет» очень близко к предмету поисков – общему механизму старения.



Потенциальных мишеней так много... Не наводит ли это на мысль, что одну, универсальную таблетку против старения сделать не удастся?

Конечно, хочется найти простой ответ, скорее всего, вмешательство будет сложным, комплексным и разнонаправленным. Сколько в нем будет элементов, я не могу сказать



Проблемы и способы их решения

Я описал направления биологии старения, по которым активно идут исследования, но любой такой список будет заведомо неполон. Уже известны многие процессы, течение которых нарушается в ходе старения, и, что важно, известны сотни веществ-кандидатов в потенциальные «лекарства от старения» – *геронпротекторы*. Обилие потенциальных мишеней и методик, с одной стороны, радует, потому что говорит о том, что стадия, на которой шли поиски хоть каких-нибудь мишеней, пройдена. Но возникла другая проблема:



Что может сделать обычный человек, который не занимается научными исследованиями, чтобы продлить собственную жизнь и молодость? И как именно нужно ограничивать калорийность питания?



Вопрос актуальный и правильный, я сам им задаюсь. Ограничение калорийности действительно работает, цифры разные по разным данным: примерно на 10—30%. И, к сожалению, я не могу выписать рецепт «молодости». Обычный человек должен вести здоровый образ жизни, как бы это ни звучало скучно и разочаровывающе. Физические нагрузки, периодический острый стресс (например, сходить в горы), не переедать. Конечно, изменить образ жизни захотят далеко не все, обычно люди хотят «таблетку». И мы работаем над этим

сейчас потенциальных мишеней много больше, чем научное сообщество может «переварить». Возможно, среди нескольких сотен потенциальных геропротекторов есть наиболее действенный, но как его определить? Ограничивающим фактором становится количество лабораторий и специалистов.

Каким может быть выход из этой ситуации? Можно привлечь к работе неспециалистов по аналогии с тем, как поступают орнитологи: они принимают данные наблюдений людей, состоящих в сообществах наблюдателей за птицами (такой подход называется «гражданская наука»). Специалисты по старению предлагают привлекать к своей деятельности владельцев собак (Kaerberlein, 2016). Собака – это один из очень немногих видов животных, объем накопленных медицинских данных о котором сравним с данными «человеческой» медицины. Владельцы собак, получая для своих питомцев экспериментальное лечение, могли бы собирать данные (простые, измеряемые на дому показатели) и отправлять отчеты о результатах.

Можно упомянуть еще об одном возможном варианте активации сбора данных, хотя он и является дискуссионным. Согласно недавно введенному во многих штатах США закону, неизлечимо больной человек имеет право получить экспериментальные методы лечения, если они существуют, не дожидаясь окончания процедуры их одобрения. Некоторые такие пациенты считают, что им нечего терять, и делают это на свой

страх и риск. Хотя это весьма специфический случай, и даже он остается «ареной» горячих дебатов, поэтому активно призывать людей к применению глубоко экспериментальных методик нельзя.

Исследовать процесс старения на людях очень трудно. Человек стареет долго, это неудобно с методологической точки зрения. Нельзя забывать и об этических аспектах. Поэтому старение исследуют в основном на червях-нематодах, дрожжах, мухах, мышах – на недолго живущих организмах. Исследования на модельных организмах – хороший подход, но человек не мышь и не муха, и далеко не все, что справедливо для моделей, будет также справедливо для человека (de Magalhães,

Согласно данным базы GenAge, для дрожжей и нематод известно несколько сотен генов, функция которых связана со старением. Однако эти данные в подавляющем большинстве неприменимы к человеку, для которого известно только 7 таких генов.

По: (de Magalhães, Stevens, Thornton, 2017)



Количество известных генов, функция которых связана со старением

МЕНЬШЕ ЕСТЬ – ДОЛЬШЕ ЖИТЬ?

Первые экспериментальные данные о влиянии ограничения питания на продолжительность жизни были представлены еще в начале 1900-х гг. в экспериментах на крысах: ограничение приема пищи тормозило рост животных, но увеличивало продолжительность жизни. Наиболее известными стали исследования 1935 г., когда было показано, что ограничение калорийности пищи на 40% у крыс, начиная с возраста, когда они переходили на обычную пищу с материнского молока, продляло их жизнь вдвое. На сегодняшний день эффект ограничения калорийности на продолжительность жизни и здоровье продемонстрирован на совершенно разных организмах: круглых червях, мушках-дрозофилах, мышах и крысах, собаках и коровах и некоторых обезьянах.

За это время высказывалось множество гипотез о механизмах действия ограничения калорийности пищи на долголетие. Сначала предполагали, что эффект как-то связан с замедлением обмена веществ. Высказывалось мнение и о том, что это артефакт, что лабораторные животные просто переедают по сравнению с дикими видами, а возвращение к природной норме идет им на пользу. Эти ранние гипотезы были в итоге отброшены. Затем возникла идея, что омолаживающий эффект ограничения калорийности связан с уменьшением производства активных форм кислорода, которые атакуют макромолекулы в клетках, т. е. с уменьшением уровня окислительного стресса. Когда в научную жизнь прочно вошла молекулярная биология, искать объяснение стали в области регуляции молекулярных сигналов. Сейчас большинство геронтологов соглашаются с тем, что эффекты ограничения калорийности на продолжительность жизни связаны с питательными веществами, запускающими в клетках ряд сигнальных каскадов.

Один из возможных механизмов действия ограничения калорийности на продолжительность жизни опосредован снижением активности взаимосвязанных между собой сигнальных путей mTOR-киназы (активируется аминокислотами), инсулиноподобного фактора роста и инсулинового рецептора (активируется углеводами). Результатом их деятельности является активация ряда белков, участвующих в процессах деления клеток, апоптоза, ответа на стрессовые факторы. Ослабление активности этих сигнальных путей в итоге приводит к позитивным последствиям: например, инактивация mTOR-киназы способствует усилению процессов аутофагии – деградации поврежденных белков и внутриклеточных органелл.

Другими возможными посредниками эффекта ограничения калорийности могут быть повышение активности сигнального пути аденозинмонофосфат-активируемой

протеинкиназы (АМФК) и активности белков под названием сиртуины. АМФК активируется в условиях ограничения энергии, регулирует энергетический баланс в клетке и участвует в регуляции обмена углеводов и жиров. Сиртуины, с одной стороны, участвуют в выключении генов, продукты которых клетке сейчас не нужны, а с другой – в репарации ДНК.

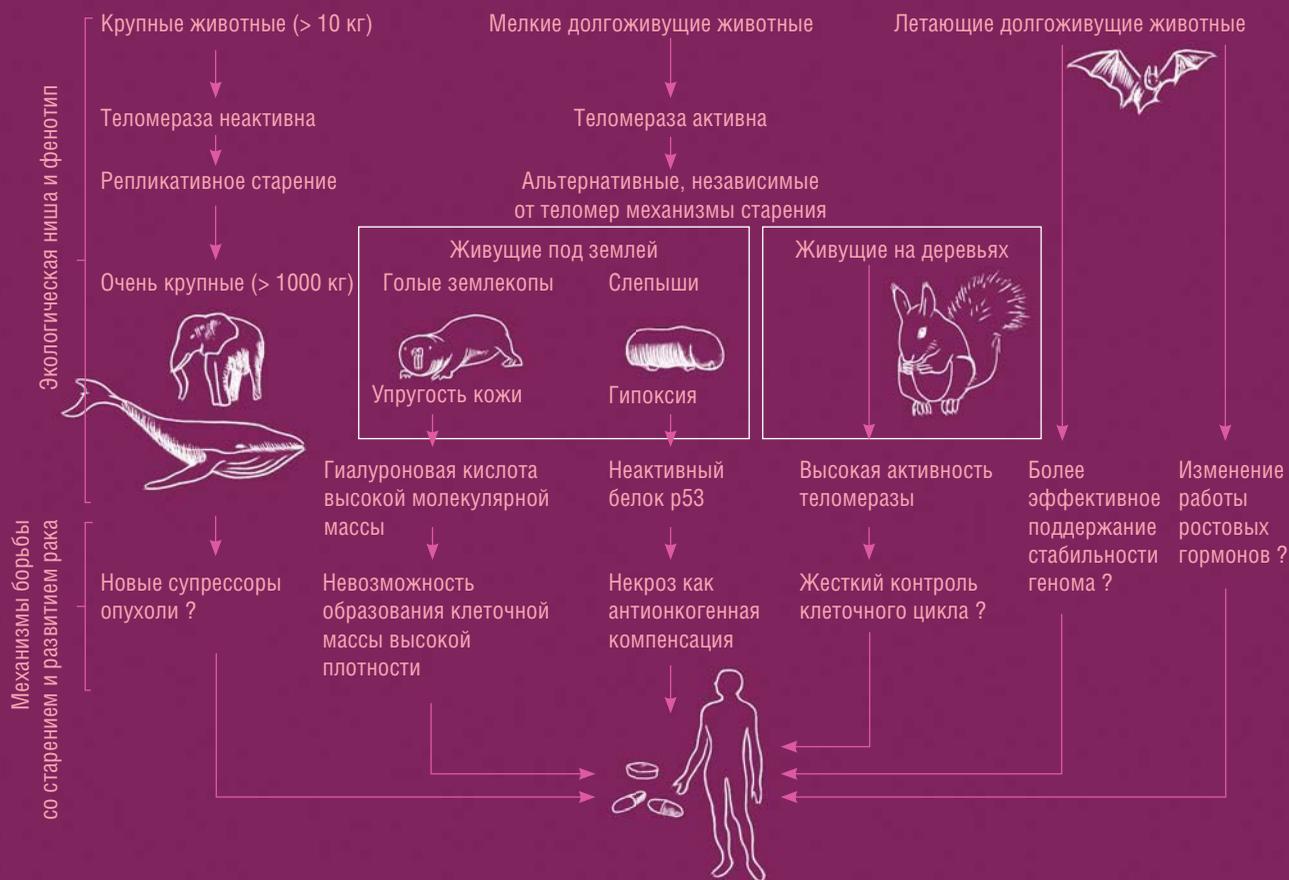
Но всю жизнь с детства питаться в режиме ограничения калорий – задача трудно реализуемая. Поэтому геронтологи и биологи пытаются разработать лекарства, имитирующие благоприятные эффекты ограничения калорийности.

Согласно результатам ряда работ, одним из таких препаратов может быть антиоксидант ресвератрол, содержащийся, в частности, в кожуре винограда и красном вине. Действию ресвератрола длительное время приписывали так называемый французский парадокс: относительно низкий уровень сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний у жителей Франции на фоне высококалорийного питания. Правда, позже было показано, что содержание ресвератрола в вине слишком мало, чтобы вызвать нужный эффект, и вообще результаты исследований по теме влияния ресвератрола на здоровье и долголетие достаточно противоречивы.

Сигнальный путь mTOR-киназы могут ингибировать лекарственные средства рапамицин и метформин. Но рапамицин, антибиотик и иммуносупрессор, имеет серьезные побочные эффекты, и, конечно, не может идти речи об его использовании для продления жизни человека. Можно ли применять на здоровых людях препарат для лечения сахарного диабета 2-го типа метформин, который, помимо влияния на mTOR-киназу, активирует сигнальный путь АМФК, тоже пока под вопросом.

На самом деле, механизмы действия ограничения калорийности пищи на продолжительность жизни до сих пор до конца не понятны. Относительно всех гипотез существуют как подтверждающие их данные, так и опровергающие. Видимо, это связано с тем, что ограничение калорийности сопровождается сложными системными изменениями в организме. Сигнальные пути, которые задействованы в этих процессах, тесно и гибко взаимодействуют между собой и не всегда выдают в итоге одинаковый результат. Таким образом, несмотря на серьезные подвижки в понимании механизмов процесса старения, «таблетки от старения», по крайней мере надежной и гарантированно безвредной, пока не существует. Зато каждый свободен в реализации «сложного» пути – следить за своей диетой и, если и не дожить до ста лет, как минимум лучше себя чувствовать.

По: (Lee, Min, 2013; Martin et al., 2016)



Некоторым мелким животным (грызунам, летучим мышам, белкам) удалось преодолеть проблему старения, а также развития онкологических заболеваний, как и очень крупным животным вроде слонов. Разные виды используют для этого разные молекулярные механизмы. Например, у голых землекопов клетки не могут располагаться друг около друга так плотно, как это бывает на ранних этапах развития раковой опухоли. Защитные системы слепышей используют по отношению к раку тактику «выжженной земли», убивая не только раковую клетку, но и все ее окружение, среди которого могут оказаться потенциально опасные клетки. Изучив, эти механизмы, мы можем попытаться имитировать их фармакологическими методами и применить к человеку. По: (Gorbunova et al., 2014)

Stevens, Thornton, 2017). Известно несколько сотен генов дрожжей и нематод, функция которых связана со старением, но у человека эти гены в основном функционируют не так или отсутствуют вовсе.

Один из вариантов, как обойти эту проблему, – «подгонять решение под ответ». Существуют животные, которые преодолели проблему старения и живут долго: продолжительность жизни хорошо коррелирует с размером организма, но некоторые животные выбиваются из этой закономерности. К ним относятся грызуны – голые землекопы и слепыши, некоторые летучие мыши, птицы, очень крупные млекопитающие. Можно изучить, чем они отличаются от не долгоживущих организмов, и пытаться имитировать фармакологическими

агентами действие генных вариантов, отвечающих за долгую жизнь (Gorbunova et al., 2014).

Эксперименты, которые «провелись сами собой», могут быть найдены и в человеческих популяциях. Сегодня ведутся исследования геномов людей, которые прожили более 100 лет (Pusa et al., 2017), с тем соображением, что эти люди «выиграли в генетическую лотерею». И выявление связанных с их долгожительством вариантов генов (аллелей) может указать нам, какие вещества способны воспроизвести этот эффект в общей популяции.

Некоторые потенциальные геропротекторы являются давно применяющимися в медицине лекарствами (например, упоминавшийся выше метформин), и исследование течения старческих заболеваний у людей,



Если старение является «сборником симптомов», таких как диабет 2-го типа, инсульты, инфаркты, почему бы не оставить попытки объять необъятное и не попытаться лечить только эти заболевания?

Ведь уже пытались сделать универсальное лекарство, например, связанное с увеличением теломер, и не получилось?

принимая их по сторонним показаниям, может помочь нам выявить наиболее перспективные вещества.

Многообещающим направлением является поиск биомаркеров старения – показателей, скорость изменения которых за сравнительно небольшой промежуток времени, например за год, достаточно достоверно отражает общую скорость этого процесса (Sprott, 2010). Использование биомаркеров позволит напрямую исследовать эффективность геропротекторов, не требуя наблюдения в течение всей жизни.

Ио будущем борьбы со старением. Приведу сначала в пример статистику по выживаемости пациентов с онкологическими заболеваниями. Хотя нам до сих пор кажется, что рак – это приговор, по многим видам опухолей цифры выживаемости и наступления долгосрочной ремиссии выросли на десятки процентов, например, для рака простаты – с 30 до 70%. Долгое время шли фундаментальные исследования, а сейчас мы видим плоды работы, которая началась в середине XX в. Вероятно, и результаты борьбы со старением будут такой же «тихой революцией». Мы не проснемся и не прочитаем в заголовках газет, что старение побеждено. Это будет постепенный процесс, которому предшествовало постепенное накопление новых данных. Сначала мы узнаем, что увеличение жизни в принципе возможно, затем обнаружим все большее число работающих геропротекторов, затем начнет расти продолжительность жизни... И когда-нибудь мы обернемся назад и увидим, что прогресс действительно есть.

Литература

Blagosklonny M. V. Calorie restriction: decelerating mTOR-driven aging from cells to organisms (including humans) // *Cell Cycle*. 2010. V. 9. N. 4. P. 683–688.

Colman R. J., Anderson R. M., Johnson S. C. et al. Caloric restriction delays disease onset and mortality in rhesus monkeys // *Science*. 2009. V. 325. N. 5937. P. 201–204.

de Magalhães J. P., Stevens M., Thornton D. The business of anti-aging science // *Trends in biotechnology*. 2017. V. 35. N. 11. P. 1062–1073.



Лечение симптомов не всегда оправдывает себя, если проводить аналогии с медициной как таковой. Мы предполагаем, что старческие заболевания являются различными гранями единого процесса. Несомненно, исследования старческих заболеваний – это важное направление биологии старения, но мы, анализируя разные аспекты, хотим увидеть в них общее. Теломеры – это участки на концах хромосом, которые защищают их при копировании и с количеством делений клетки укорачиваются. Когда они совсем «изнашиваются», клетка гибнет. Действительно, еще несколько десятилетий назад выдвигалась идея, что для увеличения продолжительности жизни можно удлинять теломеры. Эксперименты на мышах показывают, что с увеличением активности теломеразы (фермента, способного наращивать теломеры) растет продолжительность жизни мышей, при этом не увеличивается частота опухолевых заболеваний (de Jesus et al., 2012). Но у мышей, как вообще у небольших животных, теломераза работает всегда, и в этих экспериментах ее активность только усиливается. На человека и другие крупные организмы это транслировать сложно. У человека теломераза работает только в эмбриональных и опухолевых клетках, и ее активация может вызвать онкологические заболевания. Считается, что укорочение теломер и последующая гибель клетки являются предохранительным механизмом от злокачественного перерождения. Для всего же остального нам нужна высокопроизводительная методика проверки гипотез: если мы каждую будем проверять десятки лет, ответы получим очень скоро

Горбунова В., Селуанов А., Zhang Z. et al. Comparative genetics of longevity and cancer: insights from long-lived rodents // *Nat Rev Genet*. 2014. V. 15. N. 8. P. 531–540.

Puca A. A., Spinelli C., Accardi G. et al. Centenarians as a model to discover genetic and epigenetic signatures of healthy ageing // *Mechanisms of ageing and development*. 2017. doi.org/10.1016/j.mad.2017.10.004.

Sinha M., Jang Y. C., Oh J. et al. Restoring systemic GDF11 levels reverses age-related dysfunction in mouse skeletal muscle // *Science*. 2014. V. 344. N. 6184. P. 649–652.

Sprott R. L. Biomarkers of aging and disease: introduction and definitions // *Experimental gerontology*. 2010. V. 45. N. 1. P. 2–4.



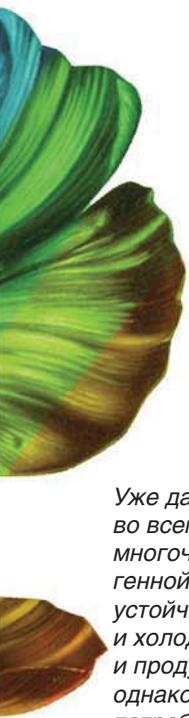
ГМ



*и другие
генетические*

ТАЙНЫ СЕЛЕКЦИИ РАСТЕНИЙ





Уже давно растениеводство во всем мире радуется многочисленным подаркам генной инженерии – устойчивым к вредителям и холоду, быстрорастущим и продуктивным растениям, однако для среднестатистического потребителя метка «ГМО» сегодня сродни печати Каина. Почему так? Один ответ лежит на поверхности: генные инженеры делают сегодня то, чего природа не смогла бы сделать никогда или, по крайней мере, очень нескоро, что не только впечатляет, но и пугает. Людей настораживает и то, что сами создатели ГМО не торопятся полностью исключить риск возможных негативных последствий их распространения. С другой стороны, согласно свежим опросам «Левада-центр», всего лишь 30 % россиян точно знают, что гены содержатся во всех растениях, а не только в генетически модифицированных, поэтому тотальная ГМО-боязнь во многом вызвана тотальной «генетической» безграмотностью. Между тем спектр современных методов селекции новых сортов растений очень широк, а среди разрешенных есть не менее рискованные и/или практически неизвестные широкой общественности подходы

Ключевые слова: селекция растений, генная инженерия, ГМО, CRISPR/CAS, РНК-интерференция, эпигенетика.

Key words: plant selection, gene engineering, GMO, CRISPR/CAS, RNA interference, epigenetics



ВОЛЧОК Анастасия Александровна – кандидат химических наук, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологии ферментов ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН (Москва). Победитель весеннего финала «У.М.Н.И.К.» Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (2013). Автор и соавтор 11 научных публикаций и 1 патента



НЮ Валерия Анатольевна – специалист по качеству FMCG-товаров и безрецептурных лекарственных средств в центральном офисе компании «Джонсон & Джонсон» (Москва)

© А. А. Волчок, В. А. Ню, 2018

ГМО расшифровывается как *генетически модифицированный организм*, что подразумевает то или иное воздействие на *геном* растений – хранилище наследственной информации, «святую святых» живых клеток. Сегодня большинство новейших методов селекции растений тяготеют к внесению изменений непосредственно в структуру ДНК. В результате, по определению ВОЗ, мы и получаем ГМ-растения – новые сорта, которые не могли образоваться в природе в результате размножения или естественной *рекомбинации* («перемешивания генов»).

Все это так, но в изменении генома растений на самом деле нет ничего нового и революционного! Человек всегда так или иначе оказывал влияние на генетику растений, которые выращивал, хотя и понятия не имел о генах.

Путь к современным культурным растениям, которые мы употребляем в пищу, начался примерно 10 тыс. лет назад, когда появилось сельское хозяйство. Человек выбирал самые здоровые и пригодные для еды растения и планомерно их выращивал. В сельском хозяйстве нет места закону естественного отбора: согласно закону человека (*искусственному отбору*), выживает только то растение, которое отвечает его запросам.

Ярким примером расхождения целей естественного отбора и селекции служит кукуруза. У предка этого злака зерна при созревании легко отделялись от початка и падали на землю. Такая кукуруза прекрасно размножалась, но человек неизбежно терял большую часть урожая. Что же мы

В современной истории селекции есть две особенно значительные вехи. Первая – открытие Г. Менделем в конце XIX в. законов наследования, в результате чего появились понятия гибридизации (скрещивания) и отбора. Вторая – открытие структуры ДНК Д. Уотсоном и Ф. Криком в 1953 г. и появление центральной догмы молекулярной биологии, описывающей пути хранения, воспроизведения и передачи генетического материала в живых организмах.

Позднее были обнаружены способы прямого воздействия на ДНК: в 1960-х гг. – путем провоцирования мутаций, в 1983 г. – с помощью искусственно созданной ДНК. Тем не менее традиционные методики селекции, такие как скрещивание, хотя и претерпели значительные изменения, продолжают применяться на равных с новейшими методами. Именно разнообразие подходов дает современным селекционерам эффективный набор инструментов, с помощью которых они могут «по заказу» создавать растения будущего



Современная сахарная кукуруза с ее могучими початками, доместигированная в Южной Америке (слева внизу), разительно отличается от своего далекого предка (вверху).

© [Freemages.com/Nathalie Dulex](https://www.freemages.com/Nathalie-Dulex)

видим теперь? Ядра современной кукурузы на момент зрелости прочно прикреплены к початку. Так же обстоит дело и с другими зерновыми культурами – рисом, ячменем, пшеницей.

Все эти новые виды культурных растений, по сути, являются результатом модификации генома разными способами, например, путем скрещивания разных сортов, что приводит к появлению совершенно новых культурных форм. Огромный материал для искусственного (так же как и для естественного) отбора предоставляет природный *мутационный процесс*. Ведь спонтанные *мутации* (изменения) в ДНК растений происходят постоянно, например, в результате действия солнечного излучения. И если такая мутация приводит к появлению особей с заметными положительными отличиями, их остается только тиражировать – вот и вся селекция. Примером служит большое разнообразие современных овощей семейства крестоцветных: брокколи, цветная и белокочанная капуста происходят от одного общего предка (Kempin *et al.*, 1995).

◀ © [Freemages.com/Nathalie Dulex](https://www.freemages.com/Nathalie-Dulex)



На пути развития технологий, использующих принципы синтетической биологии, еще остается множество социальных барьеров, несмотря на то, что современные ГМ-продукты обладают высоким уровнем безопасности. В свое время большой резонанс вызвали справедливо оспариваемые статьи о развитии раковых опухолей у крыс и гибели бабочек, спровоцированных использованием ГМО (Walker, 2006). В результате общенациональный опрос в США, проведенный *Hart Research Associates* в 2010 г., показал, что не более 10% людей не связывают генную инженерию с угрозой биотерроризма, нанесением вреда окружающей среде и здоровью человека, а также не считают создание искусственной жизни чем-то аморальным. В то же время анализ общественного мнения в Великобритании показал, что более половины населения признает полезность новых биотехнологий для общества, несмотря на сопряженный с ними экологический риск (Philp *et al.*, 2014). Об уровне биологического образования в России можно судить по опросу, проведенному в 2015 г. в Казани, где 55% горожан высказались за полный запрет ГМО, при том что лишь 15% респондентов честно признались, что затрудняются сказать о том, что такое ГМО, а большая часть (48%!) предложили изъять из продажи «любые пищевые продукты, содержащие гены» (Бизнес Online, 2015). Если учесть, что «гены» имеются в клетках всех живых организмов, включая бактерии, то таких борцов ожидает безрадостное гастрономическое будущее: крахмал с маслом на первое и сахар с соком на второе, ведь даже в обычном молоке присутствуют соматические клетки со своим геномным содержанием



В селекции растений применяют небольшие «векторы» на основе Ti-плазмид (*вверху*) агробактерий, вызывающих в природе формирование опухолей-галлов у зараженных растений. У векторов на место «онкогенов» встраивают нужный трансген и маркер (например, гены устойчивости к гербицидам), чтобы позже отобрать трансформированные растительные клетки. При инкубации любых частей растения с суспензией рекомбинантных агробактерий происходит эффективный, но случайный перенос рекомбинантной ДНК в растительный геном

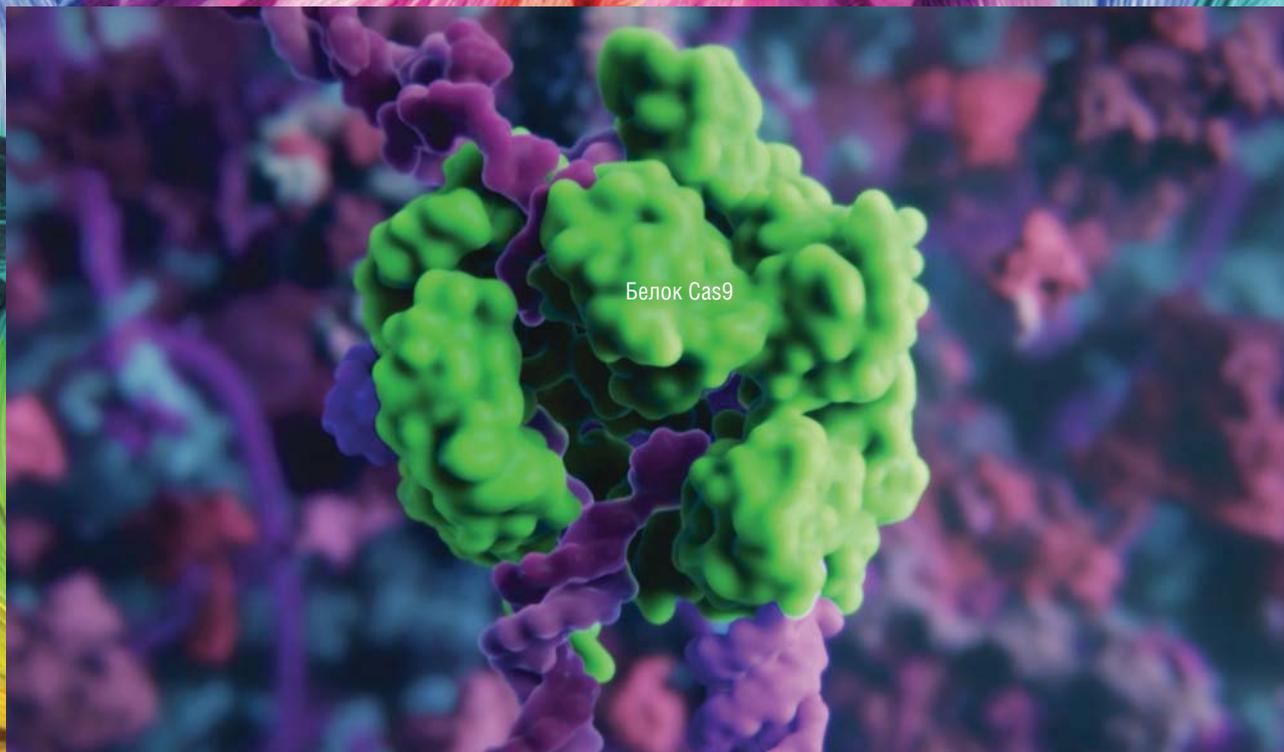
Дальше – больше. За последние 80 лет люди получили более 3 тыс. новых сортов растений, воздействуя на исходные формы излучением или химическими реагентами, чтобы вызвать непредсказуемые мутации в ДНК. Растения, полученные в результате такого искусственно вызванного ненаправленного мутагенеза, успешно возделывают и поныне. Более того, как это ни парадоксально, они никогда не считались ГМО. Впоследствии в обществе распространилось крайне ошибочное мнение, что первые генетически модифицированные растения появились лишь в результате использования методов генной инженерии, целенаправленно воздействующих на ДНК.

В любом случае оценивать новый сорт следует исходя из его характеристик, а не того или иного пути селекции. А чтобы составить собственное мнение об опасности ГМО, нужно как минимум понимать, откуда они берутся.

Рецепт ГМО: режь, исправляй, сшивай

Так как же сделать ГМО из обычного растения? Рецепт довольно прост. Возьмите геном растительной клетки и добавьте в него «генетическую конструкцию» – последовательность ДНК, кодирующую производство нужного белка. Доставить ген можно с помощью *вектора* – молекулы ДНК или РНК, способной «размножиться» и переносить чужеродный наследственный материал из клетки в клетку. Таким образом можно добавить сразу несколько генов, например, с помощью вектора на основе *кольцевой бактериальной плазмиды*.

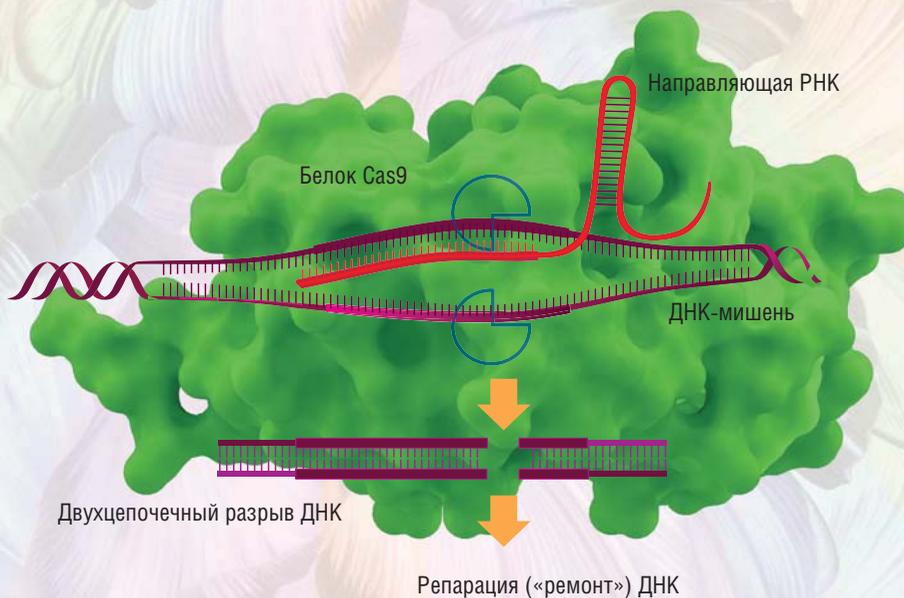
На первый взгляд все просто, если не задумываться о том, как вставить новый генный фрагмент именно в тот участок ДНК растительной клетки, который нам нужен. А ведь в этом и заключается самая сложная задача редактирования генома, результатом которого являются современные ГМО.



Белок Cas9

Комплекс CRISPR-Cas9 включает в себя так называемую «гидовую» РНК и белок Cas9. Этот комплекс распознает и присоединяется к участку ДНК, где находится целевой ген (протоспейсер). Благодаря этому белок Cas9 разрезает ДНК в строго определенном месте. В результате возникает разрыв ДНК, куда может быть встроен нужный трансген. По: (Северинов и др., 2016).

На фото сверху – генно-инженерный комплекс CRISPR-Cas9, который перерезает нить ДНК (зеленым цветом отмечен белок Cas9). Визуализация от Visual Science и Сколтеха



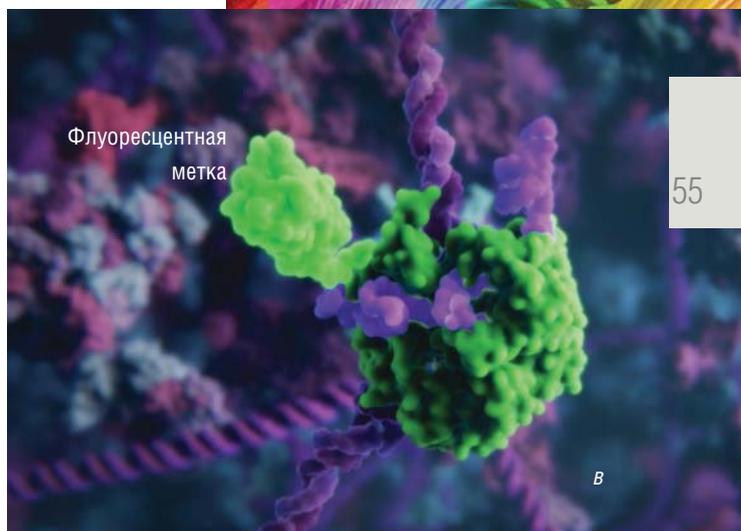
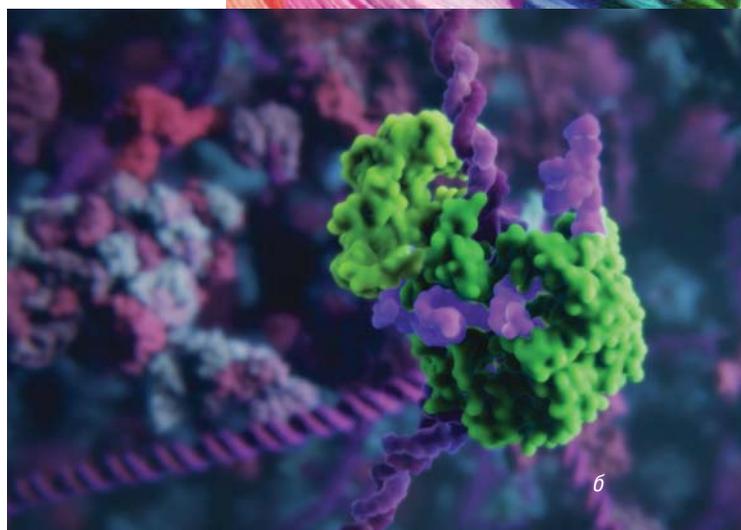
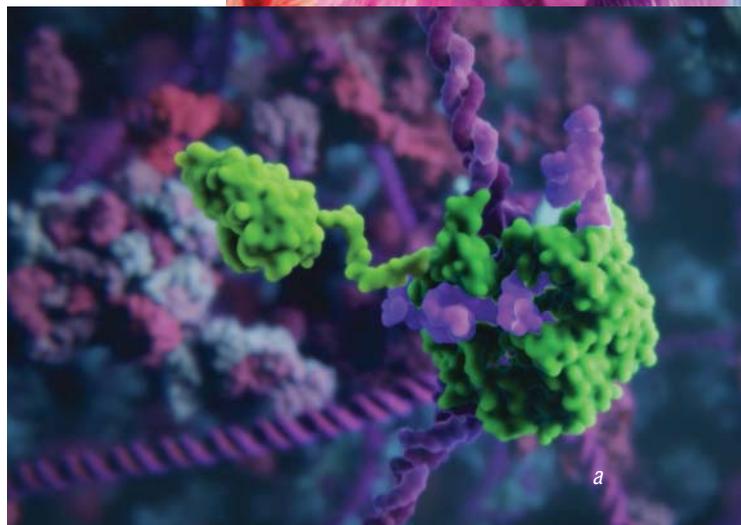
Для того, чтобы расщеплять молекулы ДНК в точно заданных участках, сначала стали использовать *рестриктазы* – ферменты-«ножницы», способные узнавать определенные последовательности нуклеотидов (строительных блоков ДНК). Функцию сшивки ДНК-цепи исполняли другие ферменты – ДНК-лигазы, призванные исправлять (*репарировать*) повреждения в структуре ДНК.

Сегодня, как и 30–40 лет назад, эти методы активно используют для получения новых вариантов бактериальных и вирусных геномов. А вот для успешной работы с геномами высших организмов (таких как растения, животные и мы с вами) этих инструментов оказалось недостаточно. Дело в том, что рестриктазы способны узнавать лишь короткие последовательности ДНК, что вполне достаточно для эффективного расщепления коротких ДНК-цепей бактерий, где такие участки встречаются нечасто. Но геномы высших организмов содержат огромное множество коротких последовательностей нуклеотидов, узнаваемых рестриктазами, поэтому «прицельность» метода оказывается очень плохой.

Для редактирования таких геномов пришлось создавать свои инструменты точечного воздействия на ДНК: сначала *олигонуклеотид-направленный мутагенез* растений, затем *сайт-направленный мутагенез* с использованием ферментов-нуклеаз с «цинковыми пальцами», TALENs-нуклеаз и даже мегануклеаз (Закиян, 2014; Daboussi, 2015). Но лишь с открытием в 2012–2013 гг. знаменитой технологии CRISPR/Cas9 ученые вплотную подошли к точному исправлению или редактированию генов и геномов (Song, 2013). Возможность вносить контролируемые изменения в наследственную информацию живых клеток стала настоящим прорывом и повлекла за собой глобальные изменения в селекции.

Систему CRISPR-Cas9 можно использовать не только для разрезания ДНК и встраивания трансгена. Если инактивировать белок Cas9, соединив его с крупнель-доменом, кодирующим белок KLF – своеобразный контроллер экспрессии генов, то такой комплекс остается на целевой ДНК, влияя на активность соседних участков генома (а). Если слить Cas9 с ферментом гистонацетилтрансферазой, то комплекс будет влиять на упаковку ДНК в этом участке (б). Cas9, слитый с флуоресцентным белком, может играть роль метки для микроскопии, обозначая определенный участок ДНК (в).

Визуализация от Visual Science и Сколтех





С помощью генного редактирования можно получать высокоурожайные растения, устойчивые к вредителям и гербицидам. Слева – посевы генетически модифицированной сои, устойчивой к гербициду глифосату, справа – обычной культурной сои, засоренные сорняками. Фото В. Дорохова. По: (Дорохов, 2004)

Насколько остры генетические ножницы?

Основой системы CRISPR/Cas9 стал своеобразный молекулярный механизм, с помощью которого бактерии защищаются от *бактериофагов* (бактериальных вирусов). При проникновении патогенного вируса в бактерию запускается «иммунная» реакция, приводящая к расщеплению чужеродной геной последовательности. Это делает белок-«ножницы» Cas после того, как захватчик распознан по геному «портрету» – фрагментам вирусной ДНК, хранящимся в участке CRISPR бактериального генома.

На основе бактериальных CRISPR/Cas-систем ученые создали упрощенные искусственные молекулярные конструкции, включающие белок Cas9 и обеспечивающие невероятную точность при разрезании цепей ДНК (Закиян, 2014). С их помощью стало возможным проводить все виды модификаций генома: вносить точечные мутации, встраивать, исправлять, заменять или удалять крупные ДНК-последовательности и фрагменты выбранных генов.

С помощью системы CRISPR/Cas9 уже внесены точные модификации в геном множества растений, в частности, получены новые сорта риса, устойчивые к поражению гнилью, вызываемой фитопатогенными бактериями *Xanthomonas*, а также знаменитый «золотой

рис», содержащий ген *бета-каротина* (Chen, Gao, 2013). Была решена и нетривиальная задача – создание растений-«биофабрик», способных синтезировать белки человека: инсулин, необходимый для больных сахарным диабетом, и альбумин, применяемый при лечении ожогов и цирроза.

Но несмотря на подтвержденную эффективность системы CRISPR/Cas9 все еще остается риск неспецифического воздействия на ДНК и нарушения последовательности кодирующих генов. Неудивительно, что настоящий взрыв в мировом сообществе вызвала публикация китайских ученых из Университета Сунь Ятсена (КНР), несколько лет назад впервые применивших CRISPR/Cas9 для исправления генома эмбрионов человека с целью лечения генетического заболевания *талассемии*. При этом лишь для 4-х из 86 подопытных оплодотворенных яйцеклеток удалось достичь положительного результата (Liang *et al.*, 2015).

Сегодня ряд специалистов призывают к мораторию на любые эксперименты, связанные с редактированием генов человеческих эмбрионов или половых клеток. Их опасения можно понять: когда речь идет о геноме человека, успех должен быть гарантирован. И все же прогресс не остановить: недавно Великобритания стала второй страной, где исследователям было позволено проводить подобные эксперименты (Ершов, 2016).

Тем не менее страх человека перед вмешательством в геном живых организмов не только не убывает, но и в некоторых случаях даже продолжает расти. Вследствие этого оборот и потребление продуктов геномного редактирования растений строго контролируются на законодательном уровне, что препятствует переходу мирового сельского хозяйства на использование продвинутого метода селекции. Однако ученые не сдаются и предлагают сократить до минимума и даже исключить возможные риски негативных последствий введения новых генов в организм растений.

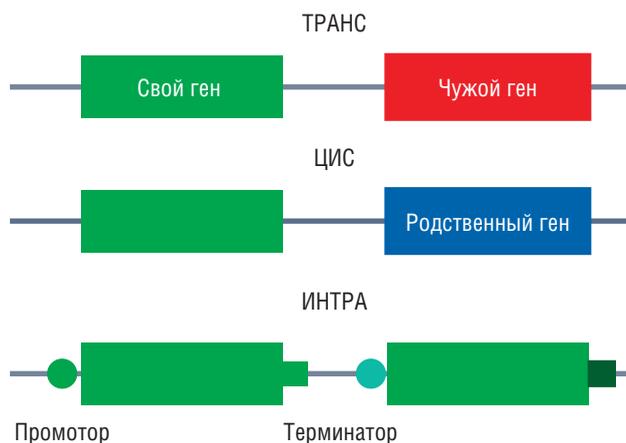
Снижаем риски: от ТРАНС к ЦИС и ниже

Сейчас прохождение всех тестов на биобезопасность и вывод на рынок генетически модифицированных организмов, в том числе растений, жестко регулируется на международном уровне. В этом вопросе правовая база ЕС опирается на директиву Европейского парламента и Совета Европейского союза от 12 марта 2001 г. «О преднамеренном выпуске в окружающую среду генетически модифицированных организмов». Примечательно, что данный нормативный документ исключает из перечня ГМО организмы, полученные путем скрещивания, экстракорпорального оплодотворения, полиплоидной индукции, возникновения мутаций и слияния протопластов скрещиваемых видов (соматическая гибридизация).

Законодательство РФ в области ГМО растительного происхождения регулируют 4 федеральных закона и 6 постановлений Правительства РФ, в том числе федеральный закон № 86-ФЗ «О государственном регулировании в области генно-инженерной деятельности» от 5 июля 1996 г. Ожидается вступление в силу постановления, позволяющего узаконить возделывание ГМ-культур на территории России, которые пока можно выращивать только на опытных участках. Для ввоза в нашу страну сегодня разрешены 22 линии пищевых и кормовых ГМ-растений, среди которых кукуруза, картофель, соя, сахарная свекла и рис, а любые ГМО и ГМ-продукты должны проходить обязательную регистрацию.

В свою очередь, мировое научное сообщество считает, что нужно различать ГМО по способу получения и делать послабления для продуктов, полученных умеренным вмешательством. Так появилась система деления ГМО на три вида: ТРАНС, ЦИС и ИНТРА.

Трансгенными сегодня называют организмы с искусственно введенными генами, которые в принципе не могут быть приобретены путем естественного скрещивания. Это могут быть гены растений других видов или животных, например рис, в геном которого встроен ген кукурузы. Потенциальная опасность трансгенных



По способу получения ГМ-растения делят на три вида: ТРАНС, содержащие вставку чужеродной ДНК; ЦИС, содержащие гены того же или родственного вида; ИНТРА, в геном которых введены их же собственные гены, но с другими регуляторными участками

культур в том, что приобретенные таким образом новые качества могут повлиять на пригодность к использованию в пищевых или кормовых целях, а затем передаться диким родственникам, что может иметь непредсказуемые последствия для природных экосистем. По этой причине законодательные и регулирующие органы развитых стран уделяют большое внимание биобезопасности таких культур, чтобы снизить риск экологических сдвигов.

В геном *цисгенных* растений могут быть введены гены организмов того же или близких видов, с которыми возможно скрещивание в естественных условиях. При этом сам целевой ген не должен быть видоизменен или оторван от своих регуляторных последовательностей. Пример цисгенного растения – картофель, не подверженный картофельной гнили благодаря встраиванию генов диких видов картофеля из Анд, устойчивых к этому заболеванию. Такой картофель сейчас создается в Бельгии (VIB's fact series, 2015). Важно, что цисгенезис не привносит в организм растения принципиально новых для него признаков и, по сути, аналогичен традиционному скрещиванию с родственными дикими формами.

Интрагенезис можно считать продолжением концепции цисгенезиса, но в этом случае в ДНК растения встраивают его собственный ген, совмещенный с регуляторными участками других его генов. В ходе такой модификации искусственно создаются новые комбинации из уже имеющихся в растении участков ДНК (Holme, 2013). Подобное изменение регуляции активности генов позволяет усиливать полезные признаки (например, способность накапливать витамины в листьях) или, напротив, устранять или сводить к минимуму нежелательные.



Это удивительное дерево в оранжерее Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (Новосибирск), которое называют «Деревом дружбы» или деревом-садом, появилось в результате прививки на ствол грейпфрута сразу нескольких видов и сортов цитрусовых: мандаринов, лимонов, апельсинов, помело и других.

Фото Т. Морозовой

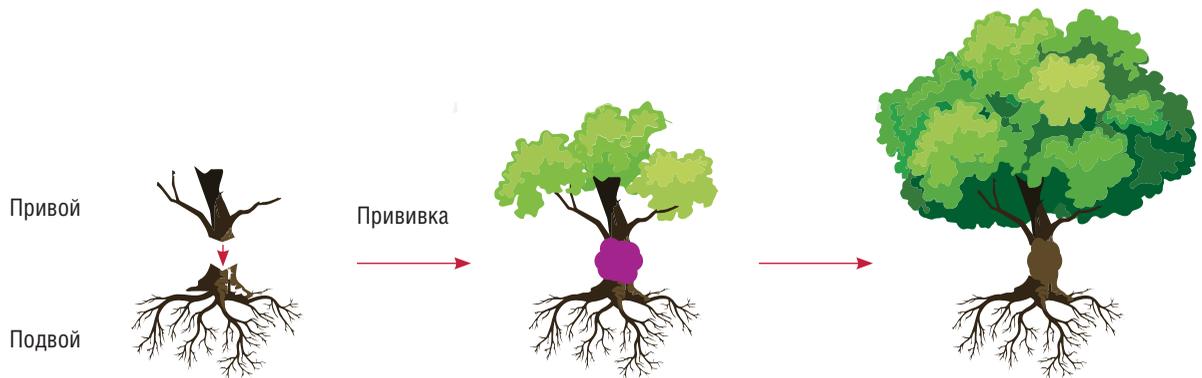
Между тем при современном регулировании оборота ГМО-различия между трансгенными и цисгенными растениями не учитываются, хотя эти типы кардинально различаются. Из-за жестких рамок, установленных законодательством, получение и использование цисгенных растений серьезно затруднено, что может заблокировать или значительно отсрочить проведение дальнейших исследований по улучшению сортов сельскохозяйственных культур. Пока лишь в Канаде контроль за цисгенными растениями менее строг по сравнению с трансгенными (Schouten, 2006).

Соматический Франкенштейн

Интересно то, что в мощной законодательной «обороне» против ГМО оказались бреши, появившиеся благодаря ряду парадоксов и допущений, которые на руку смелым селекционерам. Один из примеров – *соматическая гибридизация*. Другими словами, формирование новых форм растений путем комбинирования ядерных и других (митохондриальных и пластидных) генов при культивировании и слиянии обычных соматических клеток, составляющих ткань растения и не принимающих участия в половом размножении. Этот тип гибридизации растений достаточно широко распространен, при этом на территории ЕС такие соматические гибриды не считаются ГМО. Соответственно их оборот не подвергается строгому контролю.

Что же это за волшебный способ селекции? На первом этапе клетки растений двух разных видов (как правило, культурного и дикорастущего) обрабатывают специальными агентами, разрушающими клеточную оболочку, чтобы получить *протопласты*. Далее химическим или механическим способом провоцируют слипание и слияние протопластов, которые в дальнейшем восстанавливают общую клеточную оболочку. В результате из двух и более «родительских» клеток образуется новый живой организм – *регенерант*, или *соматический гибрид*.

Судьба родительских геномов при этом может быть различной. Два ядра могут синхронно делиться без слияния, образуя двуядерные дочерние клетки. Если же они сольются во время митотического деления, то в итоге получатся устойчивые одноядерные дочерние клетки, несущие смешанный генетический материал. Что касается внеядерного генома, то он тоже может быть получен как от одного родителя, так и быть смешанным. С помощью соматической гибридизации можно получать самые разные гибриды, включая такие, создание которых в принципе невозможно половым путем: например, гибриды, несущие цитоплазматические гены не от материнского растения, а от обоих родителей; «цибриды», содержащие ядро от одного из родителей, а цитоплазму от другого, и др.



В ходе прививки образуется своего рода «кентавр» – растение, состоящее из двух генетически разнородных особей (подвоя внизу и привоя сверху). Но, хотя при этом геномы исходных растений остаются неизменными, нельзя быть уверенными, что никакого обмена наследственной информацией (например, в виде РНК) между подвоем и привоем не происходит

Использование соматических клеток при гибридизации позволяет успешно работать с отдаленными, обычно нескрещиваемыми видами и полностью стерильными растениями. Иными словами, этот метод используют, если возникает необходимость преодолеть несовместимость культурных и дикорастущих видов. Таким способом можно получать межклассовые гибридные клеточные колонии: рис + соя, ячмень + табак и даже табак + мышь (Макопkawkeyoon, 1995)! Правда, большинство таких регенерантов сами размножаться уже не способны, а иногда и вовсе представляют собой скорее скопление клеток, чем полноценный организм.

Интересно, что, хотя метод соматической гибридизации влечет за собой значительную «перетасовку» генов, а его результаты очень непредсказуемы, он, тем не менее, разрешен для использования в сельском хозяйстве, в отличие от методов направленного мутагенеза. Как говорила Алиса в Стране чудес, «чем дальше, тем страньше».

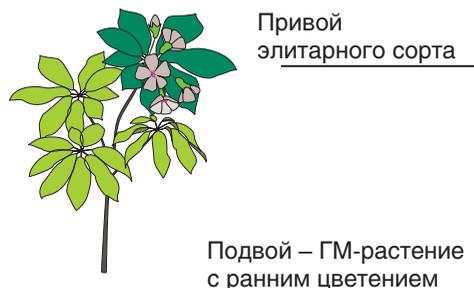
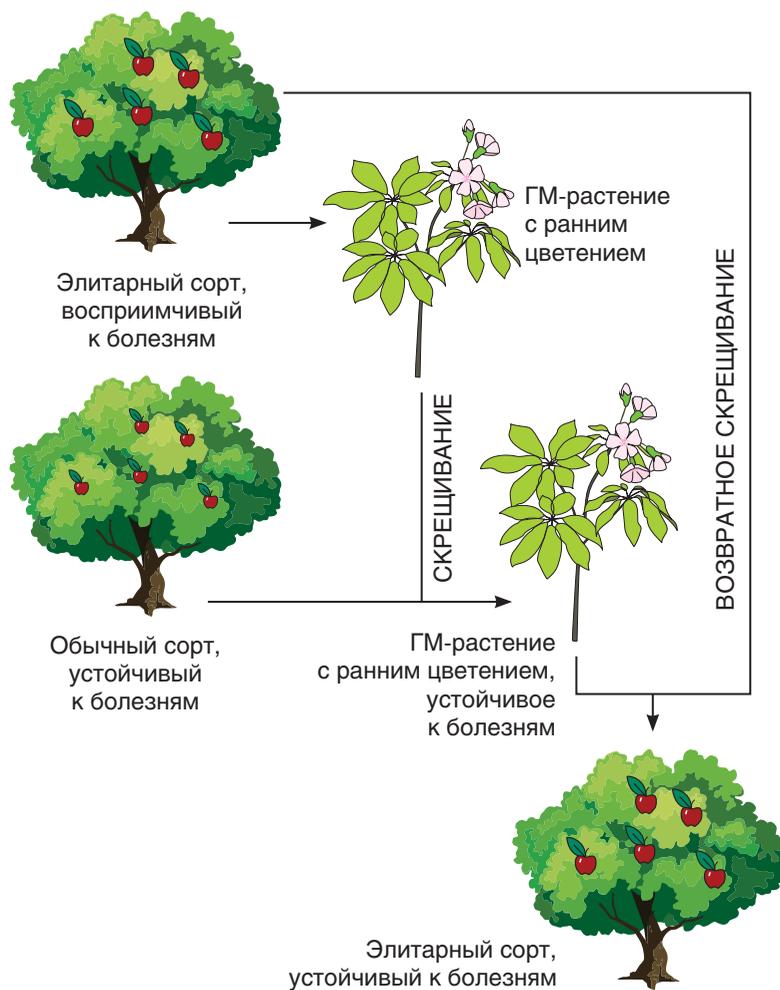
Что скрывается под прививкой

А теперь пришло время обратиться к методам, которые должны удовлетворить стандарты даже самых ярых приверженцев натуральных продуктов. Ведь методы эти используются уже очень давно, и они не встречают общественного или законодательного сопротивления. Но оказывается, что с точки зрения генетики эти методы вовсе не «безгрешны», а их комбинация с новейшими подходами открывает перспективы, о которых вы, возможно, и не подозревали.

Например, давно известным способом размножения растений, с которым повсеместно сталкиваются садоводы-любители, является прививка. Суть ее в том,



Результатом прививки может быть и «химера» – растение из генетически разнородных клеток. Пример – пестролистный фикус (вверху), результат соединения двух линий клеток с разным содержанием хлоропластов.
© CC-BY-SA 2.0. Some rights reserved by dinesh_valke



Для ускорения селекции применяются различные методики скрещивания растений. При использовании методик ускоренного и возвратного скрещивания для получения устойчивого к болезням гибрида восприимчивый сорт модифицируют генами раннего цветения, а затем скрещивают с устойчивой культурой (слева). Полученное ГМ-потомство может быть скрещено с оригинальным сортом, чтобы удалить трансген. Ветвь элитарного сорта можно привить на трансгенное дерево с ранним цветением (вверху). Белки, вызывающие цветение, будут перемещаться в привой и стимулировать цветение. Полученные цветы затем могут быть в дальнейшем использованы как доноры пыльцы. По: (VIB's fact series, 2016)

что стебель одного растения (*привой*) пересаживают на корень другого (*подвой*). В конце XIX в. этот метод помог спасти европейские сорта винограда *Vitis vinifera* от нашествия насекомого *филлоксеры*, повреждающего корни. Прививку осуществляли на североамериканский виноград *Vitis labrusca*, устойчивый к этому вредителю (Трошин, 1999). А в 2003 г. фермер из Орегона Р. Баур с помощью прививки получил настоящий «томат» (томат + табак), совсем как у Гомера из популярного американского мультсериала «Симпсоны». Пробы показали наличие в томате никотина, правда, только в листьях, а не в плодах (Philipkoski, 2003).

Что же происходит с растением в результате прививки, если геномы подвоя и привоя не меняются? Во-первых, у подвоя могут увеличиваться или уменьшаться сила роста, размер плодов, сроки созревания. При этом новые признаки не передаются потомству в случае размножения семенами, так как не являются наследственными. Во-вторых, в результате использования прививки возможны «химерные» изменения, и в итоге привитое растение будет состоять из генетически разнородных клеток. Этот эффект также не наследуется. Его часто

используют в декоративном цветоводстве и садоводстве для получения растений с мозаичной окраской листьев или соцветий.

В ходе прививки возможно и появление настоящих мутаций, спровоцированных специфическими веществами (этилметансульфонатом, этилимином и др.), которые поступают к привою от подвоя. Однако частота появления мутаций после прививок крайне низка. Неоспоримым преимуществом прививок является возможность размножить мутации, не передающиеся по наследству, а основным недостатком – большой объем исходного материала.

Прививка растений – это, безусловно, метод проверенный и безопасный. Но что произойдет, если в качестве подвоя использовать растение, перенесшее генетическую модификацию? Будет ли полученное растение ГМО? Оказывается, нет: согласно законам плоды таких гибридов не входят в перечень ГМО, так как ДНК привоя остается неизменной. Однако мы не можем быть уверены в том, что никакого обмена наследственной информацией между привоем и подвоем не происходит. К примеру, от корневища к привою могут

перейти молекулы РНК, регулирующие работу генома, а это означает, что нельзя предсказать и уровень производства тех или иных белков в привитом растении.

Берем генетический разбег!

Но прививка – это далеко не единственный окольный путь для создания новых сортов с измененной активностью ДНК. *Ускоренное скрещивание* деревьев и кустарников (*fast-track breeding*) – это даже не метод, а целый комплекс методик, направленных на сокращение сроков получения новых сортов, что особенно важно для многолетних культур. Ведь цикл размножения деревьев с крупными плодами (например, ореха или сливы) может достигать до 10 лет и более (van Nocker, 2014). Это означает, что после посадки первого гибрида селекционер вынужден ждать 5–10 лет, пока тот вырастет и повзрослеет, чтобы продолжить работу. Если же необходимо провести несколько последовательных скрещиваний, выведение нового сорта дерева может занять и 30 лет. В современных условиях никто не готов столько ждать.

Чтобы максимально ускорить процесс, ученые давно поливают своих подопытных гормонами роста, выращивают их при высоких температурах и прибегают к другим уловкам, таким как ДНК-технологии. Среди безобидных можно отметить *маркер-вспомогательный отбор*, который заключается в анализе генома новых ростков или даже семян и отборе лучших гибридов задолго до того, как они превратятся во взрослые растения. Теперь растение уже не нужно обрабатывать

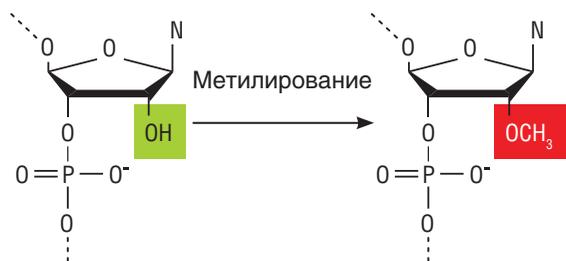
патогеном, чтобы понять, насколько оно к нему устойчиво, достаточно найти нужный ген в семечке. Основной недостаток такой селекции – ее высокая стоимость, поскольку скрининг ДНК – вещь недешевая.

Чтобы растение быстрее повзрослело, селекционеры иногда хитрят. Например, искусственно активируют гены, отвечающие за запуск механизма размножения, после чего начинает цвести и приносить плоды совсем молодое растение. Иногда в геном дерева вводят дополнительные гены, которые ускоряют процессы цветения и плодоношения, и время ожидания первого цветения саженцев сокращается до 1 года. При сочетании методик ускоренного и *возвратного* (когда гибрид скрещивают с одним из родителей) скрещиваний ген быстрого цветения можно сначала ввести в исходный сорт, а на последнем этапе селекции удалить его путем скрещивания генетически измененного гибрида с родительским растением.

Ускоренное скрещивание осуществляют также путем прививания на ГМ-подвой. Секрет в этом случае кроется в генетически измененном корневище, в котором активно работают гены, отвечающие за цветение. В результате из корневища к листьям поступают

Этот арбуз без косточек, мечта сладкоежек, не относится к ГМ-растениям. Он имеет 3 набора хромосом, которые «не делятся на 2», поэтому не могут давать семян. Этот гибрид получен в результате скрещивания диплоидных (2 набора) и тетраплоидных (4 набора) родительских линий.
© [Freemages.com/J David Eisenberg](https://www.freemages.com/J David Eisenberg)





В цепи ДНК перед каждым геном, содержащим информацию о том или ином белке, расположена последовательность, регулирующая работу этого гена, – «промотор». Промотор указывает место начала считывания ДНК, служа своеобразным «маяком» для фермента РНК-полимеразы, которая строит матричную РНК. Чтобы «выключить» ген, достаточно провести метилирование промотора, т. е. связать нуклеотиды, строительные блоки ДНК, с метильными группами (CH₃)

специфические белки, запускающие механизм взросления, и привой начинает цвести.

Таким образом, современные методы прививки и ускоренного скрещивания растений за внешней традиционностью таят в себе много настоящих генетических секретов. В то же время ученые, сталкиваясь с общественным мнением и жестким регулированием распространения ГМО, все чаще пытаются избежать внесения изменений непосредственно в растительную ДНК. И здесь мы вплотную подходим к самой загадочной группе современных методов селекции.

Эпигенетика: чуть-чуть не считается

Одними из самых молодых и суперсовременных альтернатив для селекционеров стали подходы *эпигенетики* – науки о наследуемых механизмах управления экспрессией генов (Marjori, 2015). Как работает наш генетический код, общеизвестно, но вот тонкости его надстройки (*эпи-* означает «над»), своего рода «дирижера», управляющего работой генома, во многом остаются загадкой.

Химеры, характеризующиеся смешением клеток или тканей различного генетического строения в одном и том же органе, часто являются следствием спонтанных мутаций. Склонностью мутировать и порождать химеры отличаются некоторые сорта фиалок. Цветки у таких растений состоят из двух генетически различных слоев клеток: один несет ответственность за основной фон окраски лепестков, другой – за цвет полосок. © СС0 1.0

Фото с <https://pixabay.com/>

Начало производства белков в клетке регулируется множеством факторов. У клетки также имеются приемы, заставляющие «замолчать» тот или иной ген, чтобы предотвратить производство уже ненужного белка: это и разрушение еще незрелых молекул РНК, считанных с генетической «матрицы», и создание «механических» препятствий для самого считывания ДНК (Marjori, 2014). В общем, эпигенетических сигналов в клетке очень много, они не до конца изучены, однако некоторые из них уже используются для селекции растений, которые попадают к нам на стол каждый день.

Подавить работу генов в клетке можно с помощью природного механизма – *РНК-зависимого ДНК-метилирования*, суть которого состоит в присоединении метильной группы (CH₃) к нуклеотиду *цитозину*, стоящему в определенном положении. В результате блокируется процесс считывания информации с ДНК на молекулу РНК (Zhang, 2013).

Метилирование ДНК у растений и животных осуществляется ферментами *ДНК-метилтрансферазы*. Сами по себе эти ферменты метилировать ДНК не могут: им нужны специальные некодирующие РНК, которые направляют метилтрансферазы к конкретным участкам ДНК. Более того, считается, что в метилировании ДНК участвуют еще два вида РНК: *малые интерферирующие РНК* и *микроРНК*. Все вместе эти молекулы и определяют, какой именно участок ДНК цепи нужно метилировать. Сегодня такие РНК можно ввести в растение с помощью разных методик, например, посредством вирусов растений или с помощью техник геномной инженерии (Deng, 2014).





Петуния – один из популярнейших на сегодня цветов-однолетников. Природная петуния имеет ярко окрашенные цветы типичного бордового цвета. В результате многолетней селекции были выведены сорта самой разной окраски: красной, белой, розовой, фиолетовой и голубой. А вот ярко-желтых и оранжевых петуний вывести не удалось. Эта желтая петуния получена путем генетической модификации с усилением биосинтеза флавоноидов – растительных полифенолов, более известных как витамин Р.
© Free Range Stock, www.freerangestock.com. Фото E. Yuen

Интересно, что если ученый изменяет признак растения с помощью ДНК-метилирования и при этом не вносит в геном никаких мутаций, то такое растение не считается ГМО. Если же некодирующие РНК не вводятся извне, а производятся самим растением благодаря геномному редактированию, то оно уже относится к генно-модифицированному.

Но и тут можно схитрить. Дело в том, что у растений метилирование определенных областей ДНК может наследоваться, т. е. передаваться от родителей к следующим поколениям (Jones, 2001). Благодаря ряду скрещиваний ГМ-растения с его природной формой можно получить гибрид, у которого нет измененной ДНК, но метилирование сохраняется. Такой гибрид уже не будет считаться генетически модифицированным.

Насколько метилирование безопасно? Достаточно, ведь метильные группы присоединяются к ДНК совсем не в случайных местах. Поэтому, в отличие от традиционных методов селекции, результаты такого воздействия предсказуемы: мы можем заранее выбрать ген, кодирующий определенный белок, и просто заставить его замолчать. Но делать это нужно аккуратно, так как механизмы метилирования ДНК довольно сложны. Иначе в результате мы можем получить растение,

подверженное болезням или преждевременному старению.

Иногда ДНК-метилирование, наоборот, является обязательным условием для начала работы гена. Ученые и это научились использовать: с помощью изменения метилирования ДНК можно увеличить активность генов, отвечающих за производство растением запасных белков. Например, регулируя метилирование, можно повысить содержание белков в зерне пшеницы, а путем обработки риса ингибитором метилирования (5-азацитидином) – получить растения с наследуемым признаком карликовости (Ванюшин, 2013).

Молчание РНК как заслон от аллергии

Успешное считывание гена на матричную РНК вовсе не означает, что кодируемый им белок будет построен: эта мРНК может быть разрушена в цитоплазме клетки. Такое явление, названное *посттранскрипционным молчанием*, часто наблюдается при внесении дополнительных генов в ДНК растений. Впервые оно было описано еще в 1990 г., когда при введении в геном петунии дополнительных копий гена, отвечающего

за красную окраску цветков, количество красного пигмента не только не возросло, но и значительно снизилось (Napoli *et al.*, 1990).

Механизм «замолкания РНК» снижает эффективность работы генных инженеров. С другой стороны, его можно использовать для создания растений, устойчивых к растительным вирусам, так как он может способствовать разрушению не только их собственных матричных РНК, но и соответствующих РНК вирусов, которым удалось проникнуть в клетки растений.

Судя по всему, механизмов посттранскрипционного молчания существует несколько, и ученые пока не вполне понимают, как они работают и как связаны между собой, белые пятна в этой области только начинают за-

«Золотой рис» – генетически модифицированный сорт риса посевного, в зернах которого содержится большое количество бета-каротина. «Золотой рис» может помочь улучшить качество питания во многих странах третьего мира, где наблюдается дефицит витамина А. (Isagani Serrano) – *Part of the image collection of the International Rice Research Institute*

полняться (Плотников, 2007). Есть предположение, что отдельные молекулы мРНК активно деградируют при достижении определенного порога своей численности (Abler, 1996). Другая теория основана на изменениях в регуляции работы генома, связанных с метилированием ДНК, в результате чего среди нормальных РНК синтезируется некоторое количество «ненормальных», которые и запускают распад мРНК в цитоплазме (Hoofvan, 1997).

Одним из хорошо описанных механизмов посттранскрипционного молчания является *РНК-интерференция*. Этот метод базируется на способности молекул двухцепочечных РНК эффективно подавлять активность сходных с ними по строению генов. В последние годы РНК-интерференцию используют в прикладных исследованиях, направленных на получение *нокаутных* (содержащих «молчащие» гены) клеток, тканей и организмов. Ведь если грамотно использовать этот механизм, то теоретически можно «выключить» в клетке производство любого белка.

Среди успешных примеров применения этого метода – получение двух сортов кофейного дерева,





Голубая роза веками была недостижимой мечтой, пока сотрудники японской компании *Suntory* не пересадили ей ген анютиных глазок, кодирующий синий пигмент дельфинидин, обычный для дельфиниума, баклажана и других растений. Но розы необычной сиренево-голубой окраски получали и раньше путем обычной селекции, как, например, выведенный в 1964 г. популярный сорт *Blue Moon* (справа), который при выращивании на свету приобретает насыщенно голубой оттенок. © CC BY-SA 2.0. Some rights reserved by yamada



содержащих в плодах пониженный на 30–50 % алкалоид кофеина. Схожий эксперимент был проведен и с табаком с целью понизить в растении содержание никотина (Рябушкина, 2009).

Другая возможность использования этого подхода – подавление синтеза аллергенов. И это уже не сказка: генетикам из испанского Института сельского хозяйства в Кордове почти полностью удалось освободить зерна пшеницы от *глиадина* – одного из составляющих *глютена*. Именно из-за глиадина группа запасующих белков пшеницы вызывает у многих людей иммунную реакцию. Правда, и без использования системы редактирования генома CRISPR/Cas9 тут не обошлось (Sanchez-Leon *et al.*, 2017).

Конечно, в этом направлении ученым еще работать и работать, но уже есть надежда, что совсем скоро можно будет смело есть арахисовое масло без боязни умереть от анафилактического шока! Важно отметить, что подобное вмешательство генной инженерии в метаболизм растений отличается от традиционного: в геном не встраивается чужеродный ген, а значит, не происходит и синтеза чужеродного белка. Из-за этого РНК-интерференцию можно назвать генным вмешательством со сниженным экологическим риском. Более того, даже формально такое вмешательство не несет на себе печати «ГМО».

Каков же итог нашей экскурсии по современным методам селекции? Шанс сделать выбор в пользу «натуральных» злаков, овощей и фруктов мы давно упустили. Прогресс, в том числе и в создании новых видов растений, остановить невозможно, но осознавать и правильно оценивать риски распространения и употребления генетически модифицированных продуктов необходимо.

Сегодня, когда общество проявляет большую озабоченность безопасностью пищевых продуктов, селекционеры находятся в ситуации, вынуждающей их использовать альтернативные пути получения новых сортов растений. В силу тех или иных причин эти методы не относятся к запрещенным, но в ряде случаев являются не менее рискованными, чем традиционные методики получения ГМО.

Также не стоит забывать, что грамотный подход к селекции растений с использованием техник редактирования генома позволяет минимизировать использование пестицидов и удобрений – что это означает для экологии, нет нужды объяснять. В любом случае, какие продукты мы будем есть завтра, в огромной степени зависит уже не от природы, а от нас самих.

Литература

Закиян С. М., Власов В. В., Медведев С. П. «Редакторы геномов»: от «цинковых пальцев» до CRISPR // НАУКА из первых рук. 2014. Т. 56. № 2. С. 44–53.

Шумный В. К. Природа была первым генным инженером // НАУКА из первых рук. 2004. Т. 2. № 3. С. 32–39.

Cong L., Ran F. A., Cox D. *et al.* Multiplex Genome Engineering Using CRISPR/Cas Systems // *Science*. 2013. V. 339. P. 819–823.

From plant to crop: the past, present and future of plant breeding. 2016. VIB's fact series, 44 p.

Philp J. C., Ritchie R. J., Allan J. E. *Synthetic biology, the bioeconomy, and a societal quandary* // *Trends in Biotechnology*. 2013. V. 31. P. 269–272.

Moghaddassi S., Eyestone W., Bishop C. E. TALEN-Mediated Modification of the Bovine Genome for Large-Scale Production of Human Serum Albumin. 2014, PLoS ONE. 9, e89631.

Matzke M. A., Kanno T., Matzke A. J. M. RNA-Directed DNA Methylation: The Evolution of a Complex Epigenetic Pathway in Flowering Plants // *Annu. Rev. Plant Biol.* 2015. V. 66. P. 243–267.

Публикация подготовлена на основе статьи, которая участвовала в научно-популярном конкурсе «био/мол/текст»-2017 портала «Биомолекула» (biomolecula.ru)



Отбор Лучшего Друга

Эксперимент по одомашниванию лисицы, задуманный выдающимся российским генетиком-эволюционистом Д.К. Беляевым и осуществляемый в новосибирском Академгородке, признан одним из крупнейших экспериментов XX в. В эволюционной же биологии он просто не имеет прецедентов как по масштабу (свыше 60 тыс. животных и более полувека самоотверженной работы), так и по полученным результатам. Академику Беляеву и команде энтузиастов, в первую очередь его преданной ученице и последовательнице Л.Н. Трут, удалось «сделать» из лисы собаку всего за полвека, тогда как для приручения волка потребовалось 15 000 лет!

*Уникальному эксперименту новосибирских генетиков посвящено множество научных публикаций и научно-популярных фильмов. В 2017 г. к 100-летию академика Беляева в издательстве университета Чикаго (США) вышла научно-популярная книга *How to tame a fox (and build a dog)* («Как приручить лису (и сделать из нее собаку)»), авторами которой стали профессор Л.Н. Трут и известный американский биолог и популяризатор науки Ли Дугаткин. В 2018 г. это англоязычное издание было удостоено премии Американской ассоциации содействия развитию науки в номинации «Лучшая книга о науке для молодежи». Людмила Николаевна поделилась своими воспоминаниями о времени и событиях, сопровождавших начало эксперимента по одомашниванию лисиц, принесшего новосибирским генетикам мировую известность*

Людмила Николаевна Трут – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник Института цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск). Награждена орденом «Знак почета», серебряной и золотой медалями ВДНХ, Лауреат премии имени Н. И. Вавилова (1982), заслуженный деятель науки РФ (2005)

На фото – Л.Н. Трут с одомашнированной лисицей на экспериментальной звероферме ИЦиГ СО РАН (Новосибирск).

2012 г. Фото В. Ковалея

Ключевые слова: Л.Н. Трут, Д.К. Беляев, эволюция, естественный отбор, дестабилизирующий отбор, одомашнивание, лисица, собака.
Key words: Lyudmila Trut, Dmitri Belyaev, evolution, natural selection, destabilizing selection, domestication, fox, dog



Лиси, которая первая принесла потомство, живя рядом с человеком, звали Пушинка: действительно похожая на комочек пуха, она была самой ласковой из тысячного поголовья. Мартовским утром 1975 г. вместе с Людмилой Николаевной Трут она «переехала» в небольшой домик на территории экспериментальной лисьей фермы в новосибирском Академгородке, специально оборудованный для совместного проживания человека и животного. Ученые очень переживали за нее: стрессовые условия освоения новой экологической ниши никогда бесследно не проходят для животного.

Первый день в новом доме Пушинка провела в беспокойстве. В природе лисицы, ожидающие потомство, обычно затихают в гнездах до появления на свет щенков. Гнездо Пушинке оборудовали в отдельной комнате, но лисица не лежала на месте, ничего не ела и все бегала, бегала... Ближе к вечеру в гости заглянула дочь Людмилы Николаевны вместе со своей подругой, и девочки решили остаться ночевать. Свободное место нашлось только на полу, и пока они укладывались спать, лиса продолжала нервничать. Но каково же было удивление всех присутствующих и вместе с тем облегчение и радость, когда Пушинка ночью выскользнула из своей комнаты, юркнула под одеяло к девочкам и, свернувшись клубком, уснула...

И это только одна из множества удивительных историй, в которых эта невероятно ласковая и дружелюбная лиса проявляла свой собачий характер. Например, нового сторожа, который пришел знакомиться с новоселами, она встретила отрывистыми звуками, очень похожими на собачий лай.

В ночь, когда по всем приметам должны были родиться щенки, в доме дежурила Людмила Николаевна. Сначала Пушинка затихла, потом послышался писк. И первое, что сделала лисица, – притаила в зубах голого, еще мокрого лисенка и плюхнула его на холодный пол прямо у ног человека, где так любила сидеть. Испугавшись, что щенок простудится и погибнет, Людмила Николаевна отругала Пушинку, взяла лисенка на руки и отнесла обратно в гнездо, куда следом отправила и мать. К тому времени ученые уже

знали, что иногда ручные лисицы проявляют материнскую агрессию и не позволяют брать в руки новорожденных, а тут мать сама принесла им своего детеныша!

Через некоторое время все повторилось вновь, а потом снова и снова... Борьба с лисой было бесполезно. В конце концов Людмила Николаевна постелила рядом с собой теплую подстилку, и Пушинка перетащила туда всех своих щенков. Стало ясно, что все это время в ней боролись две мотивации: стремление быть рядом с детьми и желание не расставаться с человеком. В результате она выработала новую стратегию поведения, совместив «несовместимое» для дикого животного. Только после этого Пушинка спокойно улеглась и начала кормить щенков.

Такие эксперименты по совместному проживанию человека и животного необходимы для того, чтобы ускорить эффект доместикации. Лисицу, которая всю жизнь проводила в изолированной клетке и имела ограниченные контакты с людьми, нужно было освободить из неволи. Группа ученых, возглавляемая академиком Д. К. Беляевым, решила, что было бы хорошо хотя бы часть уже отобранных особей поселить рядом с человеком. Ведь у волка в начале его превращения в собаку были совсем другие условия: животные сами делали выбор, жить или не жить им около стоянок первобытных людей. И Пушинка свой выбор сделала.

Как все начиналось

Дмитрия Константиновича Беляева всегда занимали эволюционные загадки доместикации. В частности, хорошо знакомый с практикой разведения пушных зверей, он все время сравнивал лисицу с ее ближайшим родственником – собакой, удивляясь, почему даже голодная и бездомная собака приносит потомков чаще одного раза в год,



Л. Н. Трут с ручной лисицей. 2012 г. Фото В. Коваля

а лиса в зверосовхозе, несмотря на хорошие условия содержания и кормления по научно-разработанным нормам и рационам, плодится только один раз в год, в марте. Каким же образом волк в процессе его эволюционного превращения в собаку утратил свойства сезонности размножения?

Тогда Беляеву пришла идея, что главную роль в начале процесса превращения волка в собаку сыграл естественный отбор по поведению: «одомашнивались» и начинали жить рядом с человеком только те животные, которые терпимо к нему относились. И в каждом следующем поколении появлялись все более толерантные особи. А потом свою роль начал играть искусственный отбор, бессознательно проводимый человеком. Впоследствии ему на смену пришел искусственный отбор, сознательно направленный на специфические свойства поведения.

По мнению Дмитрия Константиновича, именно такой отбор по поведению привел к изменению не только самого поведения, но и физиологии и морфологии волка. Но все это были теоретические размышления, тогда как факты канули в историческое прошлое. А что если экспериментально воспроизвести самый ранний этап доместикации? И пусть на первых порах эта идея выглядела утопической, эволюционный эксперимент начался.

Будущий академик начал работы по селекции толерантных к человеку лисиц еще в начале 1950-х гг. в эстонском зверосовхозе. В 1958 г. по приглашению директора-организатора Института цитологии и генетики СО АН СССР Н. П. Дубинина он приехал в строящийся новосибирский Академгородок, где организовал отдел генетики животных и стал заместителем директора института.

Тогда даже здание института еще не было построено, не говоря уже об экспериментальном хозяйстве и собственной звероферме. Но Дмитрий Константинович не хотел медлить, понимая, что работа предстоит длительная, соизмеримая с продолжительностью человеческой жизни. Но рядом был Алтай, где располагался крупнейший зверосовхоз «Лесной», в котором работали асы звероводства: директор зверосовхоза, заслуженный деятель отрасли В. А. Четыркин и главный зоотехник, заслуженный деятель отрасли С. А. Илларионов. Они очень положительно отнеслись к планируемому Беляевым эксперименту и помогли организовать на базе своего зверосовхоза опорный пункт ИЦиГ. Именно туда и отправились первые «эстонские» лисы, к которым потом добавлялись дружелюбные к человеку животные с других зверосовхозов. И лишь десять лет спустя животные наконец переехали в Академгородок, на свою к тому времени построенную звероферму.

Москва-Академгородок-Алтай

Беляев иногда приезжал на кафедру высшей нервной деятельности биофака МГУ, обсуждал с ее профессором Л. В. Крушинским планируемый эксперимент и возможность подбора кадров из толковых и надежных выпускников. В то время он еще работал в Центральной научно-исследовательской лаборатории пушного звероводства в Москве, а жил в поселке Удельный. Туда студентки курса Людмила Трут со своей одногруппницей Тамарой Бондаренко и отправились как «толковые и надежные».

Л. Н. Трут с ручной лисицей.
1974 г. Фото из архива Л. Н. Трут





Беляев сначала экзаменовал будущих ученых: спрашивал, знакомы ли они с лисицами, как будут отбирать из многих тысяч тех, кто станет основателями новой популяции ручных животных, и т. п. Рассказав о своем проекте, он предложил оформить девушек как сотрудников института сразу после окончания университета. И хотя формально им еще нужно было познакомиться с Дубининым, все решил Дмитрий Константинович.

Людмила Николаевна с детства любила четвероногих, особенно собак, и всегда считала, что ее работа должна быть с ними связана, чтобы получать от нее настоящее удовольствие. Поэтому она уезжала в Новосибирск с легким сердцем: не было сомнений, что поступает правильно. Сейчас она уверена, что ей выпала редкая удача: еще даже не закончив учебу, она уже получила свою первую научную задачу, которая предопределила всю ее дальнейшую жизнь. А вот ее одногруппница впоследствии вернулась в Москву, не выдержав нелегких условий работы.

Вплоть до 1967 г. большую часть времени Людмила Николаевна проводила в зверосовхозе «Лесной» на Алтае, где велась работа по отбору «дружелюбных» лисиц. Важным был самый холодный период года, январь-февраль – время подбора репродуктивных пар, подсадки и спаривания, когда требовалось постоянное

Л. Н. Трут в новом здании Института цитологии и генетики АН СССР, строительство которого началось лишь в 1962 г. Фото из архива ИЦиГ СО РАН

присутствие специалистов. Приходилось постоянно ездить из Академгородка на Алтай и обратно. Поезд «Бийск–Томск» останавливался на станции Сеятель, но оттуда еще нужно было добираться до дома и института: транспорт ходил нерегулярно, а в сильные морозы его вообще могло не быть. В одни из таких морозных утренних часов ей пришлось очень долго простоять на остановке. Как вспоминает профессор, мысль была только одна: если доберется до института, то сразу же напишет заявление об уходе. Промерзла Людмила Николаевна тогда до самого сердца! Но подкатила какая-то машина, всех собрала и по домам развезла. А там уже ждали мама с дочкой, муж – напоили, накормили, и желание все бросить сразу исчезло.

Эксперимент по domestикации лисиц был начат в непростое для генетики время: гонения на эту «лженауку» в СССР продолжались вплоть до 1964 г., до отставки Н. С. Хрущева, и все это время институт находился под угрозой закрытия. Сам Дубинин в январе 1960 г. был фактически снят с должности директора, и академику

М. А. Лаврентьеву удалось отстоять лишь свое право на выбор кандидатуры нового директора, которым и стал Д. К. Беляев. Только благодаря их усилиям институт удалось сохранить.

Позже, уже в тяжелые «перестроечные» 1990-е гг., когда начались серьезные проблемы с финансированием, остро встал вопрос о сохранении экспериментальной лисьей фермы. Ученые уходили вечером с работы и не знали, будут ли их питомцы живы утром...

Собачий хвост, пегость, короткие лапы и еще целый ряд внешних признаков отличают domestцированных лисиц от их диких сородичей.
Фото В. Коваля

Когда доброта – в генах

Суть эксперимента – в отборе наиболее дружелюбных родителей, от которых получались еще более дружелюбные потомки, и так далее. За все прошедшие годы для получения потомства было использовано около 10 тыс. животных, от которых было получено не менее 50 тыс. щенков.

Ученые были уверены, что преобразование поведенческих характеристик идет на генетическом уровне,

на стр. 75



ЭВОЛЮЦИЯ НА ЗВЕРОФЕРМЕ

«Синдром одомашнивания» – так называют комплекс внешних и внутренних признаков, свойственных домашним животным независимо от их вида и даже рода, но крайне редко встречающихся у их диких родственников. Этот феномен, открытый еще Чарльзом Дарвиным, сразу стал загадкой, которая не укладывалась в рамки искусственного отбора. Например, белые пятна на разных участках тела («звездочки» на лбу, «чулочки» на лапах) – в природе необычная окраска меха и узоры на шкуре часто играют роль камуфляжа, но зачем это той же корове? Какая польза была человеку от висячих ушей, хвостов-«бубликов», укороченных морд и другие «детских» черт во внешнем виде и поведении их одомашненных животных? Тем не менее все эти «бесполезные» признаки сохранялись в процессе многовековой стихийной селекции.

Но что если все эти изменения в характеристиках животных являются лишь побочными эффектами отбора, направленного на совсем другие свойства? Начиная свой беспримерный в истории науки эволюционный эксперимент, Д. К. Беляев исходил из того, что ответ на все вопросы появления домашних животных дает их определяющая характеристика – отсутствие страха по отношению к человеку. Предки одомашненных животных, как и современные дикие звери, в большинстве своем должны были убежать в страхе или нападать при приближении человека. При этом животные, жившие в тесном контакте с людьми, имели более надежный доступ к пище и были лучше защищены от хищников. В результате особи, которые благодаря врожденным свойствам не испытывали агрессии по отношению к человеку, получали преимущество и выживали.

Другими словами, здесь мы имеем дело все с тем же естественным отбором, только уже с новым вектором, направленным на сохранение особей с вполне определенными поведенческими реакциями на главный фактор новой среды – человека. Беляев предполагал, что именно отбор по поведению мог быть движущей силой domestикации животных, а гены, контролирующие поведение, должны обладать крайне широким спектром плейотропного (множественного) действия на самые разные признаки организма (Belyaev, 1969; Беляев, 1972). Изменение вектора давления отбора могло привести к активации «спящих» генов и проявлению ранее скрытой изменчивости, что давало основания считать, что одомашнивание может происходить гораздо быстрее, чем согласно стандартной интерпретации теории Дарвина.

И действительно, целенаправленный отбор на несвойственное диким животным дружелюбное поведение по отношению к человеку вызвал у лисиц настоящий всплеск изменчивости поведенческих, физиологических и морфологических признаков в русле «синдрома одомашнивания». Как выяснилось, в основе этой изменчивости лежали генетические изменения важнейших регуляторных систем индивидуального развития организма, и прежде всего – ослабление активности гипоталамо-гипофизарной надпочечниковой системы, ключевого звена в гормональной регуляции реакций организма на стресс.

Генетическая основа всех этих согласованных морфологических и физиологических изменений продолжает изучаться (Трут и др., 2013). Их причиной может быть «генетическое сцепление»: отбор по генам, контролирующим поведение, должен неизбежно действовать и на соседние гены, расположенные на той же хромосоме, в результате чего все они будут наследоваться совместно в череде поколений. С другой стороны, может иметь место и «генная плейотропия», как и предполагал Беляев: «поведенческие» гены могут вовлекаться в контроль других жизненно важных регуляторных процессов. Подтверждением этому служит та же «неотения» (задержанное развитие), характерная для домашних животных,

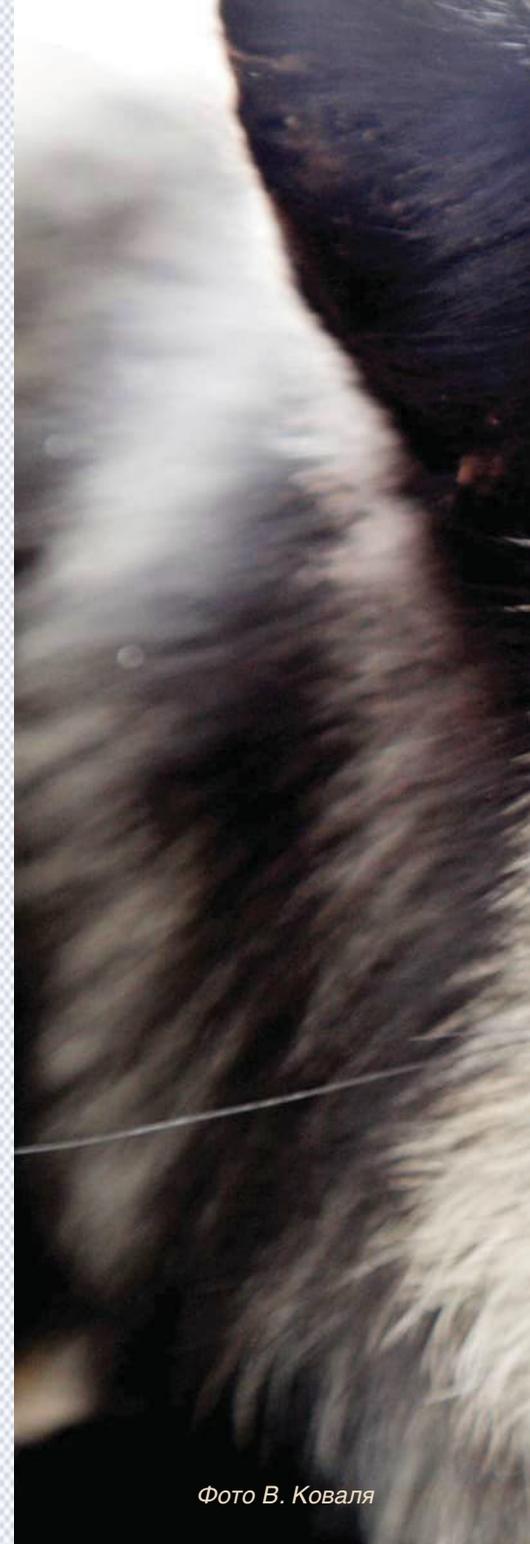
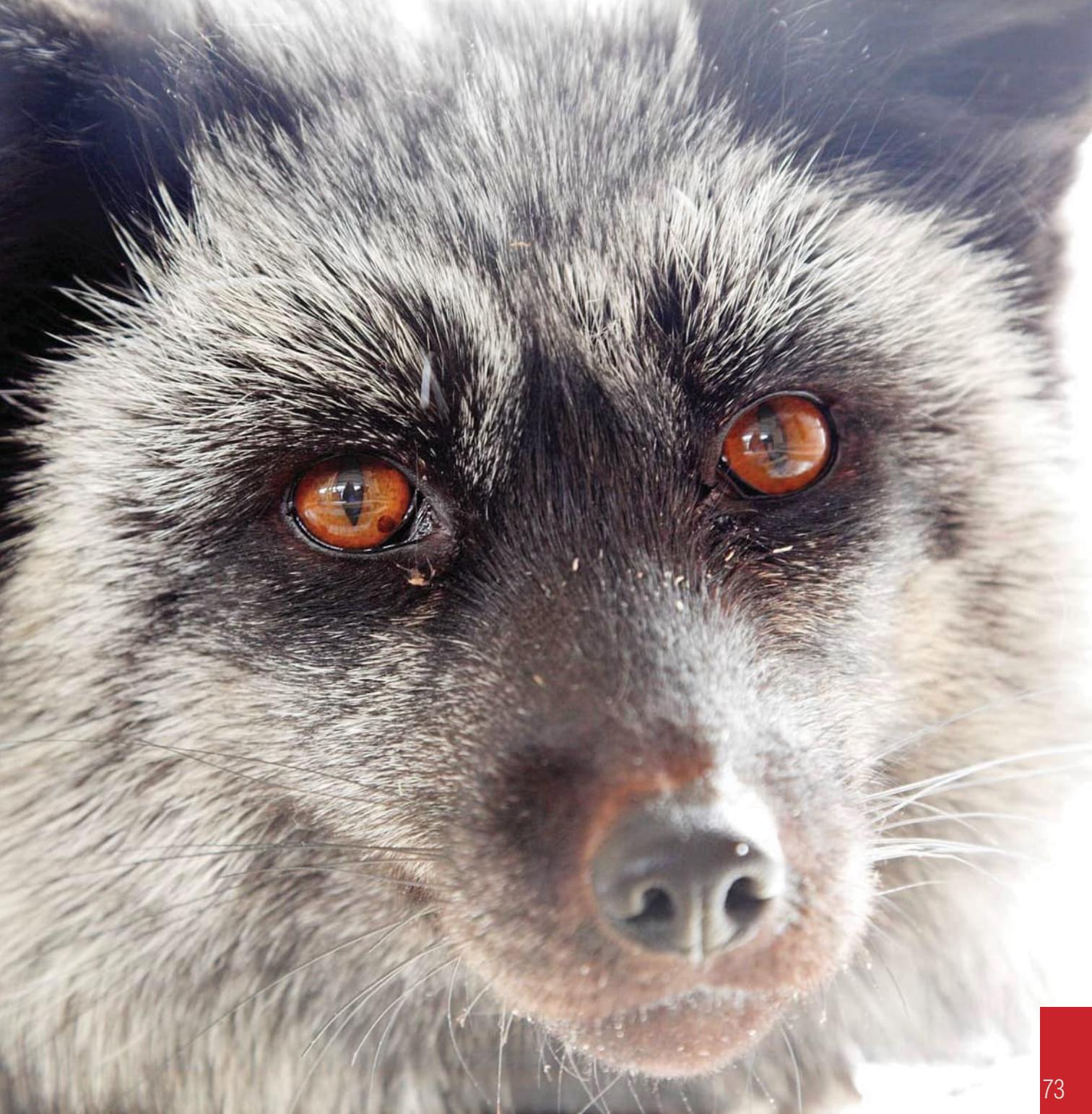


Фото В. Ковалю

которая наблюдается у ручных лисиц. В любом случае результаты уникального domestикационного эксперимента позволили Беляеву выдвинуть совершенно новую концепцию дестабилизирующего отбора как специфической формы движущего отбора. (Belyaev, 1979). Суть ее в том,

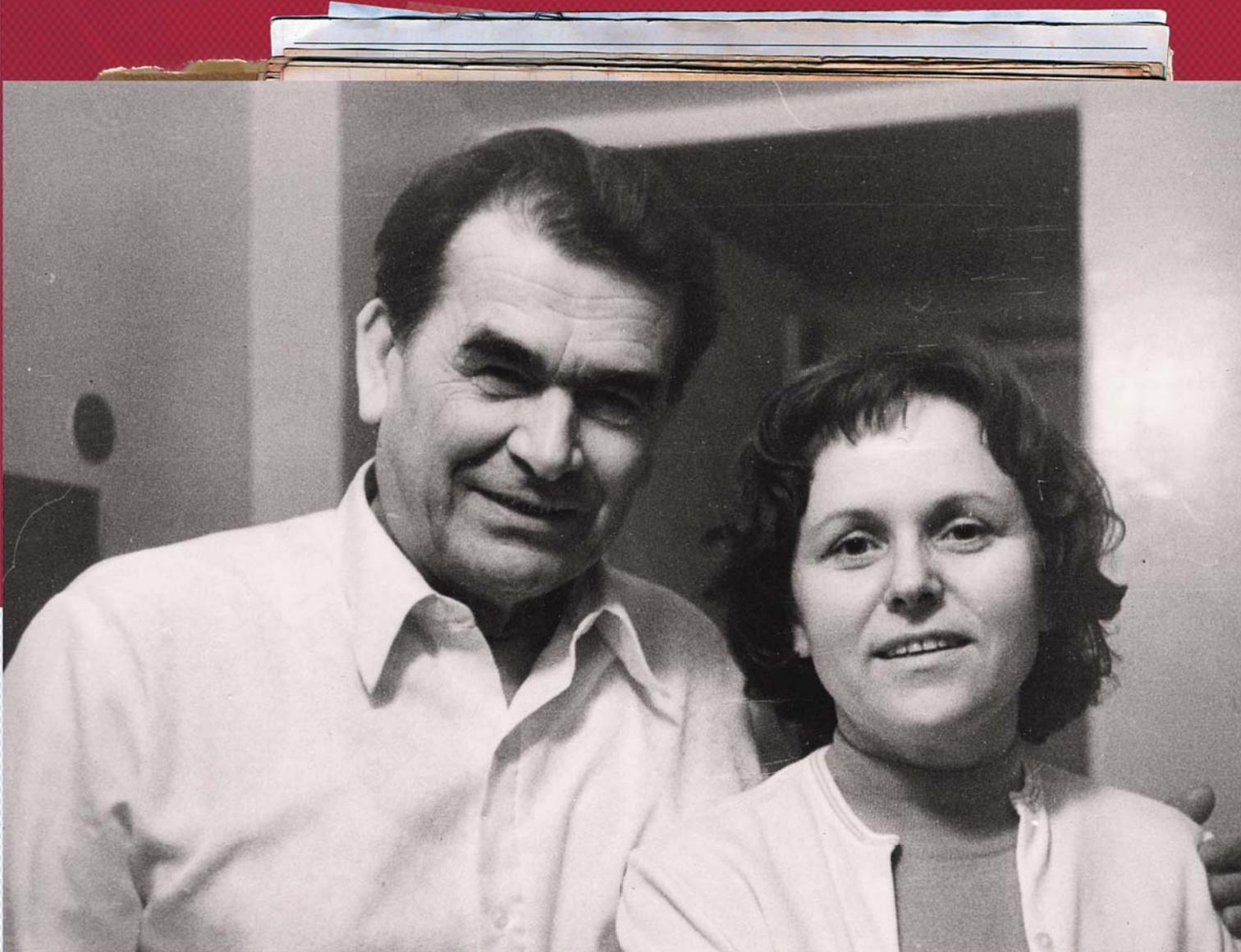


что гены, отвечающие за поведение, выполняют в организме регуляторную функцию по отношению ко многим другим генам, поэтому отбор в этом направлении вызывает, вместе с изменением поведения, дестабилизацию индивидуального развития животного и появление целого комплекса новых признаков, не имеющих отношения к поведению. «Доместикация подобна катаклизму. В ее условиях взрыв формообразования и направление по новым путям

происходят благодаря тому, что расшатываются гомеостатические системы, созданные предшествующей эволюцией, и из запасов мобилизационного резерва извлекаются глубоко запряженные формы генетического материала (дремлющие гены). <...> Эксперимент с одомашниванием позволяет заглянуть в потенциальные возможности вида. Любую такую возможность наука способна, если надо, реализовать» (Беляев, Трут, 1982)



Фото В. Коваля



Академик Д. К. Беляев и д. б. н. Л. Н. Трут. Фото из архива ИЦиГ СО РАН

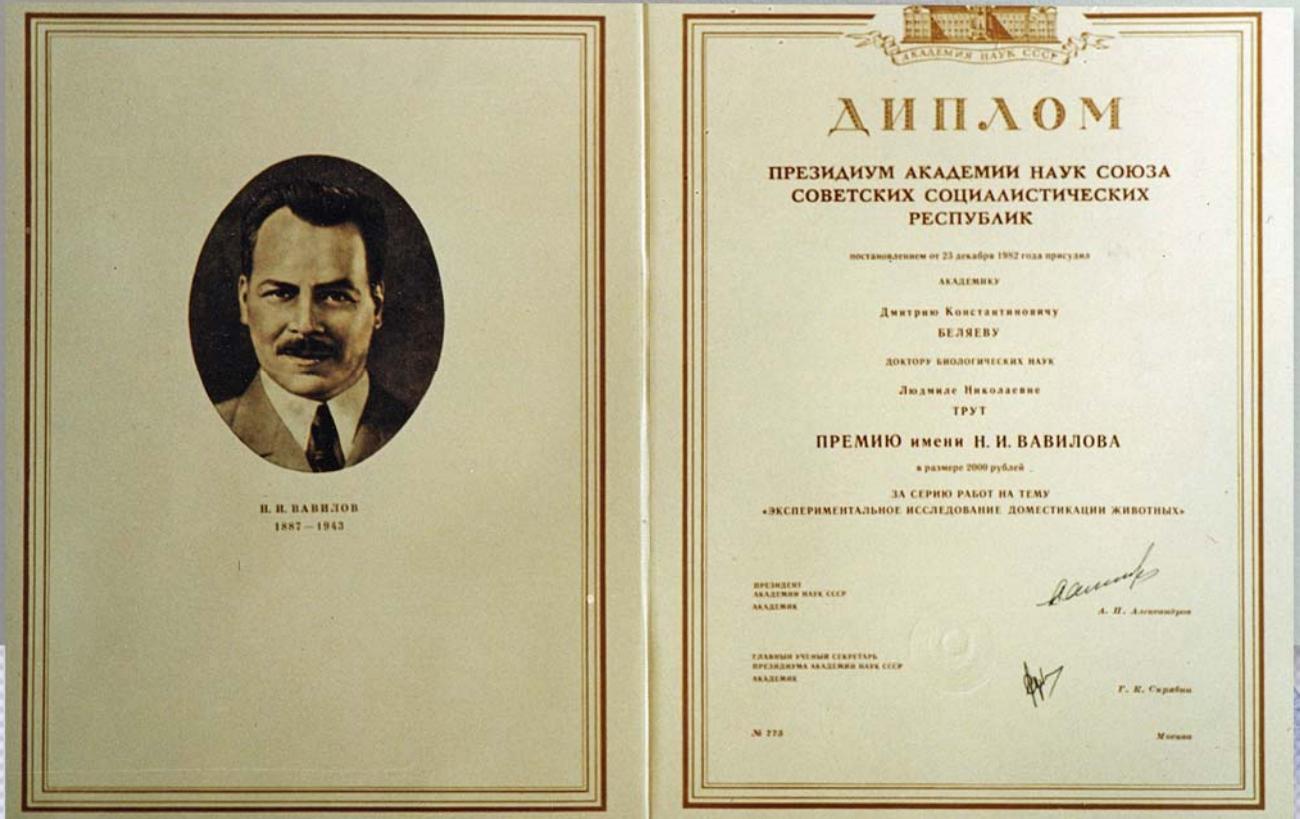
но, тем не менее, возникали мысли, что на этот процесс могли влиять и другие факторы: особенности внутриутробного развития, условия в раннем детстве, общение с матерью. Чтобы проверить некоторые из этих предположений, исследователи решили подсадить *бластоцисты* (эмбрионы на самых ранних стадиях развития) из матки «одомашненной» матери (*донора*) в матку беременной агрессивной лисицы (реципиенту), и наоборот.

Когда у агрессивной матери-реципиента появился первый смешанный помет и щенки достигли возраста, когда они могут покинуть гнездо и самостоятельно передвигаться по клетке, приехал Беляев. Его очень интересовали щенки с генетически разными поведенческими характеристиками, рожденные и выращенные одной и той же матерью.

Беляев остановился у клетки, в которой жили те и другие лисята, и долго наблюдал за их поведением.

Как вспоминает Людмила Николаевна, это действительно была удивительная картина! Жаль, что тогда у ученых не было видеокамер, и они не могли запечатлеть этот исторический момент. Первыми вылезли цветные щенки – родные дети агрессивной матери. Они еще не могли толком и ходить, но сразу стали огрызаться и сторониться людей. Вслед за ними появились «приемные» черненькие лисята, которые выросли из эмбрионов, пересаженных от «ручной» матери. Они жалобно скулили, виляли хвостиками и шли прямо к человеку! Разница в поведении была разительной...

Беляев просто глаз оторвать от них не мог. А потом сказал: «Какие же еще нужны доказательства, что осуществляется генетическая трансформация поведения вида *Vulpes vulpes* (лисы) в поведение *Canis familiaris* (собаки)!».



ОТБОР ПО ПОВЕДЕНИЮ У ЧЕЛОВЕКА?

В 2003 г. в одном из писем к Л. Н. Трут американский антрополог Р. Рэнгем писал: «Наши сегодняшние представления об эволюции человека находятся под самым сильным влиянием вашей работы по одомашниванию лисиц». Рэнгем считал кандидатом на роль предка человека примата с фенотипом не шимпанзе, а бонобо (карликового шимпанзе), который удивительно близок австралопитеку. Различия же между шимпанзе и бонобо оказались почти идентичны различиям между ручными и дикими лисицами. Прежде всего, бонобо эволюционировали в более миролюбивом направлении, в своего рода «ручную форму» шимпанзе. Возможно, самые ранние предки бонобо могли попасть в экологические условия, в которых было сильно давление отбора против внутригрупповой агрессии в пользу миролюбия и кооперации. Это могло вызвать выявленный у бонобо комплекс физиологических и морфофизиологических изменений, сходный с таковыми у ручных лисиц.

По мнению Рэнгема, «с тех пор, как появился *Homo sapiens*, у нашего вида, также как и у домашних животных, уменьшаются половой диморфизм, размеры лицевого черепа и зубов и толщина костей конечностей». Сам Беляев так писал об этом процессе: «...изменение центральной системы нейрогормональной регуляции автоматически влекло за собой резкое изменение признаков и функций, стабилизированных в предшествующей эволюции. В этом смысле отбор по свойствам и функциям мозга в процессе эволюции человека вызывал такую же широкую изменчивость, так же сильно повышал темп формообразования, как это имеет место в процессе одомашнивания животных» (Трут, 2007)

Может ли лисица вернуться в свое изначальное состояние – снова стать агрессивной, если начать отбор в обратном направлении? Категоричного ответа дать нельзя, хотя вопрос этот в свое время занимал ученых. Профессор Трут считает, что звери прошли точку невозврата и в прежнее положение вернуться не могут. Среди лис, участвующих в эксперименте, всегда находились особи, которые по поведенческим характеристикам не проходили в элиту, но отбирались для дальнейшей селекции по важным хозяйственным признакам. Однако, несмотря на это, они во многих поколениях оставались ручными. По мнению Людмилы Николаевны, то, что лисица приобрела в процессе селекции, она сохраняет и в дальнейшем.





7 августа 2017 г. состоялось торжественное открытие памятника, приуроченное к 100-летию со дня рождения академика Д. К. Беляева. В центре скульптурной композиции – выдающийся генетик-эволюционист, которому «дает лапу» одомашненная лисица, объект его уникального эволюционного эксперимента. Автор художественной концепции А. Харкевич (Новосибирск). Скульптор К. Зинич (Красноярск)

На следующий день после родов Пушинки на лисью ферму приехал академик Беляев. Услышав поразительную историю, он, хлопнув по столу ладонью, сказал: «Мы обязательно когда-нибудь напишем научно-популярную книжку обо всех удивительных явлениях, какие мы наблюдали в нашем уникальном эксперименте». К сожалению, через десять лет академик Беляев скорострительно скончался, так и не осуществив свое намерение.

Более трех десятилетий спустя такая книга вышла в издательстве Университета Чикаго (University of Chicago Press) – крупнейшем университетском издательстве США. Как и мечтал Д. К. Беляев, в ней описывались разные этапы эксперимента: что, как и когда происходило, как менялось отношение лисы к человеку. И конечно, в ней затрагивались судьбы людей, тесно связанных с этим долгосрочным проектом, и в первую очередь сложная судьба его ключевой фигуры, Дмитрия Константиновича Беляева, дальновидного ученого, харизматичного лидера и просто доброй души человека.

Конечно, была идея издать эту книгу в России, в СО РАН. Много усилий в этом направлении приложил профессор П. М. Бородин. К сожалению, пока это получилось сделать только в США, что, кстати, служит демонстрацией иного отношения к науке в этой стране, где большой интерес к научным достижениям проявляют даже люди, от нее далекие. Однажды сотрудникам ИЦиГ СО РАН, которые приехали в США на конференцию, довелось попасть на экскурсию в музей. Там их встретила бабулечка-экскурсовод, которая знала не только про существование новосибирского Академгородка, но и про «чудную ручную лисичку», которую здесь вывели, – она прочитала об этом в научном журнале!

На сегодня в Америке уже продано свыше 17 тыс. экземпляров книги *How to tame a fox (and build a dog)*. Еще 4 тыс. заказала Американская ассоциация содействия развитию науки (AAAS), издатель авторитетного научного журнала *Science*, – эти экземпляры будут бесплатно распространяться по школьным библиотекам.

Эксперимент, который начался шестьдесят лет назад, продолжается до сих пор. И хотя основные результаты по отбору «одомашненной» элиты были получены уже к началу этого века, лисья ферма в новосибирском Академгородке существует и поныне. Людмила Николаевна теперь общается с лисами редко, но на ферме трудятся молодые специалисты. Проблема в том, что, хотя определенная изменчивость в поведении животных обнаруживается и сейчас, с точки зрения поведенческих критериев, какими пользовались раньше, все эти лисы уже элитные.

Нужны новые критерии для отбора. Для дальнейшего прогресса требуется как можно больше животных переместить в новую экологическую нишу – поселить вместе с человеком. Но когда подобный эксперимент проводился с Пушилкой, ученые из группы Беяева сутками не уходили с работы. В наши дни людей, готовых работать в таком режиме, практически не найти.

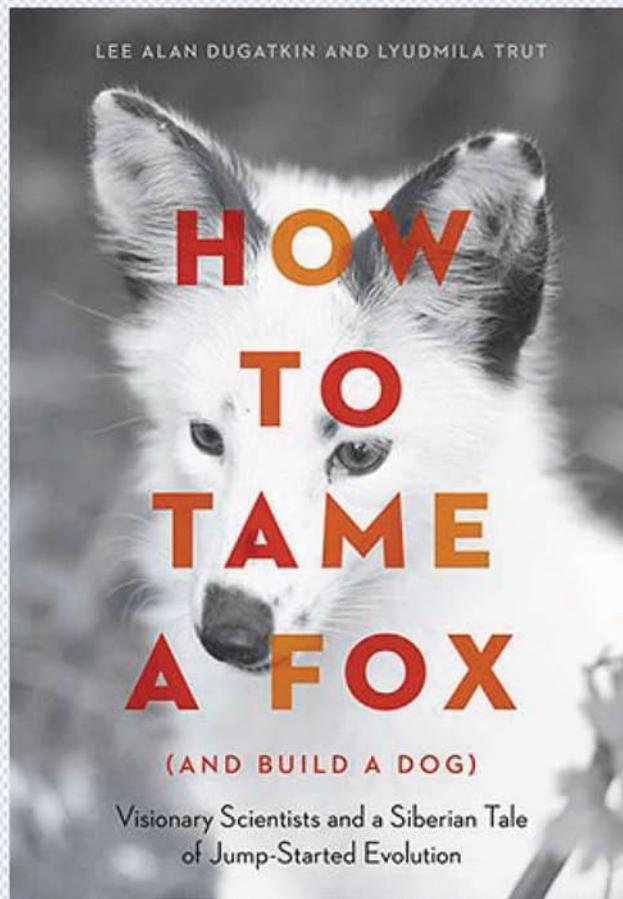
Литература

Беяев Д. К., Трут Л. Н. От естественного отбора к искусственному: чудеса селекции // *Наука в СССР*. 1982. № 5. С. 24–29, 60–64.

Беяев Д. К., Трут Л. Н. Конвергентный характер формообразования и концепция дестабилизирующего отбора / В кн.: *Вавилонское наследие в современной биологии*. М.: Наука, 1989. С. 155–169.

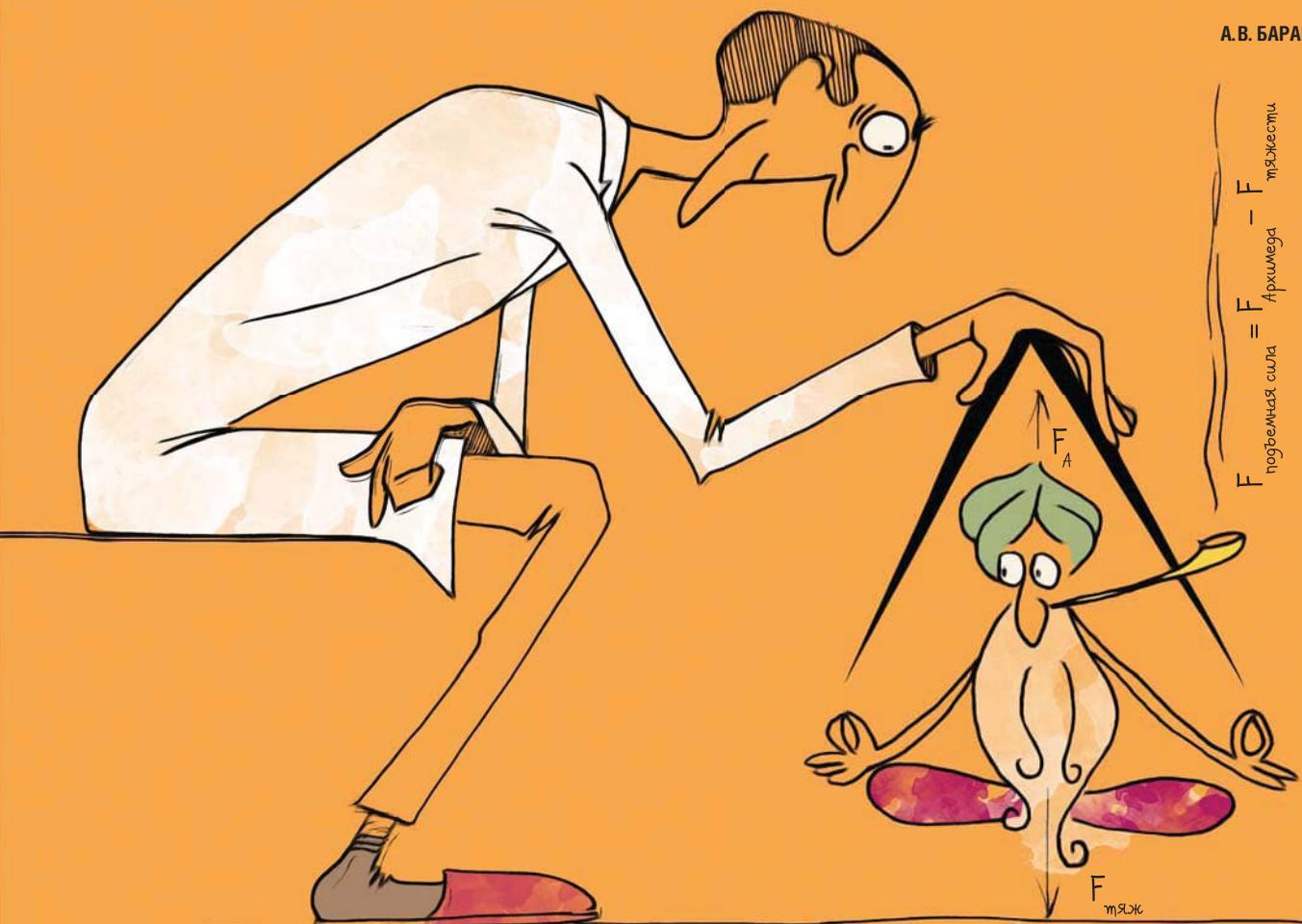
Беяев Н. Д. Дмитрий Константинович Беяев. Штрихи к портрету // *НАУКА из первых рук*. 2017. Т. 74. № 2–3. С. 128–141.

Трут Л. Н. Эволюционный эксперимент // *НАУКА из первых рук*. 2007. Т. 14. № 2. С. 60–63.



Полное название книги, изданной в 2017 г. в американском издательстве *University of Chicago Press*, красноречиво и максимально информативно. В переводе на русский оно звучит так: «Как приручить лису (и сделать из нее собаку). Ученые-мечтатели и сибирская сказка о скачкообразной эволюции»





«НИЧЕГО СО СЛОВ», или ЕСТЬ ЛИ ПОЛЬЗА ОТ ЙОГИ

а также про Периодическую
систему элементов, ЛЖЕНАУКУ
и неуловимый предмет
исследований

© А. В. Баранова, 2017

Последнее время в наш лексикон помимо понятия «наука» прочно вошло понятие «лженаука». Когда мы читаем про заряженную воду, торсионные поля, влияние лунного света на рельсы (это не шутка!), клонирование человека или, скажем, о продлении жизни с помощью медитативных практик, как понять, что перед нами: правда, обман или искреннее заблуждение? Правильно оценить достоверность информации бывает затруднительно, если ты не специалист в конкретной области, но любой человек, обладающий некоторыми знаниями о предмете, может оценить инструментарий, которым пользовались ученые, и собранные ими доказательства и на основе этого сделать несложные логические умозаключения



Наука – это очень мощная вещь. А вот что это значит – «наука»? Как правило, мы используем понятие науки интуитивно, автоматически вставляя это слово в поток нашей речи, когда оно «к месту». Однако у каждого слова имеется его словарное определение. Давайте в словари и заглянем.

От словаря к словарю значения науки слегка различаются, но сходятся в одном: это одна из сфер человеческой деятельности. Цель науки – добыча и систематизация объективных знаний о действительности. Для достижения этой цели научные работники, или, как мы их называем, «ученые», используют специальный инструментарий, определение которого было сформулировано на заре современной науки Лондонским королевским обществом по развитию знаний о природе (англ. *The Royal Society of London for the Improvement of Natural Knowledge*), созданным в далеком 1660 г.

С тех пор этот инструментарий почти не претерпел изменений, а это значит, что его проверило время. Девиз Королевского общества *Nullius in verba* (от лат. «Ничего со слов») гласит, что в основе любой теории должны лежать повторяющиеся наблюдения, эксперименты или математические расчеты, но никак не слова авторитетов. Гипотезы выдвигаются для объяснения наблюдаемых фактов и подтверждаются экспериментально, а затем на основе множества гипотез, составляющих теорию, строится причинно-следственная модель изучаемого объекта, позволяющая предсказывать его поведение в различных условиях.

Ключевые слова: йога, теломеры, старение, наука, научный инструментарий.

Key words: Yoga, telomeres, aging, science, scientific instrument

БАРАНОВА Анча (Анна) Вячеславовна – доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории функциональной геномики Медико-генетического научного центра РАН (Москва), профессор Школы системной биологии Университета Джорджа Мейсона (Фэрфакс, Вирджиния США), директор Центра по изучению редких заболеваний и нарушений метаболизма Колледжа науки Университета Джорджа Мейсона, научный директор биомедицинского холдинга «Атлас» (Москва), автор и соавтор 150 научных работ и 10 патентов

«Я над ней, может, двадцать пять лет думал...»

Заметьте: определение науки как сферы человеческой деятельности не подразумевает никаких ограничений предмета исследования, зато предписывает некий кодекс поведения научных работников. В частности, ученые должны использовать научный инструментарий, а не, к примеру, религиозный. Несмотря на то, что Д. И. Менделееву его знаменитая периодическая таблица химических элементов явилась во сне, эпохальная статья «Соотношение свойств с атомным весом элементов», опубликованная в 1869 г. в журнале Русского химического общества, не пересказывает этот сон, а систематически описывает новую закономерность.

Напомним, Менделеев показал, что с ростом атомной массы химических элементов их свойства меняются не монотонно, а периодически. Для доказательства своей теории он привел ряд наблюдений. Например, что калий по своим свойствам похож на натрий, хотя и более тяжел, фтор напоминает хлор, а золото принадлежит к той же группе элементов, что серебро и медь.



Более того, Менделеев смело выставил свою теорию под удары возможной критики, с высоты своих теоретических представлений указав на неточности в атомных массах или в описаниях свойств некоторых химических элементов. Ученый пошел дальше: в своей таблице он оставил пустые клетки, где должны были разместиться еще неоткрытые элементы. Поправки, внесенные Менделеевым, оказались верными. Довольно быстро нашлись и предсказанные элементы. Именно эти предсказания и послужили мощнейшими доказательствами построенной им теории периодичности. А на вопросы о таблице, увиденной в вещем сне, ученый отвечал: «Я над ней, может, двадцать пять лет думал, а Вы полагаете: сидел, и вдруг пятак за строчку, пятак за строчку, и готово...!».

Одновременно с Менделеевым над систематикой химических элементов бились и другие ученые. Чуть раньше Менделеева свою систему предложил известный в то время английский химик и музыкант Д. А. Р. Ньюлендс. Его модель называлась «законом октав» и даже внешне немного напоминала привычную нам периодическую систему, однако предсказательной силой не отличалась. Ньюлендс изо всех сил старался объяснить свойства периодичности мистической музыкальной гармонией, но потерпел неудачу. Что, правда, не помешало ему впоследствии преуспеть в другой области человеческой деятельности, не менее важной, чем наука, – в сахароварении.

«Духи» как предмет науки

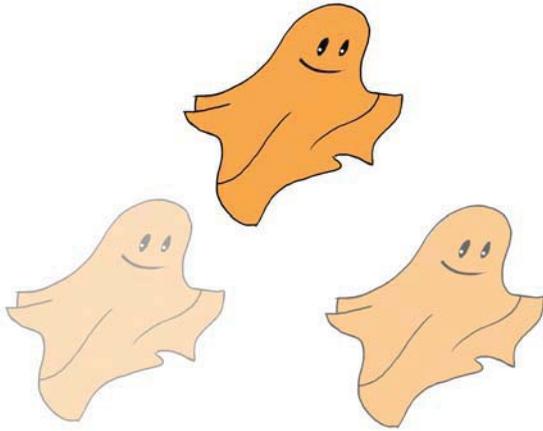
А теперь представим себе, что успешный ученый Менделеев стал бы изучать не свойства химических элементов, а, скажем, свойства привидений. Возможно,

такое трудно себе представить: ведь мы точно знаем, что привидений не бывает. Однако настоящему научному работнику должно быть абсолютно все равно, что изучать. Чем труднее задача, тем больше энтузиазма она должна у него вызывать.

Доказательство «отсутствия» чего бы то ни было является крайне трудной задачей. Отсутствие в комнате привидения, как и отсутствие в природе черных лебедей, будет являться верным фактом ровно до тех пор, пока привидение в комнате вдруг не появится или пока исследователь не откроет Австралию, где все лебеди – черные. Наблюдение, что «привидений не бывает», невозможно доказать путем проведения конечного числа наблюдений за состоянием комнаты. Поэтому такой ученый всегда будет открыт для критики со стороны энтузиастов-спиритистов, приводящих «недостаточность» научного метода в качестве основного аргумента.

Так вот, Менделеев, настоящий ученый, виртуоз научного метода, в 1875 г., спустя десять лет после своего эпохального открытия, не побоялся «клейма» лжеученого, занимающегося ерундой, а засучив рукава создал при Русском физико-химическом обществе комиссию по изучению «медиумических» явлений как ответ на расцвет спиритизма в тогдашней Российской империи.

По приглашению комиссии в Россию приехали известные зарубежные медиумы – братья Петти и знаменитая госпожа Клаир. Их сеансы прошли в присутствии членов комиссии и сторонников спиритизма, а Менделеев лично сконструировал манометрический стол, измеряющий оказываемое на него давление. Восседавшие за этим столом медиумы неожиданно обнаружили, что «духи» отказались от общения с людьми: точная детекция давления предоставила точные доказательства пророчества медиумических рук. Закончив свою работу,



научная комиссия вынесла приговор: «Спиритические явления происходят от бессознательных движений или сознательного обмана, а спиритическое учение есть суеверие...»

Однако для нас важным является не столько заключение «медиумической» комиссии, сколько сам факт, что весьма уважаемый в обществе ученый, отец современной химии не посчитал спиритизм лженаучным предметом, недостойным изучения, хотя он и находился за пределами области его научных занятий. Напротив, ученый воспринял проблему спиритизма как вызов и ответил на него, корректно применив инструментарий науки, а не просто «смахнул» не глядя привидения со стола реальности.

И никакой идеологической окраски!

Однажды вооружившись научным подходом, ученый не может применять его избирательно. Если бы стол Менделеева зафиксировал не махинации медиумов, а настоящие колебания мирового эфира, ученому пришлось бы признать существование привидений, точно так же как ранее ему пришлось смириться с существованием еще неоткрытых химических элементов. Однако этого не произошло. Вернее, на этот раз не произошло. Вспомним про черных лебедей: в природе их не было ровно до тех пор, пока исследователи не добрались до Австралии.

Философы науки сформулировали очень важный критерий, который позволяет отличить настоящего ученого от шарлатана. Шарлатан не способен сформулировать условия, при которых он должен будет отказаться от собственной теории. А вот ученый – может. Именно этот вопрос: «Что должно произойти, чтобы вы отказались от собственной гипотезы?» – известный философ и социолог К. Р. Поппер задавал марксистам. Не получив ответа, он применил критерий фальсификации и объявил марксизм лженаукой.

Критерий фальсификации Поппера не имеет никакой идеологической окраски. Если бы марксисты хотя бы чуть-чуть «прогнулись» и описали бы ужасающее, с их точки зрения, общество победившего капитализма как возможное хотя бы в принципе, Поппер как настоящий ученый сдался бы и признал теорию Маркса научной. Именно поэтому Ленин в своем знаменитом высказывании: «Учение Маркса всеильно, потому что оно верно» – с научной точки зрения как бы стреляет сам себе в ногу (Ленин, 1913).

Современные ученые в массе своей не достигают высот Менделеева по многим причинам, которые не являются темой этой дискуссии, но прежде всего по недостатку классического образования, не просто расширяющего горизонты, а прямо-таки настоятельно предписывающего научным работникам смело полагаться на силу научного метода, не ограничивая себя «проверенными» и «безопасными» с точки зрения научной репутации объектами исследования.

Для настоящего ученого разумным обоснованием отказа от изучения, скажем, эффектов пресловутой гомеопатии является не «лженаучность» этого метода лечения, а «избитость» гомеопатической темы, неоднократно изъезженной во множестве опубликованных работ. Да и этот аргумент не сможет продержаться бесконечно.

Например, исследования нелинейных отношений между дозами вещества и его эффектами, а также феномена *гормезиса* (стимулирующего действия низких доз стрессоров) не так уж бесконечно далеки от гомеопатии, хотя вполне свежи. На их фоне гомеопатия выглядит невинно-наивной, чистосердечно-малоэффективной попыткой расширить пригоршню «удачных» случаев излечения до всеобъемлющей теории, уже давно устаревшей, но все еще живой в умах ее приверженцев, вроде средневекового лечения «белокровия» с помощью мышьяка, соединения которого, кстати сказать, недавно снова вошли в фармакопею в качестве дифференцирующих агентов для контроля некоторых форм острых лейкозов.

Йога против старения – почему нет?

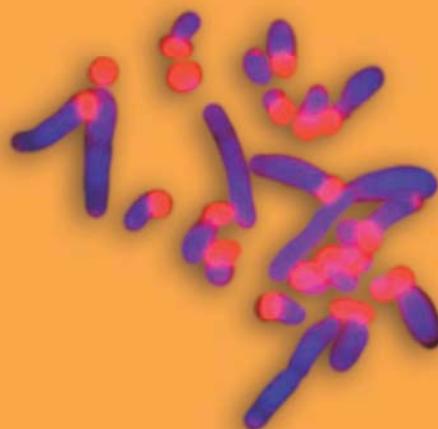
В последние несколько лет настоящие ученые «без страха и упрека» провели ряд интересных исследований, касающихся взаимосвязи между таким доказанным наукой явлением, как клеточное старение, и физиологическими результатами эзотерических практик, например, йоги.

Клеточное старение сопровождается постепенным нарастанием окислительного стресса и уменьшением длины *теломер*, концевых районов хромосом, играющих роль «защитных колпачков» на концах этих весьма



Схема строения теломеразы – фермента, который «пришивает» новые нуклеотиды к укорачивающимся при делении клетки теломерным участкам ДНК. Теломераза содержит короткую молекулу РНК, последовательность которой комплементарна теломерному повтору, и эта РНК используется как матрица для синтеза 3'-конца теломерной ДНК. Достроив один участок, теломераза сдвигается так, чтобы повторить цикл. Вторая цепь ДНК достраивается ДНК-полимеразой в ходе следующего деления клетки.

Справа: хромосомы бурозубки иберийской (*Sorex granarius*) с теломерами, окрашенными в красный цвет (флуоресцентная гибридизация *in situ* (FISH)). Видно, что теломеры значительно отличаются по разным концах хромосомы. По: (Zhdanova et al., 2007)



длинных молекул. И окислительный стресс, и длину теломер можно измерить, получив таким образом объективную оценку интенсивности процесса старения конкретного организма, а также его биологического возраста.

Согласно одной из теорий, старение происходит вследствие укорачивания теломер с возрастом из-за их неполного копирования в процессе удвоения ДНК. Сейчас известно, что длина теломер и продолжительность жизни прямо не связаны, но нужно принимать в расчет еще одного игрока – фермент *теломеразу*, способную удлинять спонтанно укорачивающиеся при делении клетки – теломерные участки ДНК. В целом баланс системы «теломеры-теломераза» может считаться одним из «показателей качества» старения клеток, и у человека более короткие теломеры будут, скорее, свидетельствовать о неблагоприятных процессах в организме. Хотя слишком длинные теломеры могут говорить о высокой вероятности развития онкологического заболевания.

Йога – это религиозно-философское учение, частью которого является комплекс приемов и физических упражнений, прделываемых с целью управления

психическими и физиологическими процессами для достижения особого духовного состояния. Один из приемов, так называемую *медитацию*, используют для достижения состояния внутренней тишины и сосредоточенности. Надо заметить, что современные люди часто ходят на «занятия йогой», воспринимая их просто как комплекс физических упражнений, а пребывание в «медитативном состоянии» – как способ отключиться на час-два от бытовых проблем. И никакой религии с философией.

Но правда ли, что комплекс физических и дыхательных упражнений и медитативных состояний улучшает здоровье и предотвращает клеточное старение? А почему бы и нет?

В обзорной статье 2012 г. были обобщены результаты экспериментов примерно за 40 лет, которые проводились с целью понять, помогает ли йога при тех или иных патологиях (Büssing et al., 2012). Ученые в основном сосредоточились на психиатрических, сердечно-сосудистых и респираторных заболеваниях. Взгляд с высоты птичьего полета показывает, что выводы многих этих работ часто противоречат друг другу. В одних статьях

сообщается о положительном эффекте йоги, который выражается в том числе и в снижении уровня стресса и проявлении тех или иных психических отклонений. В других работах авторы не приводят убедительных доказательств в пользу этого. Провести метаанализ и с уверенностью сделать те или иные выводы мешает тот факт, что дизайн всех этих экспериментов был не всегда корректен, особенно что касается ранних работ. Кроме того, и самих этих работ не так уж много, а доступ к тем из них, которые были сделаны в Индии, затруднен. Но все же авторы обзора обозначают это направление как перспективное. Вот только надо все проверить по современным стандартам.

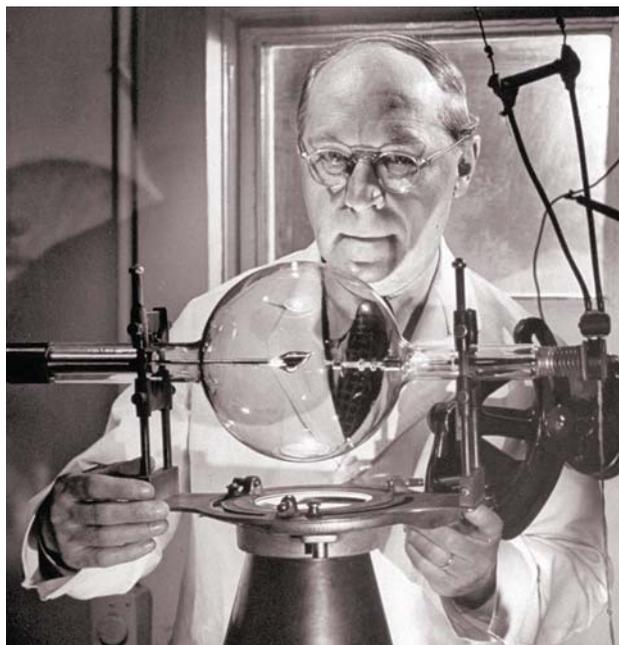
Когда митохондрии не «подтекают»

В 2015 г. вышла публикация, в которой было продемонстрировано, что у людей, практикующих занятия йогой в течение минимум двух лет, так называемый *общий антиоксидантный статус* лучше, а теломеры длиннее по сравнению с людьми, ведущими обычный образ жизни (Krishna *et al.*, 2015). В целом был сделан вывод, что йога тормозит клеточное старение, хотя механизм этого явления неизвестен.

В обзоре 2017 г. уже более уверенно говорится, что самые разные медитативные практики объединяет одно: все они приводят к понижению активности сигнального пути *NF-kappaB*, служащего главным проводником системного воспаления (Buric *et al.*, 2017). Авторы делают вывод, что таки да – медитация помогает снизить остроту симптомов воспалительных заболеваний.

В еще одной «свежей» работе ученые детально исследовали влияние занятий йогой на клеточное старение у примерно ста здоровых людей (Tolahunase *et al.*, 2017). Занятия проходили пять дней в неделю и включали как физические и дыхательные упражнения, так и регулярную медитацию. В течение этого времени у испытуемых оценивали изменения уровней биомаркеров клеточного старения, таких как *8-гидрокси-2'-дезоксигуанозин (8-OH2dG)* – маркера окислительного повреждения ДНК, а также концентрацию активных форм кислорода, общую антиоксидантную активность, гормон стресса кортизол и некоторые другие белки, длину теломер и активность теломеразы.

Оказалось, что через три месяца занятий йогой у людей снизился уровень «неблагоприятных» и, напротив, повысился уровень «хороших» параметров. Стабильность генома и системы «теломеры-теломераза» возросла, улучшился баланс работы про- и антиоксидантных систем, возросла нейропластичность. Однако исследователи опять-таки не предлагают возможного механизма действия йоги, достаточно абстрактно рассуждая о стрессе в условиях современного образа



Первооткрывателями теломер стали известные американские генетики: Герман Мюллер, работавший с полюбившейся генетикам мушкой дрозофилой, и лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине Барбара Мак-Клинтон, объектом исследований которой была не менее любимая селекционерами и генными инженерами кукуруза.

Public Domain



жизни и способности йоги уменьшать его, а также о роли «регулируемых коммуникаций между разумом (*mind*) и телом» в подавлении субклинического воспаления.

Примерно так же рассуждают ученые и в других подобных работах последних лет: эффект вроде есть, но с чем он связан?

Давайте начнем с хорошо известных нам патологических связей. Окислительный стресс действительно может способствовать преждевременному уменьшению длины теломер и клеточному старению – это доказано. Активные формы кислорода способствуют модификации азотистых оснований, главным образом образуя потенциально опасный 8-оксогуанин – предшественник мутации нуклеотида *гуанина* в *тимин*, т. е. совсем другую «букву» генетического кода. Последовательности теломерной ДНК содержат много гуаниновых остатков, что делает теломеры хорошей мишенью для повреждения активными формами кислорода.

Возможно, йога действительно эффективно работает против старения клеток, снижая уровень стресса у человека. Ведь стресс – это и есть те самые активные формы кислорода. Если наши клетки чувствуют себя некомфортно, их собственные «силовые станции» – митохондрии – начинают «подтекать», выделяя опасные оксиданты, способные подорвать здоровье клетки изнутри. Например, наорало на вас начальство, а вы приняли близко к сердцу, испугались увольнения и огорчились. От этого клетки мозга «огорчились» тоже, и в результате повредились – немножечко постарели. А вот если начальство наорет на адепта йоги, тот подышит немного, махнет рукой (ну или ногой), да и забудет о проблеме, которая пока еще не наступила. Поэтому у йога клетки мозга не огорчатся и не пострадают.

Конечно, мы слегка «очеловечиваем» клетки, однако у клеточного «огорчения» есть вполне понятные механизмы. Состояние тревожности заметно влияет на паттерны активности различных структур и участков головного мозга, при этом некоторые клетки «перевозбуждаются» и перетягивают

на себя ресурсы, изменяя кровотоков. Другие же клетки, наоборот, оказываются недостаточно снабженными кислородом и будут более склонны к самоповреждению и *апоптозу* – клеточной гибели. А нервные клетки, как известно, не восстанавливаются, или восстанавливаются, но плохо. Йогические практики поддерживают общий баланс кровоснабжения мозга, препятствуя перекосам в снабжении кислородом, а значит уменьшают опасность повреждения отдельных его клеток (Minvaleev *et al.*, 2014).

В заключение вернемся к нашим баранам, т. е. привидениям. Вот, скажем, измерил ученый количество привидений в комнате с помощью, к примеру, «светодиодного счетчика призраков». Измерил сто раз и каждый раз получил в результате ноль. Вывод ясен: привидений нет. А потом этот наш внимательный и неутомимый ученый, гигант мысли, услышал историю о том, что какие-то йоги привидения в комнате все-таки изредка находят, якобы с помощью загадочного «третьего глаза».

Говорят, теперь наш ученый сидит в чулане с паяльником и строит новейший прибор для уловления трансцендентальных сущностей. Никто пока не знает ни принципа работы этого прибора, ни результата, а все потому, что ученый очень ответственный: он метит на Нобелевку и не хочет показывать миру «сырые» данные. А вот как заработает сложный прибор, как наберутся неоспоримые данные, так наш бесстрашный ученый, интеллектом не слабее, чем сам Дмитрий Иванович Менделеев, выпустит свои эпохальные труды сразу и в *Nature*, и в *Science*. Мы их прочитаем и сразу вам, читателям, расскажем про привидения все то, что вы всегда хотели, но боялись спросить...

Литература

Поттер К. Логика научного исследования: Пер. с англ. / Под ред. В. Н. Садовского. М.: Республика, 2004. 447 с.

Buric I., Farias M., Jong J. et al. What Is the Molecular Signature of Mind-Body Interventions? A Systematic Review of Gene Expression Changes Induced by Meditation and Related Practices // *Front. Immunol.* 2017. V. 8., eCollection.

Büssing A. L., Michalsen A., Khalsa S. B. et al. Effects of yoga on mental and physical health: a short summary of reviews // *Evid Based Complement Alternat Med.* 2012. Epub.

Krishna B. H., Keerthi G. S., Kumar C. K. et al. Association of Leukocyte Telomere Length with Oxidative Stress in Yoga Practitioners // *J. Clin. Diagn. Res.* 2015. V. 9. N. 3. CC01–CC03.

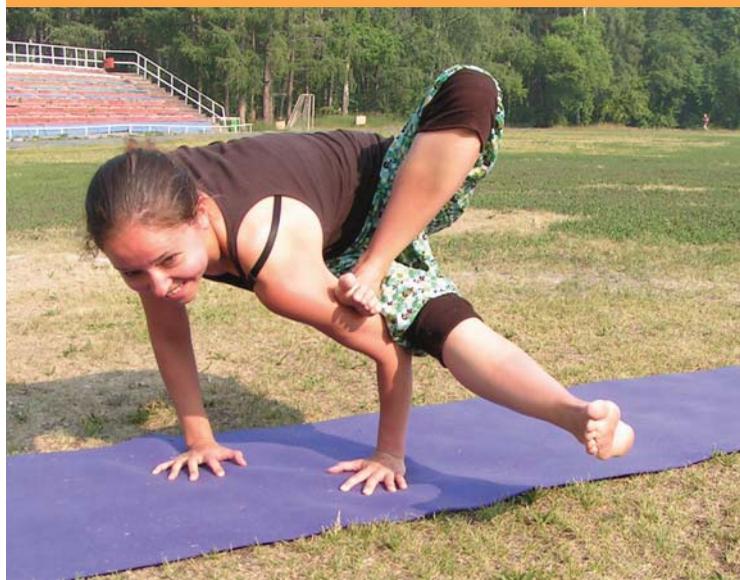
Minvaleev R. S., Bogdanov A. R., Bogdanov R. R. et al. Hemodynamic observations of tumo yoga practitioners in a Himalayan environment // *J. Altern. Complement. Med.* 2014. V. 20. N. 4. P. 295–299.

Tolahunase M., Sagar R., Dada R. Impact of Yoga and Meditation on Cellular Aging in Apparently Healthy Individuals: A Prospective, Open-Label Single-Arm Exploratory Study // *Oxid. Med. Cell Longev.* 2017. Epub.



Что-то тут здравым
смыслом покаивает,
пойду-ка я лучше к пациентам.

МЕДИТАТОР – О МОЛЕКУЛЯРНОЙ БИОЛОГИИ МЕДИТАЦИИ



РОМАНЕНКО Маргарита Владимировна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биотехнологии и вирусологии Новосибирского государственного университета. Победитель первого сезона телепроекта о науке «Научный стенд-ап» телеканала «Россия К» и Ассоциации «Science Slam Россия» (2018). Преподаватель йоги с 5-летним стажем. Автор и соавтор 30 научных публикаций, двух учебных пособий

О йоге и медитативных практиках я знаю не понаслышке, так как занимаюсь ими около 8 лет. И, конечно, как молекулярный биолог, я не могла не заинтересоваться биологическими механизмами, лежащими в основе их благотворного действия на организм.

Как известно, феномен клеточного старения сегодня связывают с уменьшением длины теломер, защищающих хромосомы от повреждения при делении клеток, и снижением активности фермента теломеразы, которая их восстанавливает. Одной из первых, кто заинтересовался взаимосвязью между этими показателями и медитативными практиками,



стала американский цитогенетик Э. Блэкберн. В 2009 г. именно она совместно с К. Грейдер и Дж. Шостаком получила Нобелевскую премию за открытие теломеразы и исследования механизмов старения клеток.

В одном из своих недавних интервью Блэкберн заметила, что, скажи ей кто-нибудь несколько лет назад, что она будет заниматься научным исследованием медитации, она бы не поверила. Сегодня ряд ее работ посвящены именно изучению взаимосвязи длины теломерных участков и активности теломеразы со стрессом, с одной стороны, и с медитацией – с другой. По мнению Блэкберн, медитативные техники оказывают положительное влияние на эти хромосомные характеристики, которые являются своего рода показателем здоровья человека и его долголетия. И чем дольше человек будет заниматься медитативной практикой, тем значительнее будет этот эффект. Подробнее с результатами этих исследований можно познакомиться в книге Э. Блэкберн и Э. Эпель «Эффект теломер. Революционный подход к более молодой, здоровой и долгой жизни», которая вышла на русском языке в 2017 г.

Аналогичные результаты были получены и другими исследователями. Например, оказалось, что даже короткий (продолжительностью около 12 минут) вариант очень эффективной медитативной техники *Киртан Крия* при регулярном применении улучшает сон, уменьшает депрессивные и тревожные состояния и нормализует обмен углеводов у пожилых пациентов (Khalsa, 2015). И, что самое интересное, повышает у них активность теломеразы на 43%! Никаких особых физических навыков эта техника не требует, к тому же в Интернете имеется множество посвященных ей роликов с объяснениями и музыкальным

сопровождением. Обязательное требование одно, как и для любых медитативных практик, – регулярность.

Что касается меня, то семь лет назад я открыла для себя технику «динамической медитации», которая полностью изменила мою жизнь. Она была изобретена индийским мистиком и по совместительству профессором Джабалпурского университета Ш. Раджнишем (Ошо). В отличие от предыдущей, эта техника требует серьезных физических усилий. Научных исследований, касающихся динамической медитации, пока немного. Тем не менее есть данные, что трехнедельные занятия приводят к снижению в крови уровня гормона стресса кортизола (Bansal *et al.*, 2016). Эта техника эффективна и для снятия тревожности (Iqbal *et al.*, 2014). Динамическую медитацию сегодня рекомендуют психотерапевты пациентам с депрессией, а доктор А. Фуллам из Гарвардского университета (США) использует ее в комплексном лечении рассеянного склероза (Gordon, 2009; Graham, 2010).

Конечно, многие люди могут скептически отнестись к подобным работам, считая, что улучшение самочувствия после медитации и долговременное сохранение этого эффекта объясняется банальным отдыхом. Таким скептикам будут интересны результаты исследования, в котором участвовали две группы: женщины, никогда не занимавшиеся медитацией, и «опытные медитаторы». В эксперименте половина первой группы «занималась отдыхом», а вторая – медитировала впервые в жизни (Erel *et al.*, 2016). У всех участников было измерено содержание в крови различных биомаркеров, в том числе связанных со старением. Оказалось, что некоторые показатели, такие как реакция на стресс и состояние иммунной системы,



улучшились у всех испытуемых, однако лишь медитаторам, как опытным, так и начинающим, удалось долгое время поддерживать низкий уровень стресса.

В 2017 г. я подготовила лекцию «Молекулярная биология медитации (как медитировать, чтобы удлинять хромосомы)», которую презентовала на «научном бар-хоппинге» «Ночь научных историй», прошедшем в октябре прошлого года в новосибирском Академгородке. Пока нас за одно только это название могут обвинить в лженауке. Но ведь медитация позволяет нам справляться не только с ежедневными стрессами и нагрузками. К примеру, в Канаде, в онкологическом центре при Университете Калгари, на основе использования медитативных техник и практики йоги разработана и успешно действует программа помощи онкобольным, которая так и называется – *Mindfulness-based stress reduction* (Программа снижения стресса на основе практик осознанности). Она помогает пациентам справиться со страхом и тревожностью и настроиться на выздоровление, чтобы успешнее бороться с симптомами и побочными эффектами лечения тяжелой болезни



Литература

Блэкбери Э. Э., Эпель Э. Эффект теломер: революционный подход к более молодой, здоровой и долгой жизни, М.: «Э», 2017, 384 с.

Bansal A., Mittal A., Seth V. Osho Dynamic Meditation's Effect on Serum Cortisol Level // *J. Clin. Diagn. Res.* 2016. V. 10. N. 11. CC05–CC08.

Epel E. S., Puterman E., Lin J. et al. Meditation and vacation effects have an impact on disease-associated molecular phenotypes // *Transl. Psychiatry.* 2016. V. 6. N. 8. e880.

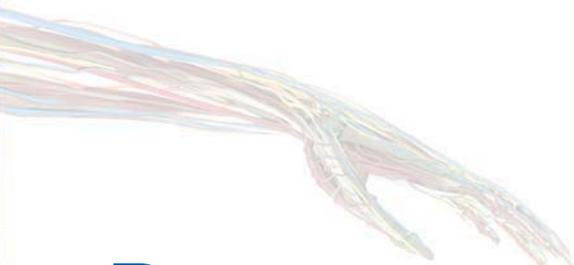
Khalsa D. S. Stress, Meditation, and Alzheimer's Disease Prevention: Where The Evidence Stands // *J. Alzheimers Dis.* 2015. V. 48. N. 1. P. 1–12.

Фото М. Бульонкова



ВО ВЛАСТИ ОПУХОЛИ: почему метастазы так трудно остановить?

Когда хотя бы одна из 100 триллионов нормальных клеток организма перерождается в раковую и не уничтожается, срабатывает спусковой крючок и запускается рост опухоли. С развитием заболевания некоторые раковые клетки формируют метастазы – вторичные очаги опухолевого роста. И зачастую даже своевременное удаление первичной опухоли и послеоперационная терапия не способны вызвать ремиссию. Оказывается, первичная опухоль уже на ранних этапах своего роста способна «обучать» микроокружение в очагах развития будущих метастазов, да и сами метастазные раковые клетки «подстраивают» работу своих генов так, чтобы лучше прижиться в новом месте. Если мы будем знать, как предотвратить рост и развитие метастазов, то сможем спасти до 90% людей, умирающих от основных видов рака



В последние десятилетия усилия многих онкологов были направлены на установление детальных механизмов зарождения раковой опухоли, регуляции ее активного роста и процессов формирования благоприятного для нее микроокружения из клеток *стромы*, соединительнотканного каркаса органа. Со временем стало понятно, что основная угроза рака заключена в его способности к распространению по организму.

Некоторые раковые клетки первичной опухоли отделяются от нее и попадают в кровоток или лимфоток, по которому они путешествуют в главные магистрали сосудистой системы. Клетки, преодолевшие этот путь, выходят в строму органа за счет задержки в узких капиллярах и *адгезии* («прилипания») к внутренней сосудистой стенке. Лишь небольшая часть этих раковых клеток выживает в новой среде, но именно они и становятся родоначальником новых очагов роста опухоли. Процесс рассеивания раковых клеток по организму, названный *метастазированием* (от др.-греч. «менять, переносить»), был впервые описан еще в 1889 г. британским хирургом и патологоанатомом С. Педжетом, но его механизм долгое время оставался загадкой для научного сообщества.

Педжет провел аналогию между метастазированием и прорастанием семян, которые также выживают лишь в подходящей им «почве»-микроокружении. В те времена этой идее было невозможно дать экспериментального подтверждения, поэтому долгое время преобладала теория американского патолога Дж. Юинга, согласно которой основную роль в распространении метастазов по организму играют особенности динамики кровотока и устройство сосудистой системы.

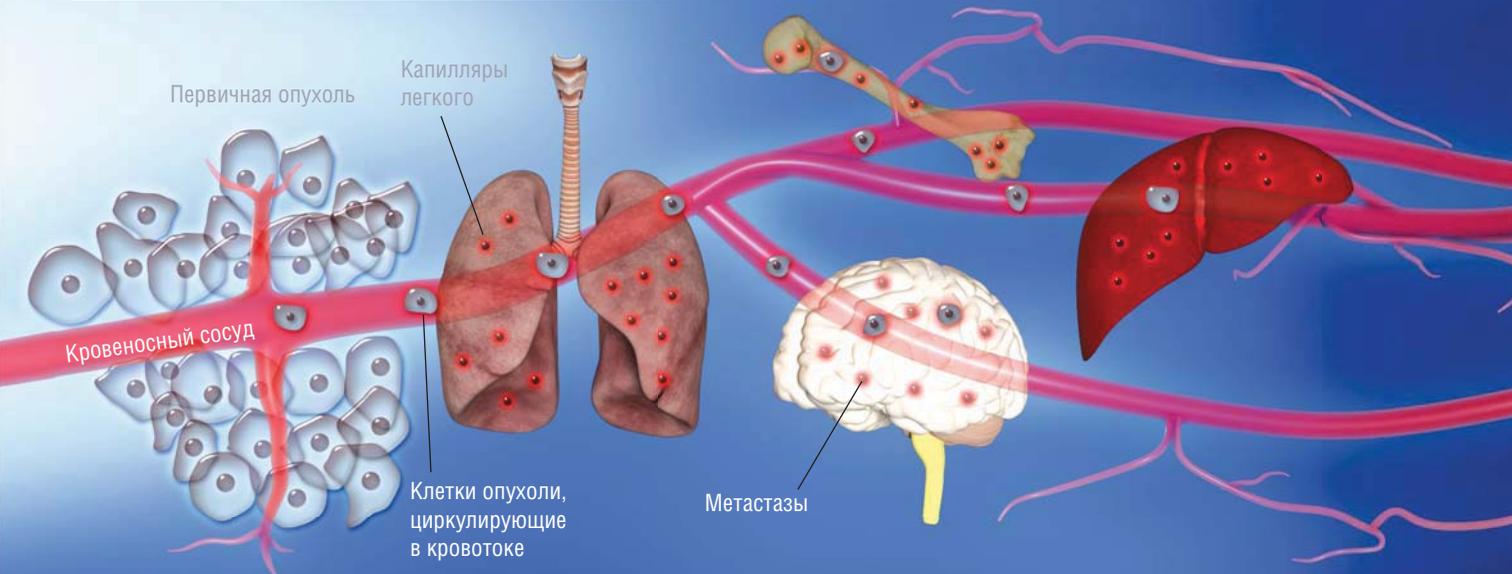
Ключевые слова: онкология, метастазы, опухолевое микроокружение, драйверы метастазирования, метаболизм, органотропия.

Key words: oncology, metastasis, tumour microenvironment, metastatic drivers, metabolism, organotropic

© М.П. Рафаева, 2018



Рафаева Мария Петровна – выпускница биологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова и магистратуры медицинского факультета Университета Турку (Финляндия), аспирант Центра биотехнологических исследований и инноваций Университета Копенгагена (Дания). Автор 1 научной публикации



Некоторые клетки первичной опухоли выходят в кровотоки или лимфоток и путешествуют по сосудистой системе. Задерживаясь в узких капиллярах органов и «прилипая» к их внутренней стенке, они из просвета сосуда переходят в стromу органа. Лишь немногим раковым клеткам удается при этом выжить, но именно они формируют новые очаги роста опухоли – метастазы. По: (Massagu, Obenauf, 2016)

Наконец в 1970-е гг. благодаря экспериментам на лабораторных мышах, которым делались инъекции раковых клеток, меченных радиоактивными изотопами, американский исследователь И. Фидлер смог доказать, что на результат метастазирования влияет природа раковых клеток: клетки меланомы метастазировали в легкие, но не в печень, в сосудах которой они не выживали. Позднее были установлены и другие факты, подтверждающие, что раковые клетки разной природы метастазируют преимущественно в определенные органы, иногда даже и в определенной последовательности. Например, клетки рака молочной железы формируют метастазы сначала в костях, печени, лимфатических узлах и легких, и лишь потом уже – в мозге. Явление специфического распределения метастазов по организму назвали органотропией метастазирования.

И сегодня в онкологии все еще остается много вопросов без ответов. Например, отличаются ли метастазные раковые клетки от других клеток первичной опухоли? Что лежит в основе органотропии? И главное: как метастазам удастся выжить после удаления первичной опухоли и проведения химиотерапии?

Метастазы можно сравнить с прорастанием семян: и те и другие выживают лишь на подходящей «почве». Отличие метастазов в том, что подходящие условия для их формирования создает сама первичная опухоль

Метастазы: от генетики до эпигенетики

Поведение любой клетки генетически обусловлено. Злокачественная трансформация нормальных клеток в раковые связана с мутациями в генах-драйверах, которые приводят к неконтролируемому клеточному делению. Эти выгодные для опухолевых клеток мутации сопровождаются мутациями в других генах, которые изначально не влияют на рост опухоли, – генах-пассажирах. С каждым поколением клеток, каждым новым клоном эти генетические изменения накапливаются. Некоторые клеточные клоны преуспевают больше остальных, что позволяет говорить об «эволюционных» изменениях внутри опухоли.

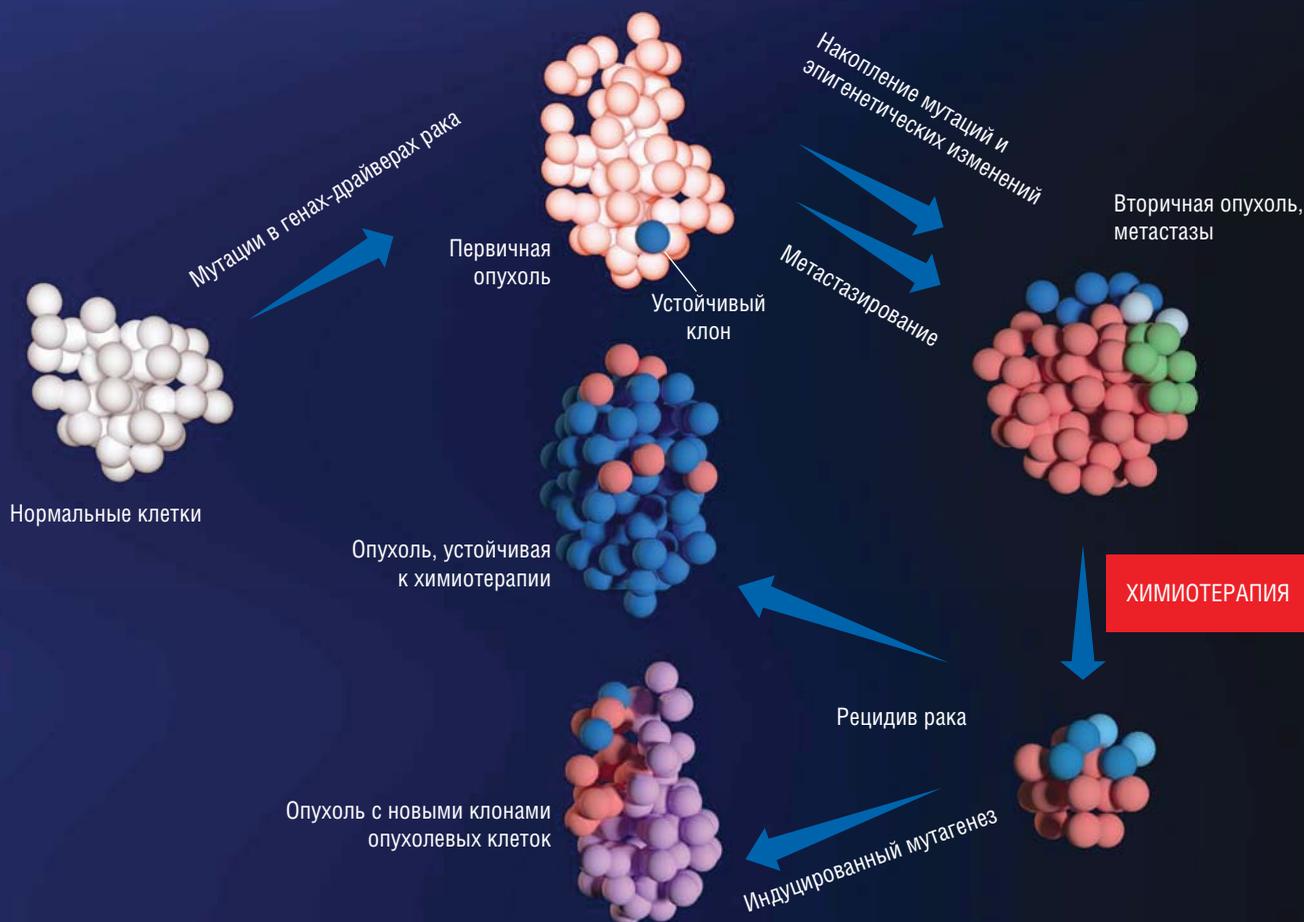
Согласно одной из гипотез, некоторые клетки опухоли приобретают способность к метастазированию в результате аналогичного накопления мутаций в генах-драйверах, которые запускают этот процесс. Однако экспериментального подтверждения этому нет: сегодня ученые сходятся во мнении, что метастазировать способно большинство клеток первичной опухоли. Так, генетическое исследование клеток рака поджелудочной железы, рассеивающихся в лимфоузлы, печень и легкие, выявило, что клетки-основатели метастазов обладают тем же «профилем» мутаций-драйверов, что и первичная опухоль: их генетическое сходство даже выше, чем у случайно взятых клеток нормальной ткани (Alderton, 2017).

Но что происходит позже с геномами метастазных клеток? При сравнении клеток первичных опухолей молочных желез и их локальных (в ближайших лимфатических узлах) и отдаленных метастазов было установлено, что в новых очагах геномы раковых клеток продолжают эволюционировать независимо от первичной опухоли (Yates *et al.*, 2017). При этом «профиль» мутаций в метастазных очагах в одном органе оказывается схожим, но различным в разных органах. Это означает, что раковые клетки адаптируются к новому микроокружению в зависимости от занятой ими

ниши. Следовательно, хотя изначально клетки метастазов и первичной опухоли имели схожие мутации, процесс адаптации к новой среде инициировал появление новых генетических изменений. И эти мутации в основном связаны уже не с генами-драйверами, а с генами-пассажирами.

Интересно, что был обнаружен как минимум один ген – FBXW7, мутации в котором противодействуют метастазированию (Mlecnik *et al.*, 2016). Происходит это за счет усиления провоспалительной

Нормальные клетки ткани имеют предсказуемое поведение: темпы пролиферации, срок жизни, характер взаимодействия с другими клетками. При злокачественной трансформации накапливаются мутации, и опухоль постепенно становится генетически гетерогенной, т.е. состоящей из поколений нескольких клонов раковых клеток. В результате химиотерапии раковые клетки, чувствительные к препарату, гибнут, тогда как другие выживают и размножаются. Химиотерапевтические препараты сами по себе являются мутагенами и могут провоцировать изменения в геноме раковых клеток, а также дают начало новым опухолевым клонам. На этом этапе поведение раковых клеток уже непредсказуемо, так как их генетические и эпигенетические изменения приводят к приобретению клетками новых свойств. По: (Баранова, 2017)



реакции, увеличения численности и роста активности Т-лимфоцитов, что стимулирует формирование иммунных реакций по отношению к опухолевым клеткам. Таким образом, появление мутаций в гене FBXW7 раковых клеток предотвращает развитие характерной для опухолей иммуносупрессии.

До сих пор мы говорили о непосредственных изменениях в самой структуре ДНК. Следующая ступень в регуляции экспрессии генов – *эпигенетические изменения*, связанные с метилированием ДНК и *гистонов* (ДНК-связывающих белков). По своей природе такие изменения более пластичны по сравнению с генетическими: они подвержены влиянию клеточных каскадов передачи сигнала, подстраивающихся под действие внешних факторов.

Оказалось, что в клетках метастазов «эпигенетический код» значительно отличается от «кода» первичной опухоли. Так, в случае рака поджелудочной железы в метастазах наблюдается значительное ослабление метилирования гистонов и ДНК. В результате участки неактивного *хроматина* (вещества хромосом) переходят в активное состояние, доступное для транскрипционных факторов, контролирующих считывание информации с ДНК на матричную РНК. Такой механизм приводит к усилению экспрессии генов онкогенеза в клетках метастазов (Alderton, 2017).

На развилке метаболических путей

Эпигенетическая регуляция – один из важнейших механизмов программирования клеточного метаболизма. С ростом опухоли внутри нее образуются области, куда не доходят кровеносные сосуды и где возникает кислородная недостаточность (*гипоксия*). В результате деметилирования ДНК в раковых клетках начинает активно работать ген, кодирующий белок HIF-1-альфа, который так и называется – *фактор, индуцируемый гипоксией*. Усиленное образование этого белка, в свою очередь, влияет на уровень экспрессии генов множества метаболических ферментов и белков-транспортёров, что приводит к комплексным изменениям метаболизма раковых клеток.

Как известно, клеточный метаболизм включает процессы расщепления соединений с выделением энергии (*катаболизм*) и их образования с использованием энергии (*анаболизм*). Энергетический обмен клетки обеспечивается благодаря клеточному дыханию, в котором выделяют *гликолиз* (ферментативный распад глюкозы), *цикл трикарбоновых кислот* (окислительные превращения промежуточных продуктов распада и синтеза белков, жиров и углеводов) и *окислительное фосфорилирование* (запасание энергии в результате окисления молекул органических веществ).

После формирования преметастазных ниш с благоприятным клеточным окружением некоторые раковые клетки покидают первичную опухоль и формируют микрометастазы в других тканях и органах. Финальный этап формирования вторичного очага может занимать от нескольких месяцев до нескольких лет

Раковые клетки по-своему приспосабливают энергетический обмен к условиям недостатка кислорода. В первичной опухоли они в основном используют анаэробный гликолиз, а не окислительное фосфорилирование, как в нормальных клетках. Это усиленное поглощение и расщепление глюкозы до молочной кислоты, которая выделяется раковыми клетками, названо *эффектом Варбурга*. Такая адаптация позволяет раковым клеткам успешно выживать и активно размножаться при недостатке кислорода.

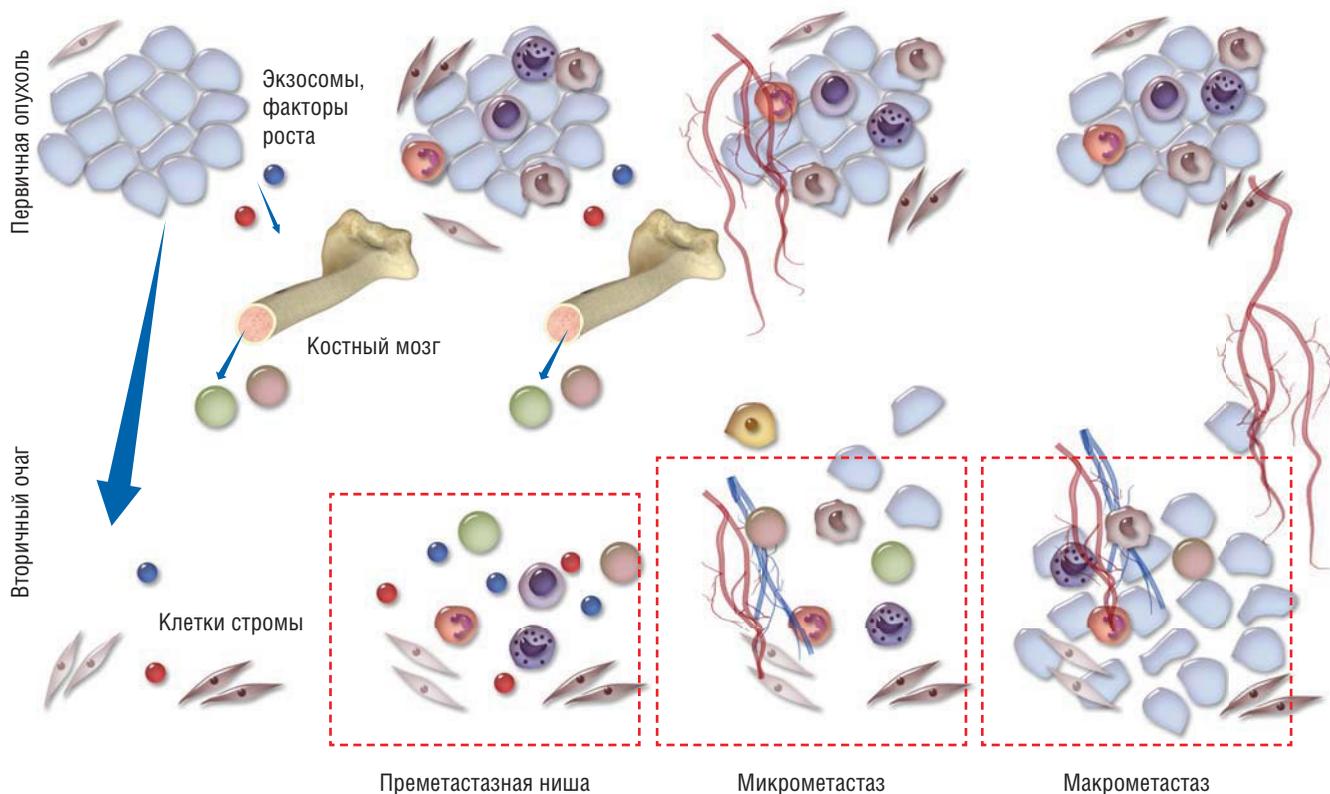
Но все это относится к первичной опухоли, для клеток же метастазов особенности генерирования энергии до сих пор мало изучены. Тем не менее, используя клетки рака молочной железы, обладающие широкой органотропией при метастазировании, ученые обнаружили различия в метаболизме первичной опухоли и метастазов. Раковые клетки, колонизировавшие кости и легкие, более активно использовали окислительное фосфорилирование, а колонизировавшие печень – гликолиз. Когда раковые клетки колонизировали все возможные органы-мишени, в них активировались оба метаболических пути (Rosen, Jordan, 2009). Похоже, что такая метаболическая пластичность помогает раковым клеткам осваивать новые ниши.

Почему же метастазам в одном случае выгоднее использовать преимущественно один вид метаболизма, а в другом – другой? Ответ на этот вопрос, как и на вопрос о роли различных факторов в регуляции метаболической пластичности раковых клеток, еще только предстоит узнать.

Как готовится «почва» для метастаза

Несмотря на всю свою адаптационную пластичность, метастазные раковые клетки не могут в одиночку справиться со столь непростой задачей – освоением совершенно незнакомого места обитания.

В 2005 г. в экспериментах группы Д. Лидена было впервые показано, что первичная опухоль стимулирует формирование так называемых *преметастазных ниш* в различных органах. Это происходит, во-первых, за счет стимуляции рецептора *фактора роста эндотелия сосудов* (VEGFR-1) на миелоидных клетках-предшественниках форменных элементов крови



Опухоль продуцирует вещества, стимулирующие миелоидные клетки костного мозга перемещаться в будущие очаги метастазирования

Клетки соединительной ткани первичной опухоли и будущего метастаза формируют благоприятное для опухоли клеточное микроокружение

Происходит рост сосудов, по которым метастазные клетки перемещаются из первичной опухоли в преметастазные ниши

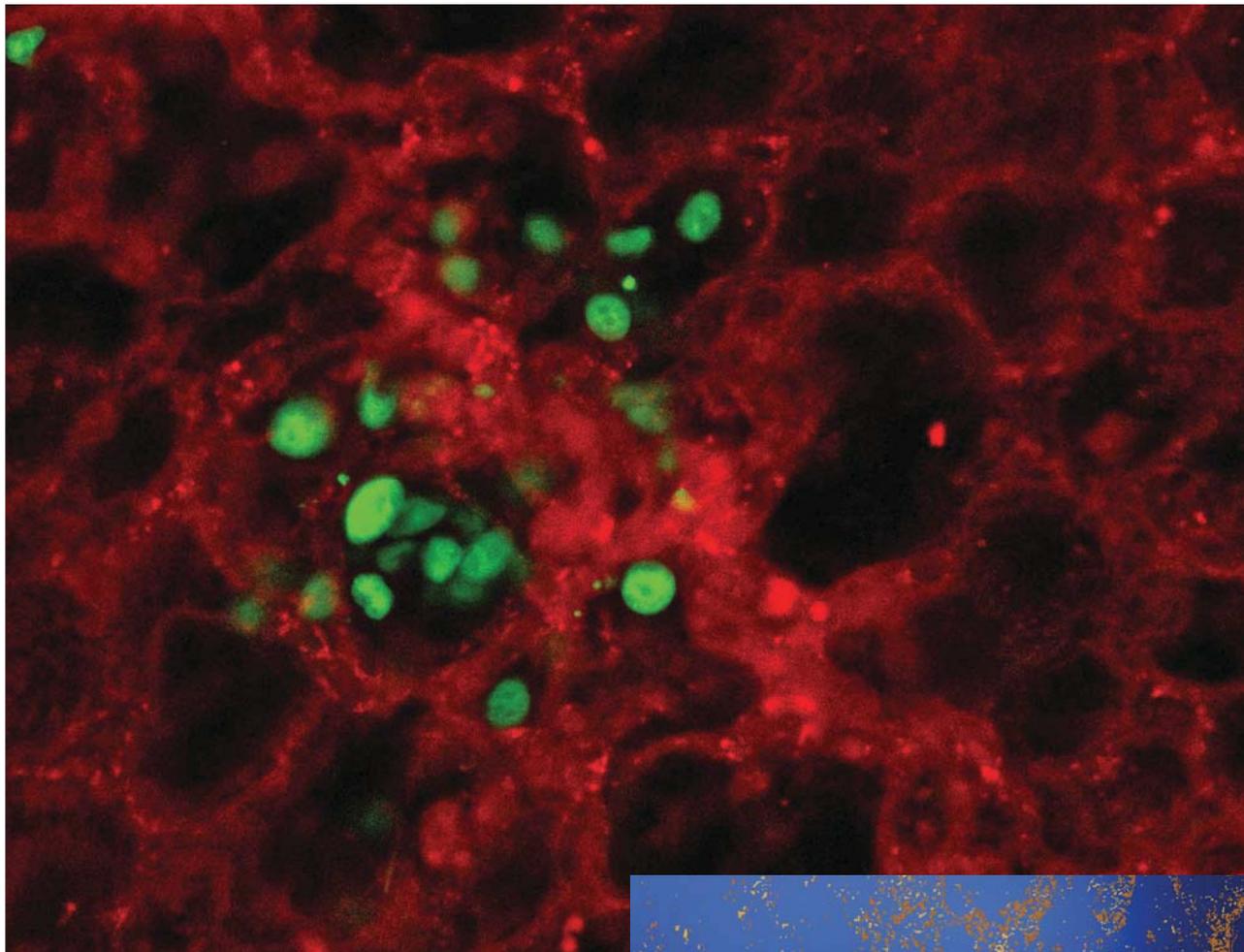
Формируется полноценный вторичный опухолевый очаг

В формировании метастазов выделяют несколько стадий. Уже на ранней стадии роста первичной опухоли происходит прайминг – «обучение» будущего вторичного очага с помощью выделяемых опухолью факторов роста и экзосом – мембранных структур, доставляющих в клетки белки и нуклеиновые кислоты. На стадии лицензирования происходит иммуносупрессия первичной опухоли и создание благоприятного микроокружения в преметастазных нишах; на стадии инициирования происходит освоение опухолевыми клетками преметастазной ниши; стадия прогрессирования – финальная в формировании вторичной опухоли. По: (Liu, Cao, 2016)

(эритроцитов, гранулоцитов, моноцитов и тромбоцитов) в костном мозге, что стимулирует их миграцию в очаги развития метастазов. Во-вторых, находящиеся в этих очагах фибробласты (клетки соединительной ткани) начинают усиленно производить *фибронектин* – один из компонентов внеклеточного матрикса. Миелоидные клетки-предшественники имеют рецепторы клеточной адгезии к этому белку, поэтому в буквальном смысле «падают на удочку» и заселяют преметастазные ниши, где начинают секретировать воспалительные

цитокины, факторы роста и проангиогенные факторы, стимулирующие формирование сосудов. Все это способствует модификации стромы органа и колонизации ее метастазами.

Хотя описанная выше схема характерна для большинства органов, у нее имеются особенности в зависимости от места (органа), где формируются метастазы. Например, в печени и легких в процессе создания преметастазной ниши активно участвуют еще одни клетки крови – нейтрофильные гранулоциты.



Раковые клетки (окрашены зеленым), покидающие кровеносный сосуд (окрашены красным) и колонизирующие строму легкого. Мультифотонная флуоресцентная микроскопия. Микрофотография А. М. Гуилиани (Дания)

Известно, что лейкоциты этого вида помогают раковым клеткам интегрироваться в новую нишу, секретируя протеазы и цитокины и непосредственно контактируя с раковыми клетками при выходе из капилляров.

Метастазы в костях – одни из самых коварных, и их премегазная ниша имеет выраженные особенности. Например, при раке молочной железы в кости метастазируют только те раковые клетки, которые не имеют рецепторов к гормону эстрогену. Такие клетки первичной опухоли активно выделяют фермент *лизилоксидазу*. В костях этот фермент стимулирует формирование остеокластов – гигантских клеток-макрофагов, которые «съедают» костную ткань (Cox *et al.*, 2015). Позднее эти полости, остающиеся в кости в результате разрушительной работы остеокластов, занимают метастазы.

Основная же функция лизилоксидазы заключается в формировании поперечных связей между коллагеновыми волокнами соединительной ткани. При развитии гипоксии раковые клетки молочной железы увеличивают синтез этого фермента, что способствует

ремоделированию внеклеточного матрикса при подготовке уже другой премегазной ниши – в легких.

При некоторых типах рака (например, меланоме) для успешного метастазирования в лимфатические узлы и органы необходимо, чтобы в их премегазной нише сформировались новые лимфатические сосуды. Недавно было установлено, что такой лимфангиогенез начинается на ранних стадиях роста первичной опухоли, а медиатором его запуска является белковый фактор роста *мидкин*, секретируемый клетками меланомы (Olmeda *et al.*, 2017).

Описанные различия в специфичных механизмах формирования ниш могут служить одним из объяснений органотропного метастазирования. Но на каком основании раковые клетки, которые в принципе могут метастазировать в разные органы, выбирают один из них? Ключевой механизм, известный на данный момент, заключается в «обучении» будущих очагов с помощью специфичных экзосом – микроскопических внеклеточных пузырьков, секретлируемых клетками. На липидной мембране экзосом располагаются рецепторы, а во внутренней полости – РНК и белки.

Ученые провели интересный эксперимент: выделили экзосомы от раковых клеток разного происхождения (рака груди, поджелудочной железы и др.), они ввели их в кровотоки лабораторных мышей, которым были привиты опухоли другого типа (Hoshino *et al.*, 2015). Оказалось, что с помощью экзосом можно перепрограммировать распределение метастазов по органам.

За счет чего это происходит? Экзосомы разных типов рака несут на своей поверхности рецепторы к определенному белку внеклеточного матрикса, играя роль «межклеточной почты»: они адресно доставляются именно в тот орган, в строме которого содержится много такого специфического белка. Сливаясь с мембранами клеток стромы, экзосомы освобождаются от содержимого. В клетках запускается программа преметастазной подготовки: в фибробластах легких – через активацию одних генов группы S100, в клетках *Купфера* в печени – других генов той же группы. В результате стимулируются клеточные каскады передачи сигнала и воспалительные реакции, благодаря которым происходит «обучение» преметастазной ниши (Hoshino *et al.*, 2015).

Подведем итог. Все описанные механизмы метастазирования, безусловно, усложняют картину течения онкозаболеваний и тактики их лечения. Особого внимания требует гетерогенность первичной опухоли и метастазов по ряду самых разных признаков, из чего следует необходимость использовать комбинированное и *таргетное* (направленное) лечение на разных стадиях течения болезни. Подтверждение этому – результаты одного из последних исследований, базирующихся на лечении онкологического пациента с рецидивами между курсами длительной иммунотерапии (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2017). Сравнение популяций Т-лимфоцитов из микроокружения разных метастазов показало, что они гетерогенны. Следовательно, первичная, вторичные и последующие опухоли по-разному отвечают на лечение.

Сегодня мы также знаем, что под действием цитостатиков субклоны раковых клеток увеличивают секрецию факторов роста и запускают клеточные сигнальные каскады, препятствующие гибели клеток. Кроме того,

их выживанию помогает поддержка клеток стромы, под действием химиопрепаратов меняющих свое поведение на «оборонительное». В результате после химиотерапии зачастую выживают субклоны раковых клеток с мутациями, которые оказались полезны в новой среде, т.е. с устойчивостью к использованным лекарственным средствам.

Обнаружение преметастазных ниш и понимание их устройства позволили по-новому взглянуть на проблемы терапии онкозаболеваний. Ведь если бы были найдены способы воспрепятствовать такой подготовке «почвы» для метастазирования, это позволило бы намного увеличить вероятность наступления ремиссии.

Литература

Alderton G. K. *Tumour evolution: epigenetic and genetic heterogeneity in metastasis* // *Nat Rev Cancer*. 2017. V. 17. N. 2. P. 141.

Cox T. R., Rumney R. M. H., Schoof E. M., *et al.* *The hypoxic cancer secretome induces premetastatic bone lesions through lysyl oxidase* // *Nature*. 2015. V. 522. N. 7554. P. 106–110.

Jiménez-Sánchez A., Memon D., Pourpe S., *et al.* *Heterogeneous Tumor-Immune Microenvironments among Differentially Growing Metastases in an Ovarian Cancer Patient* // *Cell*. 2017. V. 170. N. 5. P. 927–938.e20.

Hoshino A., Costa-Silva B., Shen T.-L., *et al.* *Tumour exosome integrins determine organotropic metastasis* // *Nature*. 2015. V. 527. N. 7578. P. 329–335.

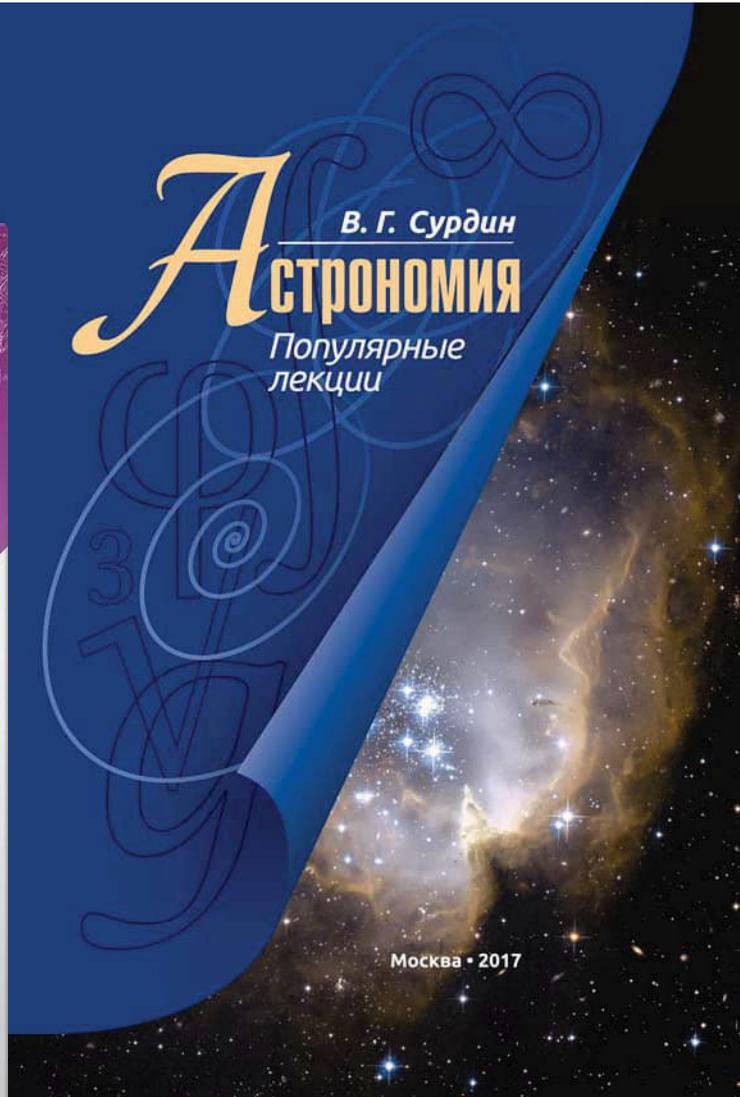
Mlecnik B., Bindea G., Kirilovsky A., *et al.* *The tumor microenvironment and Immunoscore are critical determinants of dissemination to distant metastasis* // *Sci Transl Med*. 2016. V. 8. N. 327. P. 327ra26-327ra26.

Olmeda D., Cerezo-Wallis D., Riveiro-Falkenbach E., *et al.* *Whole-body imaging of lymphovascular niches identifies premetastatic roles of midkine* // *Nature*. 2017. V. 546. N. 7660. P. 676–680.

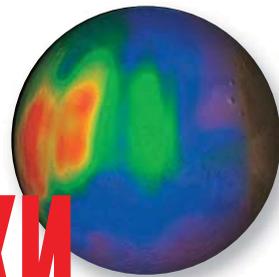
Rosen J. M., Jordan C. T. *The increasing complexity of the cancer stem cell paradigm* // *Science*. 2009. V. 324. N. 5935. P. 1670–1673.

Yates L. R., Knappskog S., Wedge D., *et al.* *Genomic Evolution of Breast Cancer Metastasis and Relapse* // *Cancer Cell*. 2017. V. 32. N. 2. P. 169–184.e7

Публикация подготовлена на основе статьи, которая участвовала в научно-популярном конкурсе «био/мол/текст»-2017 портала «Биомолекула» (biomolecula.ru)



НОВЕЙШИЕ небесные ХРОНИКИ



© В. Г. Сурдин, 2018



СУРДИН Владимир Георгиевич – астроном, кандидат физико-математических наук, доцент физического факультета Московского государственного университета, старший научный сотрудник Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга. Лауреат Литературной премии им. Александра Беляева (2012) и премии «Просветитель» (2012, 2015). Автор и соавтор 1099 статей, 126 книг и 19 учебных курсов

Ключевые слова: астрономия, космонавтика, исследование Марса.

Key words: astronomy, astronautics, investigation of Mars

Знание основ астрономии – неперенная часть культуры современного человека. Если наша страна хочет приобщиться к высокому уровню мировой культуры, она обязана дать возможность своей молодежи изучить основы естествознания, значительную долю которого составляет астрономия. Лишняя молодых людей этой возможности, мы теряем качество образования и, как результат, снижаем технологический уровень своей страны. Печальным примером этого служит современная Россия: в течение двух десятилетий у нас уменьшалась доля естественных наук в школе, а преподавание астрономии как отдельного предмета полностью прекратилось. Результат всем хорошо известен: в стране нарастает технологическое отставание, смутное представление об окружающем мире дополняется в головах молодежи мифами и околонукачными сенсациями.

Но в силу естественной любознательности школьники и студенты тянутся к знаниям о космосе, а руководители просвещения понимают необходимость этих знаний для будущих ученых и инженеров. Вот почему за последние несколько лет наиболее сильные университеты России ввели в программу физических факультетов базовые курсы по астрономии, а МГУ им. М. В. Ломоносова даже организовал межфакультетский и дистанционный курсы основ астрономии.

Наконец, с 1 сентября 2017 г. астрономия вновь стала обязательным предметом в наших школах, и это отрадно, поскольку стране нужны грамотные инженеры и ученые, а астрономия как никакая другая наука стимулирует интерес к естественным предметам: физике, математике, химии, биологии...

Астрономия вернулась в школу – и это хорошо. Вернулась второпях, без должной подготовки – и это плохо. Не подготовлены учителя, нет хороших учебников... Нужно ли было так торопиться? Вопрос риторический. Сейчас важно быстро и качественно создать базу для продуктивной работы учителей, учеников и их родителей. Школьнику нужен хороший современный учебник, учителю – задачник, а родителям – дополнительные материалы, чтобы не ударить в грязь лицом перед своими чадами в разговорах о звездах и планетах.

Мы, профессиональные астрономы и преподаватели, работаем над этим, стараясь учесть современные тенденции. За те годы, что астрономия систематически преподавалась у нас лишь немногочисленным будущим специалистам небесной науки, многое изменилось. Интернет сделал знания общедоступными, и он же породил клиповый формат сообщений. Теперь от учебного курса для широкой аудитории требуется не систематическое изложение полного объема информации по предмету, а демонстрация его связи с другими науками и областями нашей жизни, разъяснение «тонких» мест, исправление aberrаций, рожденных непрофессиональными сообщениями в Интернете. И главное, что требуется от учебника и лектора, – зажечь интерес к предмету и желание черпать дополнительные знания из окружающих потоков информации. Для этого потребуются испытать разные подходы. Один из них – перед вами. Это мои книги «Астрономия. Популярные лекции» (М.: Литео, 2017) и «Вселенная в вопросах и ответах» (М.: АНФ, 2017).

Книга «Астрономия» подготовлена на основе лекций, прочитанных в 2013–2017 гг. в МГУ им. М. В. Ломоносова и его Бакинском филиале, на физическом факультете Новосибирского государственного университета, на курсах *on-line* порталов «Лекториум» и «Открытое образование» и в некоторых публичных лекториях, клубах и средних школах России. Лекции сопровождалась богато иллюстрированными презентациями, которые полностью продемонстрировать на страницах

книги невозможно, но легко найти и скачать через мою страницу в Интернете <http://lnfm1.sai.msu.ru/~surdin/>. Там же есть ссылки на видеолекции и курсы *on-line*. В подготовке этой книги самое живое участие принял новосибирский журнал «НАУКА из первых рук», коллективу которого я глубоко признателен.

Моя «Астрономия» не систематический учебник, но полезное дополнение к нему. Ведь быть культурным человеком – значит иметь ясное представление о мире, в котором ты живешь. А мир в целом, до его самых дальних пределов, изучает астрономия и пограничные с ней науки: астрофизика, астрохимия, астробиология. Знакомство с этими космическими науками развивает любознательность и стимулирует интерес к природным процессам, происходящим вокруг нас.

Но простое накопление знаний не может удовлетворить любознательного человека. Знания должны работать, их нужно уметь применять. Нынешние средства связи заливают нас потоком информации, в котором есть сведения чрезвычайно важные и интересные, но нередко встречаются ошибочные и даже лживые. Только активное знание помогает фильтровать эти потоки и получать из них ту информацию, которая развивает наш интеллект, а не засоряет мозг. Не буду вас убеждать, насколько полезен при изучении любого предмета задачник с подробными решениями. Ведь каждый из нас понимает, что «знать» и «уметь» – далеко не одно и то же. Именно задачники учат нас «уметь».

Много лет я преподаю в МГУ и ясно вижу разницу между студентами, прошедшими через олимпиады (т. е. склонными к решению нестандартных задач), и простыми зубрилами, поступившими в университет по баллам ЕГЭ. Олимпиадники стремительно выходят вперед, на 3–4 курсах начинают активно заниматься наукой, к 6 курсу имеют достойные публикации, а после окончания университета успешно делают академическую карьеру. В конце концов, что такое наука, если не умение ставить задачи и решать их.

Книга «Вселенная в вопросах и ответах» содержит сотни задач, вопросов и тестов с ответами и решениями. Эти в целом не очень сложные задачи, раскрывающие разные стороны современной астрономии и космонавтики, требуют, однако, творческого мышления и понимания предмета. Основой для некоторых вопросов стали литературные произведения, в том числе научно-фантастические повести братьев Стругацких. Такая увлекательная форма подачи помогает легче усваивать новые знания по астрономии и космонавтике и активнее оперировать ими, что важно для будущих ученых и инженеров, а также преподавателей физики и астрономии. Впрочем, я уверен, и некоторым знатокам естествознания эти задачи покажутся интересными и дадут пищу для ума.

Читайте, решайте, проверяйте свою смекалку!

История открытий НА МАРСЕ

Из книги В. Сурдина
«Астрономия.
Популярные лекции»

Запуски космических аппаратов к Марсу начались с 1962 г. Но лишь в 1965 г. мы увидели первые фотоснимки марсианской поверхности с близкого расстояния, переданные аппаратом *Mariner-4* (NASA), пролетавшим мимо. И тех, кто ожидал, что Марс – благоприятное для жизни место, эти изображения «немного» разочаровали: поверхность на первый взгляд напоминает лунную и не внушает никаких перспектив. Метеоритных кратеров на Марсе оказалось много по двум причинам. Одна из них – слабая эрозия. Дождей там последний миллиард лет не было, ветер не особенно сильный, и поэтому кратеры сохраняются долго. Вторая причина – часто падают метеориты, потому что Марс находится на внутреннем краю Главного пояса астероидов

С запуска *Mariner-4* прошло несколько лет, и у Марса появился первый искусственный спутник – *Mariner-9*. Он вышел на орбиту, стал летать вокруг планеты, сделал несколько тысяч фотографий, почти всю поверхность перефотографировал – и мы впервые увидели Марс целиком. Он оказался довольно интересным, по меньшей мере для геологов. Так что надо было посадить туда аппарат.

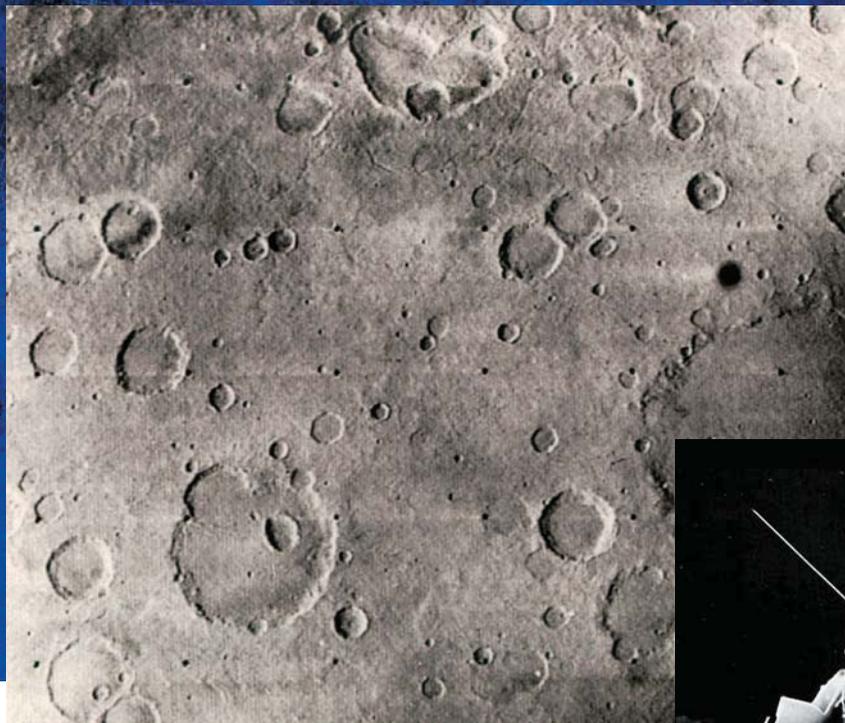
Значит, следующий шаг – посадка на планету. Как известно, отечественная электроника не очень надежная: наши (советские) аппараты по пути портились и до Марса не долетали. Тогда решили разом запустить по несколько аппаратов, чтобы хотя бы один из них долетел. И вот наша страна в 1971 г. запустила сразу три таких зонда, по конструкции не очень удачных, но в их составе был посадочный аппарат, капсула для посадки на Марс. И один из зондов таки долетел – и даже сел!

Так что первая посадка на Марс была наша, отечественная, инженеры здорово постарались. Конструкция у посадочного аппарата крепкая, на борту у него был первый в истории марсоход. Механическая лапка мягко опускала его на грунт, и он должен был ходить по поверхности Марса: не ездить на колесах, а именно ходить, как шагающий экскаватор.

Блютусов и вайфаев в ту пору не было, связь с базовой станцией была по проводу, т. е. марсоход должен был ходить привязанным на проводе, и далеко бы он в любом

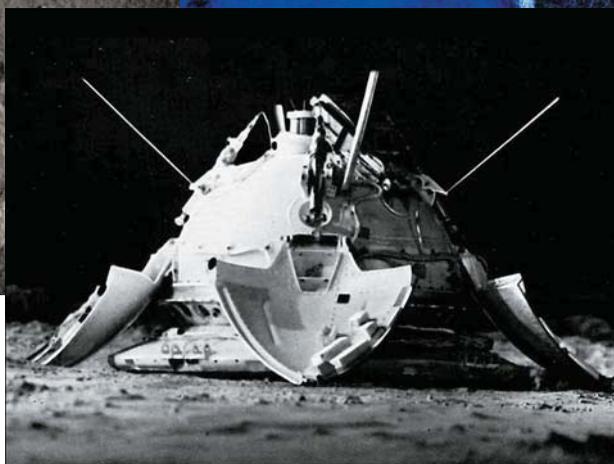
«Маринер-9», первый искусственный спутник Марса. Credit: NASA





Одна из первых фотографий марсианской поверхности с близкого расстояния.
Credit: NASA

«Марс-3» (СССР), первый аппарат, совершивший мягкую посадку на Марс (Роскосмос)



случае не ушел. Но насколько далеко он ушел, никто не знает, потому что после выпуска антенн станция проработала всего 10 секунд, потом сигнал перестал поступать по неизвестной причине. Так что никаких данных с поверхности мы тогда не получили.

С тех пор многие страны, прежде всего СССР и США, стали запускать роботов. Удачных экспедиций у СССР было немного: половина автоматических аппаратов не долетели (даже в один конец) – дело это непростое. Американские и европейские зонды были более удачными.

Недавно к Марсу прилетел индийский аппарат – и ведь работает до сих пор, уже третий год, хотя техника стран третьего мира нам казалась чем-то второразрядным. Тем не менее индийцы впервые запустили межпланетный аппарат, и им это удалось. А японцам – нет, их космический зонд добрался до Марса, но затормозить не смог и на орбиту не вышел.

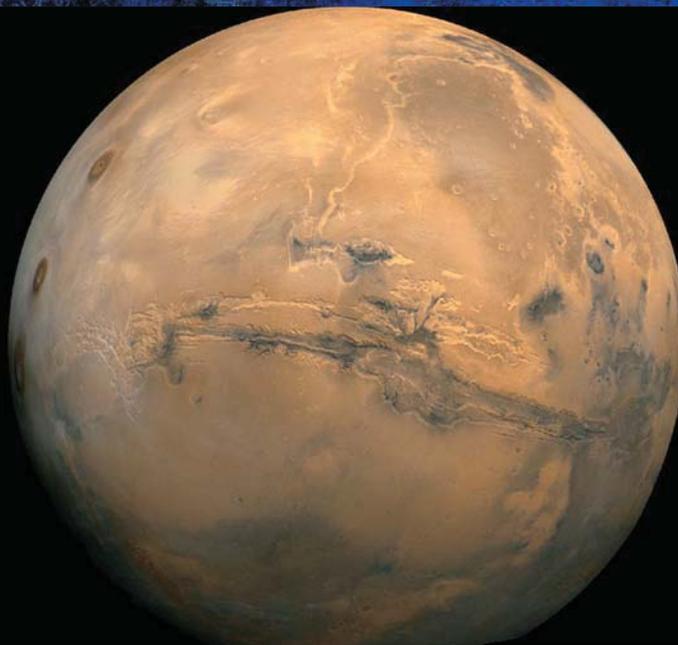
Итак, для геологов Марс оказался очень интересным. Планета небольшая, сила тяжести там почти втрое меньше, чем на Земле. Ведь сила тяжести поверхность выравнивает (по закону Архимеда), и когда гравитация слабая, то разница высот может быть весьма значительной. Поэтому на малых планетах и горы могут вырастать выше, и каньоны образовываться глубже. Так, на Земле максимальная высота гор – около 9 км, а на Марсе – 26 км, хотя плотность и твердость пород примерно одинаковая. На нашей планете более высоких гор не построить. Даже если на Эверест наложить

кирпичей, то выше он не станет – избыточной массой гора продавит свое основание.

Марсианские каньоны тоже очень глубоки, до 10 км. Один из самых глубоких назвали Долиной Маринера – в честь того самого, который впервые сделал его снимок. Длинной он около 4000 км, шириной – почти 800 км, глубиной – около 7 км. Правда, на Земле самое глубокое место – Марианская впадина – примерно такой же глубины, но это благодаря тому, что она заполнена водой.

Как и у нашей планеты, у Марса есть две полярные шапки. Весной солнышко пригревает (до -80°C), полярная шапка начинает под его лучами интенсивно таять, так как она в основном состоит из углекислого газа. Газ испаряется в атмосферу и замерзает на другом полюсе, который в тени. В результате огромное количество CO_2 устремляется через всю планету по меридианам из одного полушария в другое, этот ветер поднимает массу пыли и тем самым вызывает пылевую бурю. Хотя атмосфера Марса разреженная и сила тяжести на его поверхности небольшая, тем не менее даже такая атмосфера может создать мощный воздушный поток, который способен поднять пыль. И так повторяется

Облака в атмосфере
и полярные шапки Марса
(космический телескоп
«Хаббл», NASA, ESA)



Долины Маринера. Снимок
представляет собой мозаику
из 102 кадров, полученных
орбитальным аппаратом
«Викинг-1» в 1980 г.
Credit: NASA

дважды в год (марсианский, который почти вдвое длиннее земного).

«Маринеру-9» в этом отношении не повезло: он подлетел, начал фотографировать, а тут вдруг «бах» – и пылевая буря. Прошло лишь полтора месяца с начала весны, и пыль, поднятая ветром, заволокла всю поверхность. Четыре земных месяца зонд дождался окончания пылевой бури, чтобы продолжить свою работу.

Сегодня вокруг Марса работают много зондов. Самый сильный из них – американская (NASA) межпланетная станция *Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)*. У него мощный фотографический комплекс с большим телеобъективом, который позволяет получать фотоснимки поверхности планеты с линейным разрешением в четверть метра – именно такого размера детали могут быть различимы. Например, на снимках видны следы колес марсоходов. Эта орбитальная станция по радиоканалу передает информацию на Землю, и не только собственную, но и ретранслирует сигналы марсоходов с поверхности планеты, когда пролетает над ними.

Карты марсианского рельефа на сегодня более детальны, чем карты земной поверхности. На нашей планете мешают облака, вечнозеленые тропические леса. Кроме того, две трети поверхности нашей планеты покрыты водой, сквозь которую не видно ничего из того, что на дне. А на Марсе воды нет, облаков мало, зелени нет, поэтому его внешний вид мы знаем идеально.

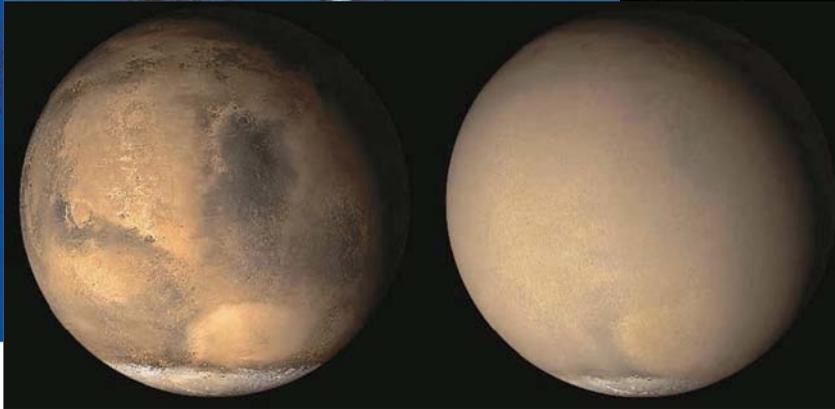
И даже внутри кое-что прощупали. Физикам известно, что любая волна проникает внутрь тела на расстояние порядка длины этой волны. *MRO* имеет

в своем распоряжении радиолокаторы, в том числе и длинноволновые (около километра). И его снимки Марса показывают много интересных деталей. Как правило, эти детали узнаваемы и имеют аналоги в земном рельефе. Вот, например, следы таяния полярной шапки. На ледниках Эльбруса есть точно такие же слои – для геологов очень знакомые структуры.

Казалось бы, а что может быть на Марсе не таким, как на Земле? Но вот картина не очень знакомая, похожая на шоколад или черепицу. Интересно, что скажут специалисты-геологи – есть ли такое у нас? Или вот – песчаные дюны, ветер дует, песок переносится. Но тут отделился светлый песок от темного: дюны из черного песка, а подстилающая поверхность – из более светлого. У нас на спутниковых снимках Земли такого сочетания мне не приходилось видеть. Хотя черный песок есть на Канарских островах, это вулканическое вещество: лежишь на пляже – ты белый, а он черный. Еще интересный пример космической съемки с орбиты: из красноватого песка вроде бы «кустики» торчат.

Марс вдвое меньше Земли, но все равно площадь поверхности планеты огромная, а марсоходы, в сумме исходившие лишь около 10 км², ничего подобного не обнаруживали.

Два снимка Марса, полученные в 2001 г. аппаратом *Mars Global Surveyor*. Слева: фото, сделанное в конце июня (четко видна поверхность планеты); справа: в июле, когда Марс был окутан пылевой бурей.
Credit: NASA/JPL/MSSS



Межпланетная станция *Mars Reconnaissance Orbiter*.
Credit: NASA

Марсианская вода

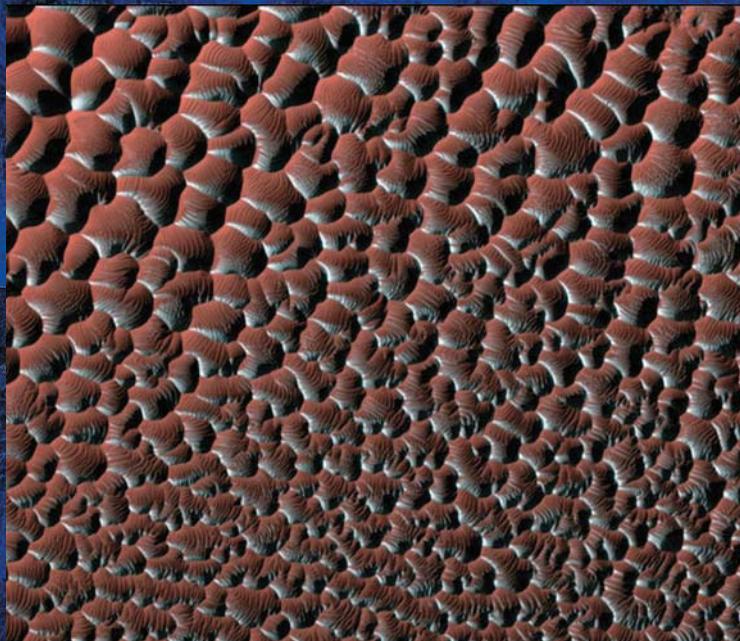
В полярной шапке вода, конечно, есть, но судя по тому, что эта шапка очень интенсивно тает под солнцем, мы понимаем, что воды там очень мало. В основном вещество шапки – это углекислый газ, который при низком марсианском давлении испаряется при -120°C .

Однако мы видим следы водных потоков, явные речные русла, сеть притоков, размытые овраги. Что-то там все же текло! Судя по всему, на Марсе даже море было, целый океан: в северном полушарии планеты поверхность очень ровная, вся выглаженная, как у нас морское дно, и ниже среднего уровня высоты метров на триста. Но куда вся эта вода делась? Наверное, часть замерзла, а часть испарилась. Но не вся же? Или вся?

Итак, следов течения много, но жидкой воды нигде не видно. А дело в том, что чистой жидкой воды на поверхности Марса быть не может. В прошлом давление марсианской атмосферы, по-видимому, было довольно высоким, но в нашу эпоху в среднем оно в 160 раз меньше земного – около 0,006 атм (на вершине горы Олимп 0,003 атм, а в долине Эллада 0,016 атм). А поскольку атмосфера Марса в основном состоит из углекислого газа, парциальное давление водяного пара в ней еще значительно меньше, т.е. существенно ниже давления, определяющего так называемую *тройную точку* на фазовой диаграмме воды, в которой сходятся линии

плавления льда и испарения жидкой воды. При давлении ниже, чем у тройной точки, чистая вода при любой температуре может устойчиво пребывать лишь в двух агрегатных состояниях – льда и пара. Лед мы видим в полярных шапках, пар тоже есть – о его присутствии в атмосфере говорят облака. А жидкой воды нет. Правда, на снимках с орбиты на некоторых склонах гор и оврагов видны следы «ручейков». Возможно, иногда под лучами весеннего солнца из слоев вечной мерзлоты вытекают крепкие рассолы перхлоратов, температура замерзания которых существенно ниже, чем у чистой воды: вот их следы и обнаружены. Но постоянных водных потоков нет. Значит, часть воды замерзла и лежит в вечных полярных шапках и слоях вечной мерзлоты, а другая часть испарилась и улетела в космос. Но почему она улетела? Ведь с Земли-то практически не улетает!

У нашей планеты есть магнитное поле, которое довольно надежно защищает нас от потоков солнечной плазмы. Из-за магнитного поля этот солнечный ветер с атмосферой Земли практически не взаимодействует: заряженные частицы плазмы облетают планету вдоль силовых линий поля и уходят вдаль. А у Марса нет магнитного поля: его ядро застыло, и в нем нет конвективных потоков электропроводящего материала, которые бы создавали это магнитное поле. И солнечный

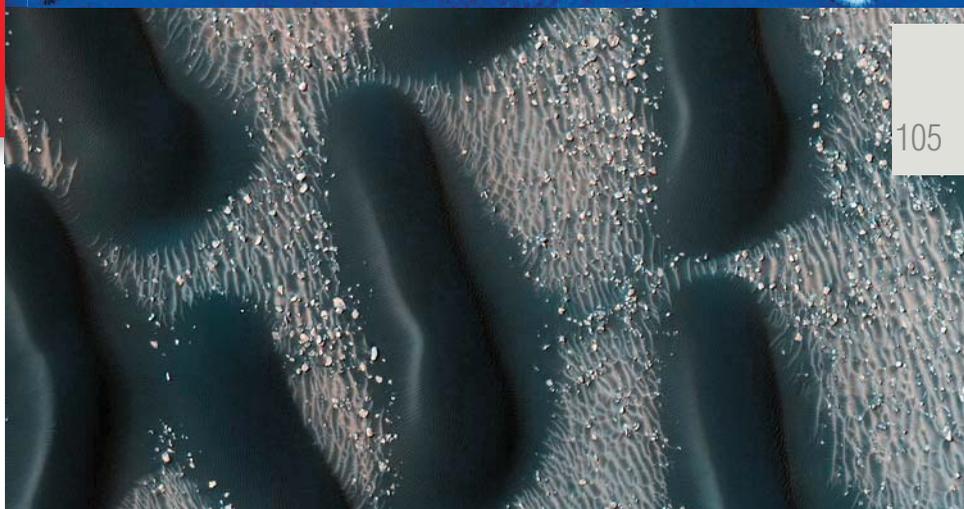
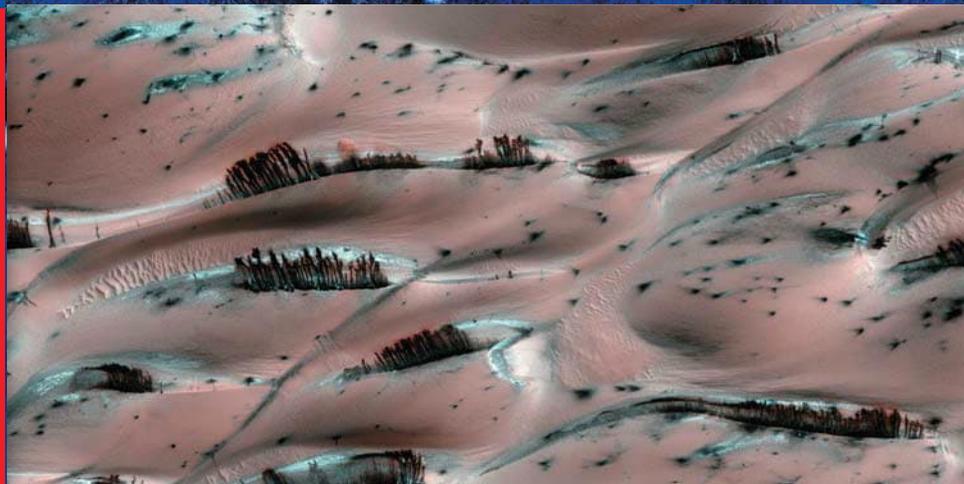


Удивительный марсианский рельеф. Размер изображения по диагонали – около 1 км

Марсианский ледник в процессе таяния

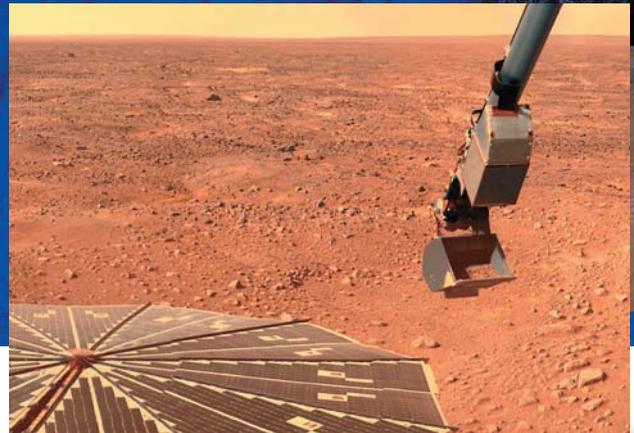
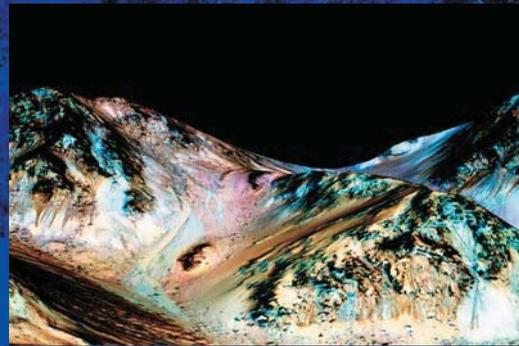
Темные оползни на Марсе, сверху напоминающие живые растения

Дюны из черного базальтового песка в марсианском кратере Проктор. *Credit: NASA*



ветер постепенно сносит атмосферу Марса (и воду в ней) за собой, так что к настоящему времени она уже почти полностью потеряна. Солнце высушило Марс.

Но есть надежда, что не вся вода высохла. Часть замерзла и осталась под поверхностью. Раньше мы могли лишь догадываться об этом, а теперь есть наглядные свидетельства.



Вот край каньона, видны какие-то струйки, потоки. Может быть, это из слоев мерзлоты по весне оттаивает вода и течет? Или, может быть, песочек сыплется – такая же, наверное, картинка была бы. Хотя он и с поверхности мог сыпаться, а тут бороздки начинаются с глубины около 100 м. Значит, скорее всего, это оттаивает слой мерзлоты.

По весне, ручейки скатываются вниз. И что мы тут видим? Везде поверхность шершавая, а здесь абсолютно ровная, застывшая, похожая на каток. Если, как выяснилось, каналов марсиане не делают, то вот такие ванны для сбора весенних ручьев они, видимо, все-таки строят. Кто же иначе сделал этот бортик? Его построила сама природа: вода, замерзая, надстраивает такие стенки. Есть похожее явление в Памуккале (Турция): когда вода испаряется, соли из рассола выпадают в этом месте и постепенно образуют подобные стенки.

Американцы в октябре 2015 г. видели с орбиты тоже лишь следы текшего рассола. На фотографии, полученной зондом *Mars Reconnaissance Orbiter*, разным цветом выделен разный химический состав. Вдоль «ручейков» обнаружены перхлораты, т. е., скорее всего, это следы воды, которая содержала растворимые соли хлорной кислоты. СМИ нам преподнесли это открытие в духе «Ура! Там есть вода, должна быть жизнь». Но подумайте, могла ли в такой воде быть жизнь? Ведь соли окисленного хлора – это вещь, убийственная для белковой жизни. Ими унитазы чистят в целях дезинфекции,

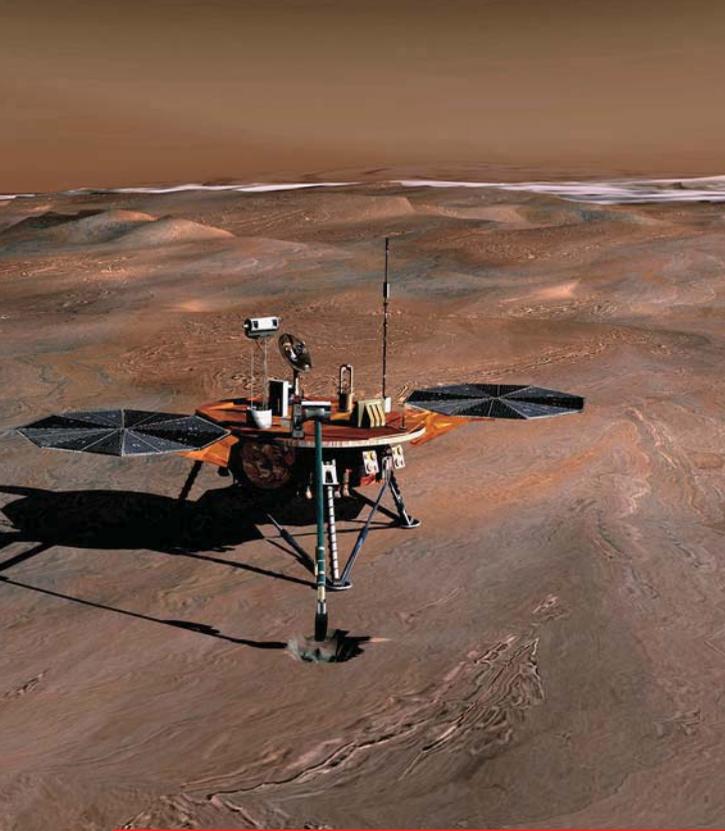
Вероятно, по весне вода оттаивает из обнажившегося ледника и стекает в моментально замерзающее озеро. *Credit: Malin Space Science Systems, MGS, JPL, NASA*

Химическое разнообразие марсианской поверхности. Оттенки цвета соответствуют разному минеральному составу. *Credit: NASA*

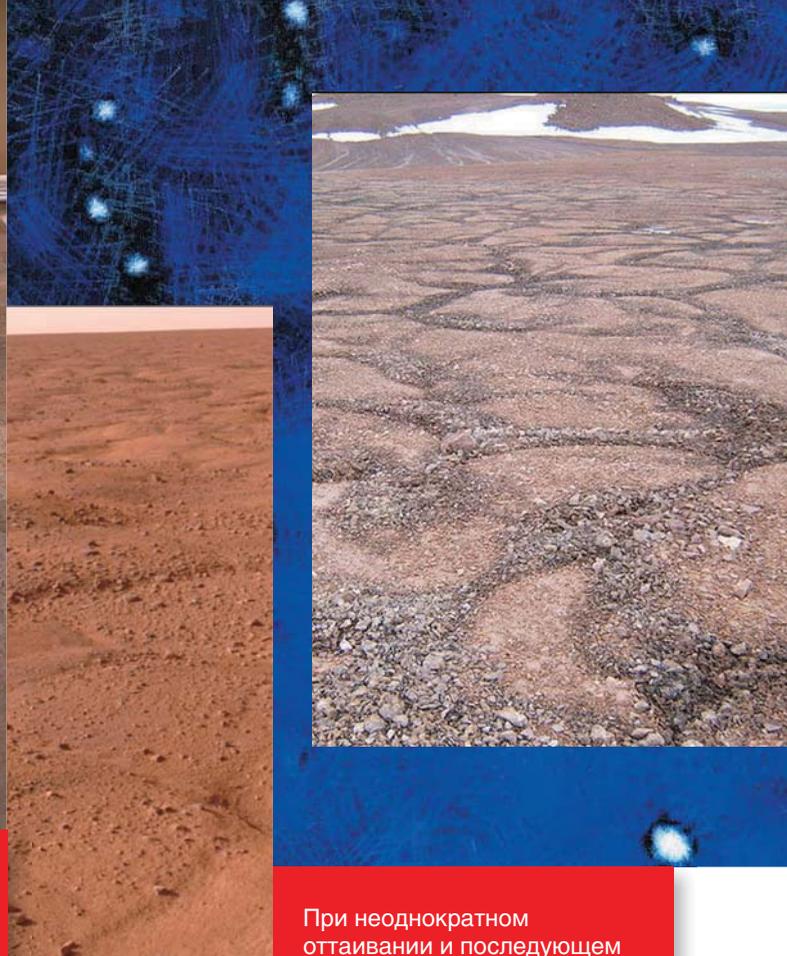
Панель солнечной батареи и ковш «экскаватора» зонда Phoenix, расположенный на роботизированной руке-манипуляторе аппарата. *Credit: NASA/JPL-Caltech/University of Arizona/Texas A&M University*

потому что они все разъедают. Хотя где-то в Калифорнии есть ядовитое озеро с похожим химическим составом, и микробы там приспособились. Но одно дело адаптация, а другое – зарождение жизни в такой среде. Лично у меня эта информация энтузиазма не вызывает.

Замерзшая вода, вероятно, осела в полярной шапке. На фото видна четкая граница между внешней и внутренней ее частями. По весне внешняя тает, а внутренняя на протяжении всего лета сохраняется. Вероятнее всего, наружное кольцо – углекислота, а во внутреннем круге лежит вода в виде вечного льда, который не тает



Американский зонд *Phoenix* был посажен внутри области зимней полярной шапки. Credit: NASA



При неоднократном оттаивании и последующем замерзании полярного грунта на Марсе (слева) и на Земле (справа) образуются похожие структуры

и не возгоняется, потому что там круглый год низкие температуры.

Чтобы это проверить, в 2009 г. NASA забросило туда зонд *Phoenix*. Он сел на внешнее кольцо летом, т. е. во время полярного дня, полгода работал, а как только солнце зашло, замерз. Но кое-что полезное сделать он успел. По внешнему виду полярная область Марса почти не отличается от канадской тундры. И там, и тут структура поверхности одинаковая, потому что летом грунт оттаивает, а зимой замерзает, и возникающие при этом конвективные потоки вещества приводят к формированию структур наподобие пчелиных сот.

У зонда *Phoenix* был манипулятор, чтобы ямки копать, и кое-что интересное он для нас накопал. Выкопал ковшиком канавку, а там что-то белое: может, соль, может, вода, может, CO_2 . Но через несколько дней, в течение которых солнышко пригревало канавку, картинка стала иной – совсем немного белого вещества испарилось. Значит, лед? Скорее всего, да, потому что углекислота испарилась бы полностью, а соль осталась бы вся, т. е. на глубине всего 10 см докопались до водяного льда.

Для будущих космонавтов это весьма приятное открытие: если мучит жажда, то взял лопату, копнул – и вот тебе вода. Растопил ее – и пей, если не боишься перхлоратов. Но в полярных районах их, скорее всего, нет, потому что они осаждаются, когда вода высыхает. А на полюса летит водяной пар без солей,

при конденсации которого получается чистый лед, практически из дистиллированной воды, подобной нашей, совсем пресной дождевой воде.

Итак, вода на Марсе есть, но на вопрос о наличии жизни на нем ответить гораздо сложнее. Дело не только в химии: на поверхности планеты очень мощная радиация, а жизнь ее «не любит».

Для геологического исследования на Марс в 1997 г. опустился зонд *Mars PathFinder* (NASA) с небольшим марсоходом *Sojourner*. Колесики у него были маленькие, поэтому далеко уйти по пересеченной местности он не мог, но и в доступной ему окрестности он хорошо поработал. Марсоход прижимал свои приборы (альфа- и гамма-спектрометры) к поверхности и анализировал химический состав горных пород.

Два других геологических марсохода – *Spirit* и *Opportunity*. Первый из них проработал 6 лет, потом увяз в песчаных дюнах и сломался. А второй работает уже 13 лет без ремонта, хотя на столь долгий срок никто и не надеялся. Хотя бы потому, что питается этот марсоход исключительно солнечной энергией, а во время пылевых бурь его солнечные панели должно было засыпать, и они бы перестали вырабатывать электричество.



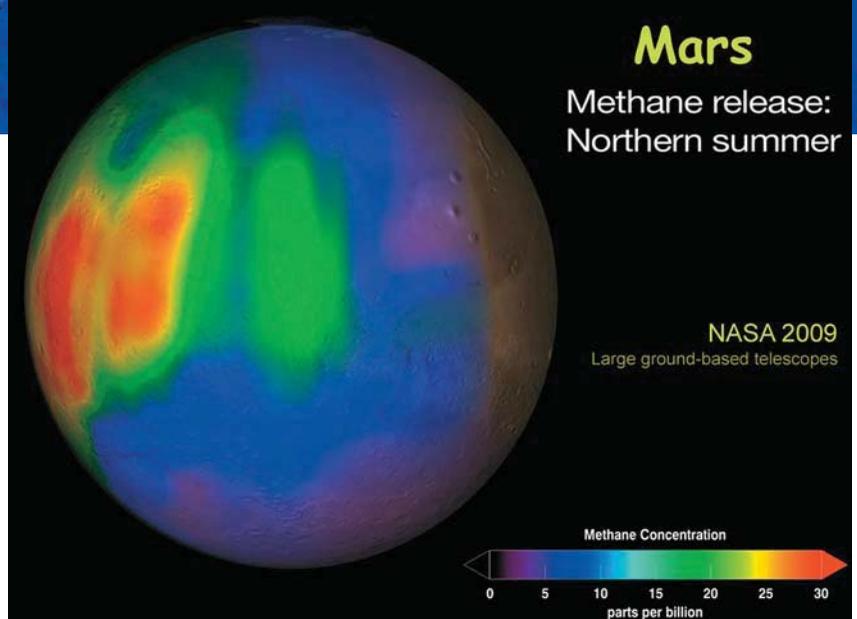
Геологические марсоходы Spirit и Opportunity были отправлены на Марс в 2003 г.
Credit: NASA

В атмосфере Марса обнаружен метан в концентрации до 0,003%

Так оно и случилось. Но потом подул сильный ветер и очистил фотоэлементы от пыли, и они снова начали функционировать. И так случалось уже неоднократно, так что ветер на Марсе оказался очень полезным.

Самое лучшее, что мы (точнее, NASA) имеем сегодня на Марсе, – гигантская машина *Curiosity*, посаженная на него в 2012 г. Внедорожник с 21-дюймовыми колесами, весом почти в тонну (на Земле), с великолепным источником питания. У него нет солнечных батарей, зато есть ядерный реактор, в котором плутоний-238, распадаясь, греет термоэлементы, дающие в результате *эффекта Пельтье* электричество. Этого ядерного источника энергии хватит на десятки лет.

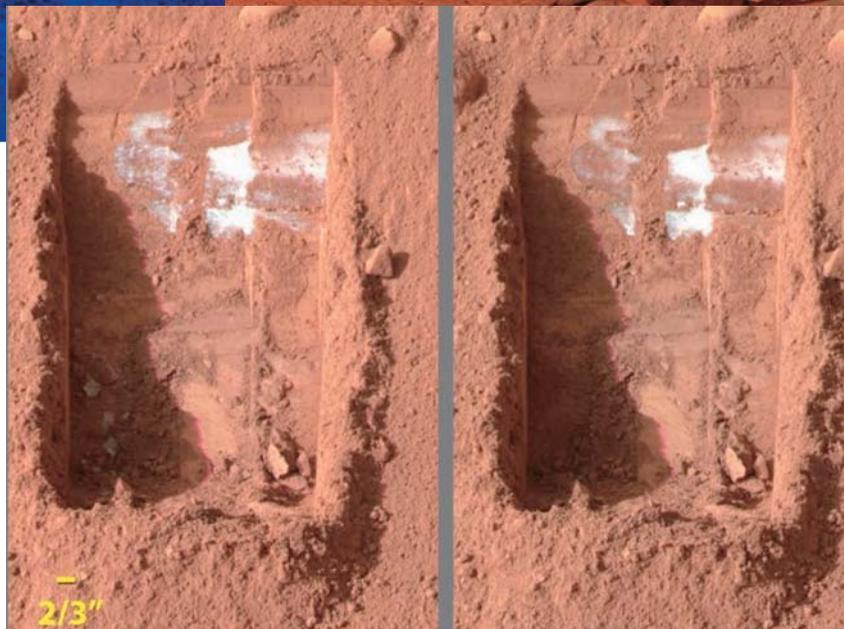
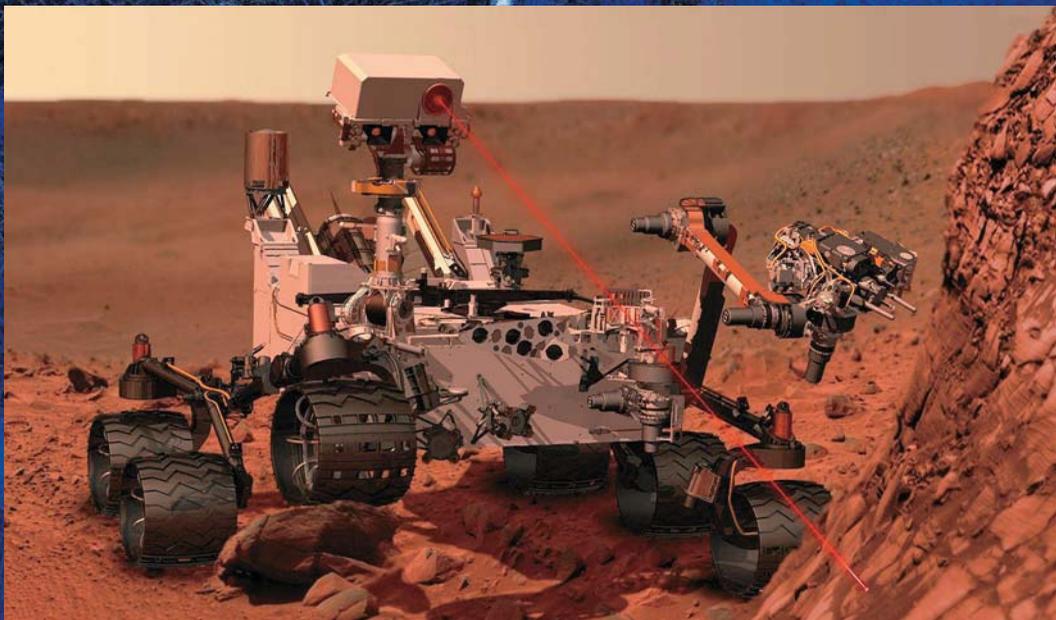
Для отбора образцов у *Curiosity* есть манипулятор – штанга двухметровой длины. Но это не предел расстояния, на котором он может анализировать материалы. У машины есть уникальная штука – инфракрасный лазер, который «стреляет» многожюлевыми импульсами, испаряя породу. Раскаленный пар (точнее, облачко плазмы) излучает,



телескоп собирает это излучение, спектрометр его анализирует. То есть этот аппарат своим «лучевым оружием» может сканировать вертикальную стенку издали там, куда «рука» не дотягивается.

В арсенале *Curiosity* имеется и один российский прибор, сделанный в Институте космических исследований РАН (Москва). Это нейтронный детектор для поиска воды под поверхностью Марса. Встроенный в него источник испускает поток нейтронов, который проникает в грунт на глубину более метра. Если нейтроны встречают на пути атомы водорода (которые входят в состав молекулы воды), то они ими рассеиваются и обратно не «отскакивают». А если легких ядер там нет, то нейтроны частично отражаются назад.

Самое интересное открытие в поисках жизни на Марсе – то, что в 2009 г. наземные телескопы обнаружили в атмосфере планеты спектральные линии метана. Метан – это продукт либо вулканических извержений, либо жизнедеятельности каких-то организмов (у нас, например, его в больших объемах выделяет крупный рогатый скот). Но марсианские вулканы давно



Марсианский «внедорожник» Curiosity, работающий на ядерном топливе.
Credit: NASA

В марсианском грунте под растаявшей летом полярной шапкой было обнаружено белое вещество. Через несколько земных дней очень небольшая его часть растаяла

замерзли и ничего из себя уже не выбрасывают. Значит, остается вторая гипотеза. Правда, ни одной коровы на Марсе пока не замечено, но это могут быть микроорганизмы, разлагающие органические материалы. Скорее всего, это микробы, которые зарылись глубоко в грунт, чтобы радиация их не убила. На нашей планете от солнечной и космической радиации защищает атмосфера. Поэтому, чтобы сделать простую оценку глубины, на которой достигается хорошая защита от радиации, можно мысленно сжать всю толщину земной атмосферы до плотности грунта – получится менее пяти метров.

С искусственных спутников Марса уже обнаружены входы в марсианские пещеры. Это такие дырки-шахты, вертикальные колодцы, довольно широкие, размером со стадион. На льду очень контрастно выделяются. Что внутри этих дырок – пока не знаем. С орбиты видно только, что там темно. По-видимому, они имеют карстовое происхождение.

На нашей планете тоже встречаются подобные входы в подземелье. Недавно на Таймыре была обнаружена такая воронка (Оленченко, 2014).

Карстовые явления на Земле – это когда вода, вымывает в глубинном слое грунт, образуется сеть пещер, потом где-то обваливается крыша, и таким образом получается вход в пещеру. Вулканическая лава также может пролавить внутренние горизонты.

А в пещерах условия для жизни очень хорошие. Одна такая пещера есть во Франции. На ее поверхности жизни почти нет, одни туристы, но внутри она просто буйствует, потому что и влажность там выше, и температура стабильнее (нет



Карстовый провал в земном грунте (Гватемала, 2010 г.)

Внутри пещеры. Диаметр этого колодца примерно соответствует марсианским. Но их происхождение может быть разным: на Земле «работает» вода, а на Марсе могла действовать вулканическая лава. Фото В. Сурдина

суточных перепадов), и радиация еще меньше, чем наверху. Такое отверстие диаметром в 60 м сначала уходит вертикально вниз до глубины 70 м, потом ход становится горизонтальным. Это обычный карстовый коридор, в котором обвалился потолок.

Есть надежда, что и на Марсе явление то же самое, т. е. под грунтом имеются пустые пространства, и они наиболее благоприятны для развития жизни. Но изучить их не представляется возможным, потому что роботов-спелеологов пока не создали: современные роботы могут лишь бегать по поверхности и летать в атмосфере.

Конечно, для существования жизни пещеры не обязательны, живые организмы могут обитать и в грунте.

Так, все пространство земной коры до глубины в 3 км населено микробами (глубже температура становится выше 100 °С, и закипает вода). По оценкам специалистов, полная биомасса микробов под поверхностью земли должна быть намного больше, чем всех существ на поверхности (на суше и в воде) вместе взятых, включая китов, слонов, людей и др. Таким образом, можно сказать, что в основном земная жизнь (как и марсианская, если она там есть) сосредоточена в глубине плотного грунта.

В рамках миссии марсохода *Curiosity* был задуман замечательный биологический эксперимент: аппарат должен был выкапывать с глубины песочки, засыпать его в баночку, заливать питательным раствором и далее смотреть, как активно марсианские микробы там будут размножаться. Но, к сожалению, емкость с этим

раствором разбилась при посадке. Это был единственный эксперимент среди запланированных для *Curiosity*, который не удалось выполнить. Итак, жизнедеятельность микробов он увидеть не сможет, но у него есть действующий масс-спектрограф, который способен обнаруживать в пробах грунта молекулы нуклеиновых кислот и белков, хотя это даст лишь косвенное подтверждение возможности жизни на планете.

Но пока *Curiosity* занимается лишь геологией. Посадили его внутри большого метеоритного кратера около большой (5 км высотой) центральной горы. Она сложена осадочными породами, которые век за веком наслаивались друг на друга, и эту «геологическую летопись» Марса за последние пару миллиардов лет геологи мечтают изучить. Сейчас марсоход уже подъехал к подножию горы, и ближайшая его задача – подняться на нее как можно выше. Это непросто: марсианские камешки оказались весьма острыми и делают дырки в алюминиевых колесах робота. Из-за полученных повреждений движется он медленно, тем более что ведет его не по прямой, а в обход камней, так что доберется ли он до самой вершины – неизвестно.

Космонавты на Марс если и полетят когда-нибудь, то не скоро. А пока будем его исследовать роботами.

Очередной проект по исследованию Марса, *ExoMars*, изначально задумывался как европейско-американский, но в 2013 г. американцы отказались от него и прекратили финансирование. Европейцам (*ESA*) для его продолжения своих денег не хватило, и они предложили России участвовать в нем.



Один из провалов в марсианском грунте, возможно, карстовой природы. Credit: NASA / Jet Propulsion Laboratory/University of Arizona

Марсоход по проекту ExoMars.
Credit: ESA/Роскосмос

Согласно проекту, Роскосмос предоставляет ракеты, посадочную платформу и некоторые приборы, а ESA создает спутник, спускаемый аппарат «Скиапарелли» и марсоход. Первая часть программы уже реализована. Ракета «Протон-М» с разгонным блоком «Бриз-М» 14 марта 2016 г. отправила к Марсу экспедицию, которая 19 октября 2016 того же года прибыла к Красной планете. Посадка «Скиапарелли» прошла неудачно – аппарат разбился. Спутник *Trace Gas Orbiter* вышел на орбиту и нормально работает, изучая малые компоненты марсианской атмосферы (особый интерес представляет метан).

В конце 2018 г. на Марс должен опуститься стационарный аппарат *InSight* (NASA), внешне похожий на *Phoenix*, но с более интересным набором приборов. В частности, он должен установить на грунте сейсмометр и, просверлив грунт, опустить на глубину около 5 м датчик для измерения теплового потока из недр планеты. Вторая часть российско-европейской экспедиции ExoMars планировалась на 2018 г., но теперь перенесена на 2020 г. Российская посадочная платформа должна доставить на поверхность шестиколесный марсоход массой 270 кг, оборудованный бурильным станком, способным добыть грунт с глубины 1,5–2,0 м. На марсоходе

будет комплект приборов для минерального и химического анализа этого грунта. Специальные методы будут использованы для обнаружения биомаркеров.

Так что ждем новых открытий.

Литература

Сурдин В.Г. Как часто бывает Новый год на Марсе? // *Постнаука*, 1 января 2017. <https://postnauka.ru/faq/71676>.

Ксанфомалити Л.В. *Парад планет*. М.: Наука. Физматлит, 1997. 256 с., 48 с. цвет. ил.

Марс: великое противостояние / Ред.-сост. В.Г. Сурдин. М.: Физматлит, 2004. 224 с. + карты.

Мороз В.И. *Физика планеты Марс*. М.: Наука, 1978.

Сурдин В.Г. *На Марс в один конец?* (видеолекция, 44 мин) // Лекторий Set Up. <https://www.youtube.com/watch?v=EWTfIMTN0IY>.

Сурдин В.Г. *Марс: каналы и пещеры* // *Постнаука*, 15 июля 2013. <https://postnauka.ru/video/14842>.

Сурдин В.Г. *Роботы летят на Марс*. Видеолекция // *Элементы*. <http://elementy.ru/video?pubid=431878>.

Избранные задачи с решениями

Из книги В. Сурдина
«ВСЕЛЕННАЯ
в вопросах и ответах»

Задача 1

Летом 2018 г. произойдет великое противостояние Марса. Почему астрономы так любят эти моменты? Дело в том, что на поверхности Марса в момент противостояния в телескоп видны детали размером не менее 100 км. А какого размера детали будут видны на Марсе в тот же телескоп вблизи соединения, т. е. в неблагоприятную для наблюдений эпоху?



Ответ 1

Поскольку угловой размер деталей фиксирован параметрами телескопа, их линейный размер будет пропорционален расстоянию до Марса. Пусть $a_3 = 1$ а. е. – полуось земной орбиты, $a_M = 1,5$ а. е. – полуось орбиты Марса. Тогда среднее расстояние между ними в соединении будет $(a_M + a_3)$, а в противостоянии $(a_M - a_3)$.

Значит, размер наименьших деталей, которые могли бы быть видны на Марсе вблизи соединения (если бы Солнце не мешало), равен: $100 \text{ км} \times (a_M + a_3) / (a_M - a_3) = 500 \text{ км}$.



Задача 2

Для земного наблюдателя Марс виден как весьма яркое светило, легко различимое невооруженным глазом.

А как будут выглядеть Земля и Луна для наблюдателя, находящегося на Марсе? Ведь скоро такие появятся!



Ответ 2



Отношение полуосей орбит Земли ($a_3 = 1$ а.е.) и Марса ($a_M = 1,5$ а.е.) почти такое же, как для орбит Венеры ($a_B = 0,72$ а.е.) и Земли. Поэтому подобными будут и наблюдаемые конфигурации планет. Размеры Земли и Венеры почти равны, а коэффициент отражения света (*альbedo*) у Земли должен быть раза в 2 меньше, поскольку Венера вся

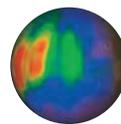
покрыта облаками, а Земля обычно лишь наполовину. Поэтому отношение потоков света от Венеры на Земле (E_B) и от Земли на Марсе (E_3) в одинаковых конфигурациях будет равно отношению их освещенностей Солнцем (a_3^2 / a_B^2), умноженному с учетом альbedo

на 2 и деленному на отношение квадратов расстояний между источником и наблюдателем (закон обратных квадратов для освещенности):

$$E_B / E_3 = 2(a_3 / a_B)^2 ((a_M - a_3) / (a_3 - a_B))^2 = 12,3$$

В звездных величинах это составит $2,5 \lg (E_B / E_3) = 2,7^m$. Например, в наибольшей элонгации Венера для землян имеет блеск $-4,1^m$, значит Земля для «марсиан» в такой же конфигурации будет блестеть как звезда $-1,4^m$, т. е. как Сириус, или как у нас блестит Марс в противостоянии.

Лунный радиус почти вчетверо меньше земного, и альbedo у Луны раз в 5 ниже. Поэтому она будет отражать почти в 100 раз меньше света, чем Земля, т. е. будет слабее ее почти на 5^m . Впрочем, звезду $3,5^m$ вероятно будет нетрудно разглядеть на ясном марсианском небе, тем более, что ее угловое расстояние от яркой Земли в моменты наибольших элонгаций может достигать $9'$ (проверьте это значение самостоятельно).



Снимок Земли и Луны с орбиты Марса.
Credit: NASA/JPL-Caltech/University of Arizona



ПОДПИСКА

На сайте журнала «НАУКА из первых рук» www.scfh.ru Вы можете:

● **Оформить подписку на печатную версию журнала**

3 номера печатной версии журнала, первое полугодие 2018 г. – 900 руб.

В стоимость подписки включена доставка журнала заказной бандеролью.

Оригиналы бухгалтерских документов для юридических лиц (договор, счет-фактура и накладная) будут высланы Вам почтой.

● **Купить отдельные выпуски печатной версии журнала «НАУКА из первых рук»**

Печатные выпуски журнала доставляются по почте

● **Способы оплаты**

Электронные платежи: через систему приема платежей Робокасса (банковскими картами, с помощью сервисов мобильной коммерции – МТС, Мегафон, Билайн – через интернет-банк ведущих Банков РФ, через банкоматы и т. д.)

С помощью квитанции: после оформления заказа Вам будет выслана квитанция ПД-4 для оплаты заказа в ближайшем отделении Вашего Банка

● **Оформить подписку на электронную версию журнала (PDF)**

3 номера электронной версии журнала (PDF), второе полугодие 2017 г. – 290 руб.

6 номеров электронной версии журнала (PDF), 2017 г. – 590 руб.

Оплаченный номер электронной версии журнала (PDF) Вы получаете сразу после выхода очередного номера на указанный Вами адрес электронной почты

● **Купить отдельные выпуски электронной версии журнала «НАУКА из первых рук» (PDF)**

● **Получить электронный доступ**

к статье за 29 руб., к выпуску за 79 руб., ко всем статьям на сайте журнала: на 1 мес. за 99 руб., на 6 мес. за 299 руб., на 12 мес. за 599 руб.

При покупке электронного доступа Вы получаете возможность читать статьи сразу после успешной оплаты.

По адресу <http://scfh.ru/en/> Вы можете получить электронный доступ к англоязычной версии журнала *SCIENCE First Hand*

● **По всем вопросам обращаться:**

Тел.: 8 (383) 330-27-22
Факс: 8 (383) 330-27-22
e-mail: zakaz@info-press.ru

● **Платежные реквизиты:**

ООО «ИНФОЛИО»
ИНН 5408148073, КПП 540801001
Р/счет 407 02 810 523 120 001 110
в Филиале «Новосибирский»
АО «АЛЬФА-БАНК»,
г. Новосибирск
Кор/счет 30101810600000000774
БИК 045004774

Стоимость подписки
на 1-е полугодие 2018 г. – 900 руб.

● **Подписаться на электронную версию журнала Вы можете также:**

Научная электронная библиотека:
www.e-library.ru

Пресса.ру: www.pressa.ru

В стоимость подписки включена доставка журналов заказной бандеролью

В мире науки

SCIENTIFIC AMERICAN

Ежемесячный научно-информационный журнал

www.sci-ru.org

№ 1-2, 3 2018



Десять новых технологий 2017 года

Топливо из искусственного листа, зрячий искусственный интеллект, атлас клеток, жидкостная биопсия, вакцины из генов и другие прорывные научные решения, готовые изменить мир.

Как зафиксировать сознание

Оценивая электрическую активность мозга можно надежно определить наличие сознания.

Будущее денег

Механизмы, обеспечивающие доверие без участия людей-посредников, могут исправить самые большие недостатки финансовых систем.





*Долины
Маринера.
© NASA, 1980.
«...Карты
марсианского
рельефа
на сегодня более
детальны, чем
карты земной
поверхности.
На Марсе воды
нет, облаков мало,
зелени нет,
поэтому его
внешний вид мы
знаем идеально»*

В. Сурдин

*На первой странице
обложки:
доместицированная лисица
на экспериментальной
звероферме ИЦиГ СО РАН
(Новосибирск).
Фото В. Коваля*

