

# НАУКА **В мире**

Обзор журналов  
Nature, PNAS, Science

Номер 33 (2)  
16 июня 2015 года

В России раковую клетку будут  
лишать питательной среды при помощи  
наноагентов

стр. 8

Ученые США: кислород в атмосфере постепенно  
изменяет климат Земли

стр. 10

В Кении нашли древнейшие  
орудия труда возрастом  
3,3 млн лет

стр. 29

Эхолокация позволяет летучим  
мышам ощущать окружающую  
среду

стр. 34

Гены человека и дрожжей  
оказались взаимозаменяемыми

стр. 30



ЖУРНАЛ «НАУКА В МИРЕ» № 33 (2)

16 июня 2015 года

Издается еженедельно

## УЧРЕДИТЕЛЬ

Общероссийская общественная организация  
«Российская ассоциация содействия науке»

Свидетельство о регистрации СМИ:

Эл № ФС77-59570 от 10 октября 2014 года



## ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ПРЕЗИДИУМА РАСЧ

**Евгений Павлович ВЕЛИХОВ,**

академик РАН, Почетный секретарь  
Общественной палаты РФ,  
президент НИЦ «Курчатовский институт»

## ПЛЕНУМ РАСЧ

**Виктор Лазаревич АКСЕНОВ,**

директор Петербургского института  
ядерной физики им. Б.П. Константинова

**Жорес Иванович АЛФЕРОВ,**

академик РАН, вице-президент РАН,  
член Комитета Государственной Думы  
по науке и наукоемким технологиям

**Лев Яковлевич БОРКИН,**

член Президиума РАСЧ, почетный  
председатель Правления  
Санкт-Петербургского союза ученых

**Надежда Дмитриевна ВАВИЛИНА,**

член Президиума РАСЧ, доктор социологических  
наук, ректор Нового Сибирского университета

**Максим Валерьевич ВИКТОРОВ,**

первый заместитель председателя  
Президиума Российской ассоциации  
содействия науке, председатель  
Совета Фонда инвестиционных программ

**Олег Васильевич ИНШАКОВ,**

президент Волгоградского государственного  
университета

**Александр Николаевич КАНЬШИН,**

председатель Совета Национальной ассоциации  
объединений офицеров запаса  
Вооруженных Сил РФ

**Михаил Валентинович КОВАЛЬЧУК,**

член Президиума РАСЧ, член-корреспондент РАН,  
директор НИЦ «Курчатовский институт»

**Николай Александрович КОЛЧАНОВ,**

академик РАН, директор Института  
цитологии и генетики СО РАН

**Юрий Николаевич КУЛЬЧИН,**

академик РАН, директор Института автоматизации  
и процессов управления ДВО РАН

**Андрей Викторович ЛОГИНОВ,**

заместитель руководителя Аппарата Правительства РФ

**Георгий Владимирович МАЙЕР,**

Президент Национального исследовательского  
Томского государственного университета,  
член Совета Российского союза ректоров

**Вера Александровна МЫСИНА,**

старший научный сотрудник  
Института общей генетики РАН

**Валерий Александрович ТИШКОВ,**

академик РАН, директор Института этнологии  
и антропологии им. Н.Н. Миклухо-Маклая РАН

**Владимир Михайлович ФИЛИППОВ**

член Президиума РАСЧ, доктор физико-математических  
наук, академик РАО, ректор Российского университета  
дружбы народов

**Валерий Александрович ЧЕРЕШНЕВ,**

академик РАН, академик РАН,  
председатель Комитета Государственной Думы  
по науке и наукоемким технологиям,  
член Консультативного совета Фонда «Сколково»

**Татьяна Владимировна ЧЕРНИГОВСКАЯ**

член Президиума РАСЧ, доктор филологических наук,  
доктор биологических наук, профессор

## ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА

Медиагруппа «Вся Россия» (ООО «ВР Медиа Групп»)

**Генеральный директор, и. о. главного редактора**

Сергей Валерьевич КАЛМЫКОВ,  
руководитель Комиссии по информационной политике РАСЧ

**Административный директор**

Светлана Александровна ХОЗИНСКАЯ

## РЕДАКЦИЯ

**Старший научный редактор**

Владислав Владимирович СТРЕКОПЫТОВ

**Редактор**

Ирина Александровна БАННОВА

## Редакторы-референты

Братцева А. Л., Дедков Г. В., Драгункин Д. Ю.,  
Зворыкина С. В., Лещанский И. Ю., Сварник О. Е.,  
Степанова Е. М., Стрекопытов В. В., Тиунова А. А.,  
Ходосевич А. Э., Шайхулин В. Ф.

## Дизайнер-верстальщик

Галина Олеговна НЕФЕДОВА

## Адрес редакции (для переписки):

105066, г. Москва, ул. Спартаковская, 11-1.

e-mail: info@naukavmire.ru

сайт: www.naukavmire.ru

Информационная продукция для детей,  
достигших возраста двенадцати лет.

© ООО «ВР Медиа Групп». Все права защищены.  
Любое использование материалов допускается  
только с письменного разрешения редакции.

## Россия живет скоростями

Наши мечты неудержимы — мы стремимся вперед со скоростью мысли. Мы способны быть в любом месте, двигаться в любом направлении, преодолевать огромные расстояния. Это энергия, которая движет жизнью, это то, чем живет каждый из нас.

ОАО «РЖД» Россия живет дорогами

# Читайте в этом номере:

## Информационное поле

### 5 От редакции

**Самое интересное в рефератах**

*Топ-10 статей текущего номера*

### 8 Новости • В России

**Наноагенты посадят раковую клетку на голодный паек**

**Первая конференция по нанобиотехнологиям прошла в ДВФУ**

**Зоологи ТГУ изучают изолированную популяцию алтайского цокора – «современника» мамонта**

### 10 Новости • За рубежом

**Астрофизики наблюдали три извержения в активном центре галактики**

**Концентрация кислорода в атмосфере влияет на климат Земли**

### 11 Комментарий эксперта

**Россия остается одним из мировых лидеров по профилактике инфекционных заболеваний**

### 14 In Advance

**Картина глобальной циркуляции сезонных вирусов гриппа определяется антигенной изменчивостью**

### 15

**Различия в составе тела у *Pan paniscus* и *Homo sapiens* обусловлены изменениями, произошедшими в процессе эволюции человека**  
**Нейроны конечного мозга ворон избирательно реагируют на количество визуальных предметов**

### 16

**Возможные искажения данных позволили говорить о недавнем замедлении глобального потепления поверхности Земли**

## Nature · PNAS · Science: рефераты статей

18 Астрономия

30 Биология

20 Физика

36 Медицина

22 Химия

39 Нейронауки и психология

23 Науки о Земле и экология

45 Социальные науки

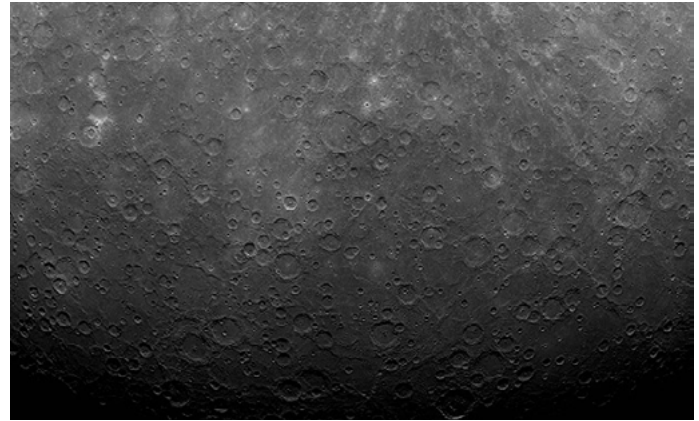
29 Антропология и история

46 Технологии и материалы

# Самое интересное в рефератах

## Топ-10 статей текущего номера

**1. Магнитное поле Меркурия имеет древний возраст.** Магнитное поле Меркурия, как показали наблюдения космического зонда MESSENGER, оказалось невероятно древним – оно существует уже около 4 млрд лет, что делает его ровесником магнитной оболочки Земли. Это означает, что в то время в ядре Меркурия уже существовало так называемое динамо – круговорот потоков расплавленного железа, движение которых порождает ток и магнитное поле. Изначальная сила этого поля была сопоставима с современными значениями для Земли. Со временем ядро начало остывать, и сила магнитного поля Меркурия постепенно снизилась. Меркурий – единственная планета из внутренней части Солнечной системы, помимо Земли, которая все еще обладает магнитным полем. Когда-то магнитное поле существовало и на Марсе, однако исчезло около 3 млрд лет назад. *Реферат на с. 18.*



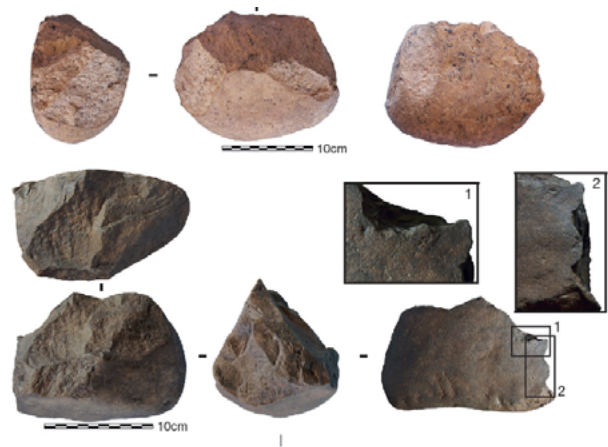
Снимок поверхности Меркурия, сделанный космическим зондом MESSENGER / Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/ NASA



Белый карлик оттягивает вещество в свой аккреционный диск и поглощает его / Wikimedia Commons

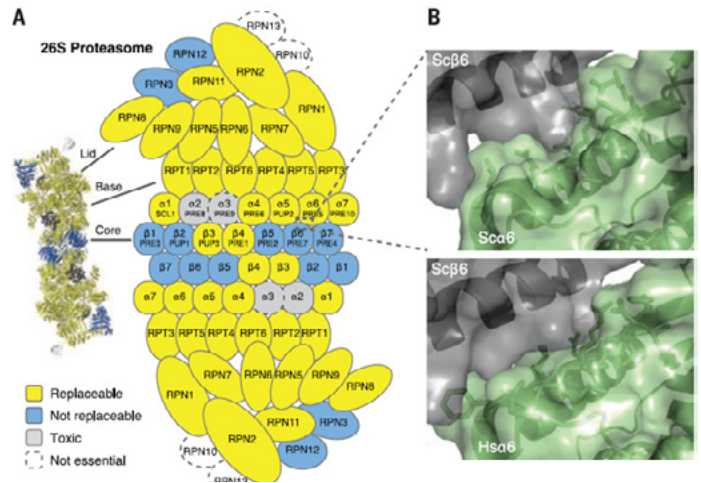
**2. Спор о природе сверхновых продолжается.** Сразу две статьи из Nature посвящены спору о механизме возникновения вспышек так называемых «нобелевских» сверхновых типа Ia. Сверхновые типа Ia являются одними из самых важных объектов для астрономов, так как их относительное постоянство ученые используют для измерения расстояний в космосе. Группа И Цао (Yi Cao) из Калифорнийского технологического университета пронаблюдала, как сверхновая типа Ia вспыхивает, когда белый карлик заимствует достаточно вещества у соседней обычной звезды. В то же время, группа Роба Оллинга (Rob Olling) из Мэрилендского университета не обнаружила никаких следов таких звезд-компаньонов в окрестностях сразу трех других сверхновых этого типа, а причиной их взрывов считает слияние с другими белыми карликами. *С. 18.*

**3. В Кении нашли древнейшие орудия труда возрастом 3,3 млн лет.** В статье сообщается об обнаружении древнейших в мире каменных орудий труда. Артефакты были обнаружены на западном берегу оз. Туркана в Кении. Их возраст оценивается в 3,3 млн лет, а это означает, что они примерно на 700 тыс. лет старше, чем ранее обнаруженные инструменты, изготовленные самими древними представителями рода *Ното* (олдувайская культура). Возможно, каменные орудия принадлежали представителям более древних видов, таких как австралопитек афарский или кениантроп. Оба эти вида сочетали в себе черты человека и обезьяны. Находка позволяет предположить, что эти протолюди были умнее, чем принято считать, и обладали достаточно развитыми когнитивными и манипулятивными способностями. *С. 29.*

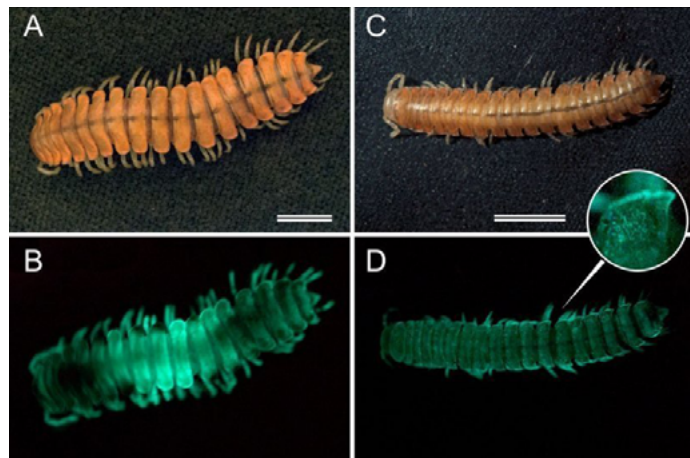


Каменные орудия из Ломекви 3 / Sonia Harmand et al.

**4. Гены человека и дрожжей оказались взаимозаменяемыми.** Несмотря на то, что человека и дрожжи разделяет миллиард лет эволюции, у них есть сотни генов с общими происхождением и функциями. Исследователи заявляют, что 47% генов дрожжей можно заменить на гены человека, и дрожжи продолжают нормальное существование. При этом предсказать заменимость по сходству последовательностей или по уровню экспрессии генов в общем случае нельзя. Зато, как ни странно, заменимость можно определить, зная, в каком процессе участвует ген. Например, гены, отвечающие за инициацию репликации ДНК, были незаменимыми, а почти все гены биосинтеза стерола у дрожжей удалось успешно заместить человеческими ортологами. После такой «гуманизации» дрожжей на них будет удобно исследовать человеческие белки, а также тестировать потенциальные лекарства. С. 30.



Заменимые (желтые) и незаменимые (синие) белки в составе протеасомы / Aashiq H. Kachroo et al.



Свещающиеся многоножки *M. sequoiae* (слева) и *M. bistipita* (справа) / Paul E. Marek, Wendy Moore

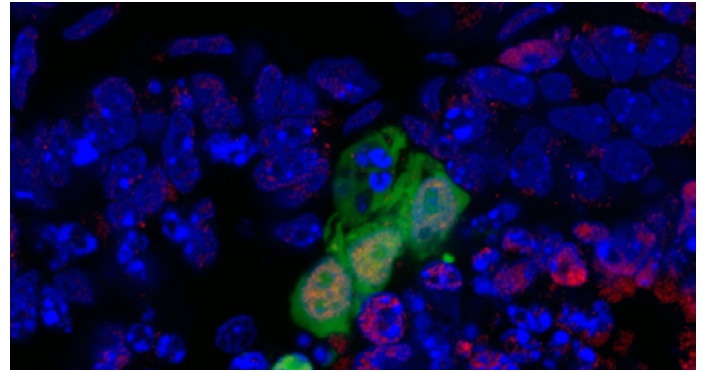
**5. Исследователи выяснили функции свечения многоножек.** Небольшую многоножку вида *Xystocheir bistipita* ученые не встречали полвека. Недавно энтомолог Пол Марек (Paul Marek) из Виргинского политехнического института вновь обнаружил ее среди холмов Калифорнии. Только после этого вторичного открытия удалось установить, что многоножка, которая при свете дня выглядит светло-коричневой, в темноте испускает слабое зеленоватое свечение. Исследование ее ДНК показало, что она относится не к роду *Xystocheir*, как считалось раньше, а к роду *Motyxia* – единственному роду многоножек западного полушария, способному к биолуминесценции. Выяснилось, что слабое свечение этой многоножки является эволюционно древней чертой, позволившей по-новому взглянуть на функции свечения у насекомых. С. 31.

**6. Одноклеточные водоросли умеют обороняться от хищников.** Открыт химический механизм, объясняющий одну из загадок океанологии – как одноклеточным водорослям, являющимся важнейшими агентами фотосинтеза на Земле (около 50% объема продукции), удается эффективно защищать среду своего обитания от употребляющих их в пищу хищников. Выяснилось, что одноклеточные водоросли-динофлагелляты вида *Alexandrium minutum* обладают способностью распознавать исходящие от питающихся ими ракообразных химические сигналы и реагировать на них выбрасыванием токсичного вещества паралитического действия. При этом концентрация вещества различается в зависимости от вида хищников. С. 33.

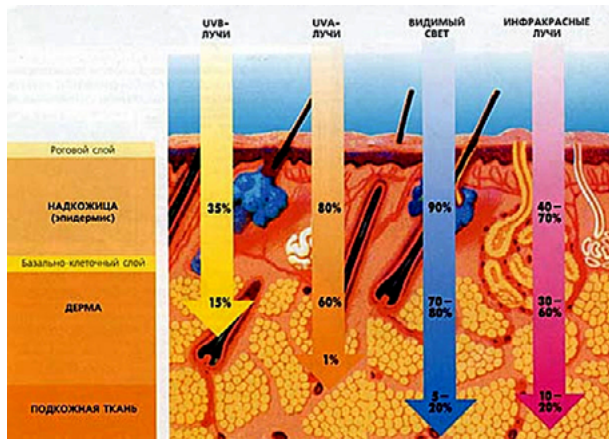


Динофлагелляты – одноклеточные фотосинтезирующие водоросли со жгутиками / MichaelTaylor/shutterstock

**7. Биоинженеры обнаружили новый тип стволовых клеток.** Биоинженерам из Института биологических исследований Солка (США) удалось обнаружить еще один тип стволовых клеток. Ученые назвали их регион-селективными плюрипотентными стволовыми клетками (region-selective pluripotent stem cells, rsPSCs). Особенность этих клеток состоит в том, что их специализация определяется не только сроком развития организма, но и их расположением в развивающемся эмбрионе. По мнению авторов, эти стволовые «клетки места» хранят в себе огромный потенциал для регенеративной медицины, поскольку все манипуляции с ними, в том числе и генетические, происходят гораздо проще, чем с обычными стволовыми клетками. С. 34.



Стволовые клетки нового типа отмечены зеленым цветом / Salk Institute



Действие на кожу различных видов излучений / lefarm.ru

**8. Четверть клеток кожи лица содержат связанные с раком мутации.** Около четверти клеток кожи нашего лица содержат связанные с раком мутации, которые появляются под действием яркого солнечного света. Об этом говорят результаты исследования ученых из центра геномных исследований Института Сенгера (Кембридж, Великобритания). Ученые предупреждают, что свою кожу лучше беречь от яркого солнца, потому что под воздействием ультрафиолета новые мутации могут появляться каждый день, повышая тем самым риск развития карциномы. С. 37.

**9. Ученые создали быстродействующее лекарство от текущего штамма вируса Эбола.** Международный коллектив медиков создал препарат ТКМ-Ebola на базе коротких интерферирующих молекул РНК (siRNA), который нейтрализует частицы вируса Эбола. Препарат был проверен на макаках-резусах и оказался очень эффективным — все приматы, зараженные смертельной дозой вируса, выжили после введения ТКМ-Ebola, тогда как все макаки из контрольной группы скончались от истощения и внутренних кровоизлияний на восьмой-девятый день после инфицирования. Над вакциной на базе коротких молекул РНК группа ученых работала на протяжении более чем 10 лет. С. 36.



globallookpress.com



Пациент Эрик Сорто и его киберконечность / Spencer Kellis, Christian Klaes/Caltech

**10. Киберинженеры разработали протез, управляемый силой мысли.** Ученые Калифорнийского технологического университета сообщили об удачно завершившемся эксперименте с использованием нового типа мозговых имплантатов. Внедренное в заднюю теменную кору мозга устройство позволило парализованному пациенту силой мысли контролировать движения механического протеза руки. За несколько недель пациент с тетраплегией научился не только двигать рукой в произвольных направлениях, но и заставлять ее делать ряд сложных действий — брать в руки бутылку и подносить ее ко рту, пожимать руку собеседнику и совершать ряд других сложных манипуляций. С. 47.

# Новости • В России

## Наноагенты посадят раковую клетку на голодный паек

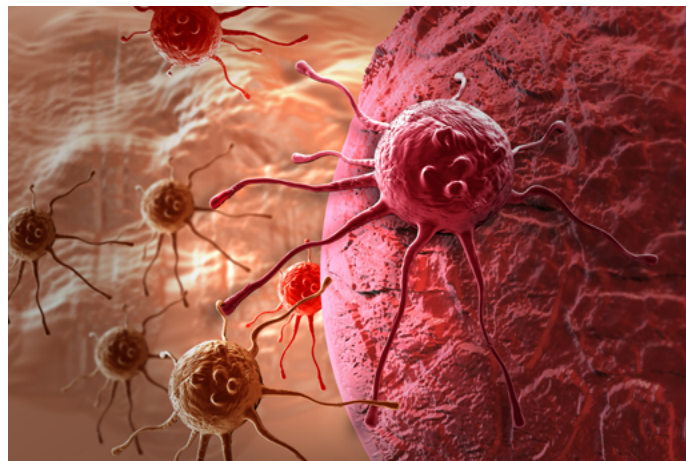
Ученые Томского политехнического университета (ТПУ) и Института физики прочности и материаловедения (ИФПМ) СО РАН разработали не имеющий аналогов в мире метод по выработке противораковых и противоопухолевых агентов, которые позволят снизить дозы и стоимость химиотерапии

Ученые ТПУ и ИФПМ разработали наноразмерные агенты диаметром 200 нанометров и толщиной меньше одного нанометра. С помощью компьютерного моделирования, которое ведется в Сколтехе, удалось приподнять завесу над природой воздействия агентов на клеточные мембраны. Ученые решили посмотреть, как агломераты влияют на питание раковых клеток.

«Новый метод основан на применении особых материалов, которые лишают раковые и опухолевые клетки питательной среды, таким образом замедляя их рост и развитие. Такие исследования сегодня не ведутся нигде в мире. Речь идет о новых принципах направленного воздействия на микроорганизмы и клетки», — рассказал директор ИФПМ СО РАН, заведующий сетевой научно-образовательной лабораторией ТПУ «Медицинское материаловедение» Сергей Псахье.

«У раковой клетки на мембране более высокий, чем обычно, электроотрицательный потенциал. Она как бы перетягивает положительно заряженные ионы натрия и калия от здоровых клеток, которые из-за этого начинают голодать. Поверхность наноразмерных агломератов, которые мы используем, тоже заряжена положительно, и они «перекрывают» питание опухолевой клетке. В результате она голодает, менее интенсивно делится, становится более чувствительной к внешним воздействиям», — объяснил Псахье.

К новому методу борьбы с раком специалистов приблизила разработка ранозаживляющих повязок, активные сорбирующие центры которых за счет электростатического фактора удаляют микроорганизмы из раны и удерживают их, не давая бактериям размножаться. Это позволяет существенно



der-niedergelassene-arzt.de

уменьшить время лечения плохо заживающих ран и не требует применения антибиотиков. Сейчас на базе лаборатории ТПУ и при поддержке Российского научного фонда ученые разрабатывают новое поколение таких заряженных материалов.

«Если новообразование поверхностное, будет использоваться повязка. Если опухоль внутренняя, то суспензия из агломератов вводится внутрь как инъекция. Уже показано, что по сравнению с контрольной группой, у испытуемых мышей опухоль становится в три раза меньше», — отметил Сергей Псахье. По его словам, ученые Словении (институт Джозефа Стефана) проводят в настоящее время успешные исследования на мышцах с раком молочной железы и кожи. Готовится цикл публикаций в ведущих мировых журналах. Подана заявка на патент.

Для ускорения введения в клиническую практику, препарат на основе данных агломератов, будут использовать как сопутствующий при проведении химиотерапии. Поскольку под воздействием агентов раковая клетка ослабевает, эффективность химиопрепаратов возрастет, а необходимая для лечения доза уменьшится. Ученые предполагают, что в результате химиотерапия станет более дешевой, а ее влияние на организм человека менее травматичным.

По материалам ТПУ

## Первая конференция по нанобиотехнологиям прошла в ДВФУ

Последние достижения нанобиотехнологии обсудили ученые России и стран Ассоциации государств Юго-Восточной Азии на конференции в Дальневосточном федеральном университете

Организаторами международной конференции выступили Министерство образования и науки РФ, секретариат

АСЕАН, «Научно-исследовательский институт – Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы» и ДВФУ. Российскую Федерацию представили исследователи из Дальневосточного федерального университета, Московского, Томского и Курского госуниверситетов, Российского государственного аграрного университета им. К.А. Тимирязева, институтов Российской академии наук.

«От успеха вашей деятельности зависят человеческие жизни, и только взаимовыгодное сотрудничество позволит решить важнейшие задачи, которые стоят перед медициной. Надеюсь, многие из вас вновь захотят приехать в наш уни-





верситет, чтобы работать здесь в лабораториях и делиться знаниями со студентами», — обратился к участникам ректор ДВФУ Виктор Атаманюк.

На конференции российские и зарубежные ученые обменивались новейшими достижениями в области нанобиотехнологии, опытом их применения в практической медицине и фармацевтике. В частности, рассматривались перспектив-

ные методы диагностики, основанные на нанотехнологиях, использование нанобиотехнологий при производстве лекарств.

Дальневосточную науку на конференции представили ученые Школы биомедицины университета. Заведующий лабораторией фармакологии и биоиспытаний Максим Хотимченко представил свои наработки в области создания препаратов на основе полисахаридов для выведения тяжелых металлов и изотопов из организма.

«Ко многим странам АСЕАН мы традиционно относились как к догоняющим, но уровень их научных исследований, например, в области биофармакологии просто потрясает. Сегодня они работают в мировом тренде вместе с западными странами. Сотрудничество ДВФУ с вузами этих государств может быть не менее плодотворным, чем с ведущими университетами Европы и Северо-Восточной Азии», — отметил Максим Хотимченко.

Как отметила Татьяна Каленик, Школа биомедицины ДВФУ планирует установить тесное взаимодействие с азиатскими вузами, представленными на конференции. Самые перспективные исследования участников научного форума будут отобраны в качестве разработок мирового уровня для их дальнейшей поддержки со стороны АСЕАН.

*По материалам ДВФУ*

## Зоологи ТГУ изучают изолированную популяцию алтайского цокора — «современника» мамонта

Новых сведений о животном не было уже около полувека. Известно, что этот вид является «современником» мамонта, однако сохранился на исследуемой территории до настоящего времени, несмотря на значительные изменения климата и биоценозов

Алтайский цокор — подземный грызун, проживающий на территории Новосибирской, Томской областей и Алтайского края. В данных по его распространению в Томской области давно существовали неточности, в связи с чем были приняты исследования для уточнения современного ареала этого вида. Ученые кафедры зоологии позвоночных и экологии и лаборатории мониторинга биоразнообразия Томского государственного университета (ТГУ) провели исследования популяции алтайского цокора, обитающего на территории трех районов Томской области.

«В сводке Иннокентия Лаптева «Млекопитающие таежной зоны Западной Сибири» места обитания цокора кое-где были помечены вопросительными знаками. И мы считаем, что там, где стояли вопросы, цокора нет. На нашей территории он обитает только на левобережье Оби. Крупные водные преграды являются для него препятствием для расселения», — рассказала завкафедрой Нина Москвитина. По последним данным, ареал цокора оказался меньше, чем считалось до этого. Ученые выяснили, что на его распространение влияет



сельскохозяйственное освоение земель — на больших зерновых полях и на зарастающих пашнях цокор не селится.

В исследованиях зоологам помогли радиофизики научно-образовательного центра «Радиофизика и радиоэлектроника». С помощью радиоволнового сканера они выявили глубину ходов цокора и их расположение. Ранее для получения этих данных приходилось раскапывать ходы, что нарушало условия обитания землероя. Зоологи планируют сотрудничать с радиофизиками и дальше.

«В Томской области насчитывается 64 вида млекопитающих. Конечно, было бы хорошо иметь по каждому виду монографическое описание. Но по большинству видов их практически нет, кроме того, в природе постоянно происходят изменения, которые влияют и на жизнедеятельность животных. Поэтому нужен постоянный мониторинг», — подчеркнула Нина Москвитина.

*По материалам ТГУ*

# Новости • За рубежом

## Астрофизики наблюдали три извержения в активном центре галактики

Астрофизики при помощи рентгеновского телескопа Chandra наблюдали серию из трех последовательных извержений вещества в активном центре галактики NGC 5813

Эллиптическая галактика NGC 5813 находится на расстоянии 105 миллионов световых лет от Земли. В ее активном центре, как считают астрофизики, находится сверхмассивная черная дыра, вокруг которой разогретая материя выбрасывается в виде высокоэнергетических струй. Ученым удалось определить продолжительность серии из трех масштабных извержений материи из активного центра галактики. Выбрасываемые от черной дыры струи генерировали ударные волны. Они выталкивали разогретый до миллионов градусов Цельсия газ наружу, который и образовывал огромные волновые фронты, наблюдаемые астрономами в виде трех пар «пузырей».

Скорость расширения каждого из них оценивается в 258 тысяч километров в час, что согласуется с теоретическими моделями, основанными на рентгеновских наблюдениях горячего газа в галактиках и их скоплениях. Как отметили ученые, для образования последней пары пузырей потребовалось меньше энергии, чем для двух предыдущих.

Это означает, что в активном центре галактики все еще происходит извержение материи. Согласно данным астроно-



S.Randall et al. / SAO / CXC/ NASA

мов, наблюдаемые пузыри могут сохранять свое стабильное состояние до 50 миллионов лет. По мнению ученых, такое поведение активного центра NGC 5813 оказывает влияние не только на саму галактику, но и на ее ближайших соседей.

Источник: *The Astrophysical Journal*, НАСА

## Концентрация кислорода в атмосфере влияет на климат Земли

В ходе исследований ученые из университета Мичигана (США) выяснили, что климат на нашей планете менялся в зависимости от концентрации кислорода в атмосферной зоне

Обнаруженный факт переворачивает имеющиеся представления о роли кислорода в формировании земного климата на всем протяжении истории планеты. Как оказалось, за полмиллиарда лет построения Земли, концентрация кислорода в атмосфере варьировалась в весьма существенных пределах – с 10% до 36%. Сопоставив насыщенность атмосферы газом с изменениями климата, ученые пришли к выво-

ду о непосредственном влиянии концентрации кислорода на природные условия на планете.

Согласно результатам исследований, увеличение концентрации всегда приводило к заметному сокращению интенсивности приходящих солнечных лучей и снижению температуры на поверхности Земли. Обратная зависимость была подтверждена при проведении серии симуляций, в ходе которых уровень кислорода постоянно менялся с 5% до 35%.

«Кислород оказался чрезвычайно важным для формирования температуры фактором. Если учесть его изменение в истории человечества, то можно объяснить те или иные катаклизмы. Кроме этого, именно концентрация кислорода стала определяющей при расселении животных на планете», - прокомментировал этот феномен Кристофер Поульсен, один из авторов исследования.

Источник: *Change was in the air*. H. Jesse Smith et al. *Science*. 12 June 2015: Vol. 348. No. 6240. PP. 1218. DOI:10.1126/science.348.6240.1218-c

## Комментарий эксперта

# Россия остается одним из мировых лидеров по профилактике инфекционных заболеваний

*Инфекционные заболевания преследуют человечество на протяжении всей его многовековой истории. Несмотря на успехи современной медицины, люди продолжают болеть. Стоит медикам провозгласить победу над одной болезнью, как появляется другая. Достаточно вспомнить про свиной грипп и лихорадку Эбола. При этом наша страна уделяет огромное внимание профилактике инфекционных заболеваний, постоянно расширяя перечень вакцин отечественного производства, прежде всего, на базе ФГУП «НПО «Микроген». С вопросами о текущей ситуации на предприятии мы обратились к заместителю начальника Управления науки НПО «Микроген»*

**Зубковой Наталии Васильевне**

— Какие достижения НПО «Микроген» Вы отнесли бы к ключевым и почему?

— Приоритетным направлением, безусловно, являются вакцины, как бактериальные, так и вирусные. При этом современная вакцинология ориентирована, прежде всего, на комбинированные вакцины. Так, комбинированные вакцины, включающие компоненты против коклюша, дифтерии, столбняка, гепатита В, полиомиелита, гемофильной инфекции типа *b*, против кори, эпидемического паротита и краснухи занимают центральное место в расширенной программе иммунизации ВОЗ. Внедрение комбинированных вакцин в педиатрическую практику позволит не только уменьшить стрессовую нагрузку на приви-

ваемых, но и более успешно реализовать проведение вакцинации в сроки, определенные календарем прививок, снизить загруженность медицинских работников и соответственно уменьшить стоимость программ иммунизации.

В настоящее время в пермском филиале НПО «Микроген» создана первая отечественная пентавалентная комбинированная вакцина против коклюша, дифтерии, столбняка, гепатита В и гемофильной инфекции аАКДС-Геп В+ХИБ. Это, пожалуй, одно из знаковых достижений нашей компании. Следует особо отметить, что комплекс антигенов в бесклеточном компоненте возбудителя коклюша *Bordetella pertussis* по составу максимально приближен к природным иммуногенам и разви-

вает потенциально высокий иммунный ответ, обеспечивая при этом снижение количества побочных эффектов. Эта вакцина находится в настоящий момент на стадии клинических исследований (КИ).

Этап КИ проходит еще одна ассоциированная вакцина «Контривир» — вакцина против кори, паротита и краснухи, разработанная в московском подразделении нашего предприятия. Создание этого препарата — пример успешного трансфера технологии производства краснушного компонента.

Томский и уфимские филиалы НПО «Микроген» ведут работы по созданию вирусных вакцин на перевиваемых клеточных линиях Vero. Преимуществом использования данных клеточных линий в каче-

стве субстрата для производства вакцин является стандартность их биологических свойств, возможность организации крупномасштабного культивирования и гарантия высокого уровня безопасности вакцин. По мнению экспертов ВОЗ, технологии производства вакцин на перевиваемых клеточных линиях *Vero* являются наиболее предпочтительными именно в плане обеспечения современного уровня безопасности вакцин.

Наши специалисты также проводят научно-исследовательские работы по созданию оригинального вакцинного штамма вируса ветряной оспы (*Varicella-zoster virus*) с перспективой использования его в производстве вакцины. Клеточную линию MRC-5 предполагается использовать в качестве субстрата.

Конечно, активная иммунизация внесла огромный вклад в снижение заболеваемости населения и даже позволила ликвидировать целый ряд опасных инфекций. Однако развитие прикладной иммунологии сопровождается также активным применением в практике здравоохранения методов пассивной иммунизации. В этом аспекте наиболее перспективными являются препараты иммуноглобулинов, представляющие собой иммунологически активную фракцию плазмы крови здоровых доноров — фактически концентрат антител к большому числу антигенов, отражающих кумулятивное воздействие окружающей среды на популяцию доноров. Известно, что в 1 г иммуноглобулина содержится до 107 антител различной специфичности и более 1018 всех молекул антител.

Антитела непосредственно не повреждают патогены, однако они способны запускать цепь иммунологических реакций, обеспечивающих разрушение инфицированных, чужеродных и мутантных клеток человеческого организма, а также клеток различных микроорганизмов и гельминтов.

Лечебные препараты иммуноглобулинов в мире производят более тридцати компаний. На рынке представлено несколько групп препаратов: нормальные (поливалентные) содержат антитела класса G, полученные из плазмы крови нормальной популяции доноров; специфические (гипериммунные), полученные из плазмы крови иммунных доноров, содержащие повышенные уровни антител к конкретным антигенам; комплексные препараты иммуноглобулинов (КИП), содержащие смесь иммуноглобулинов классов G, A, M.

НПО «Микроген» сегодня производит всю номенклатуру препаратов иммуноглобулинов нормальных, специфических, и является фактически единственным отечественным производителем иммуноглобулинов для внутривенного введения. Науч-



*НПО «Микроген» сегодня является фактически единственным отечественным производителем иммуноглобулинов для внутривенного введения*

ный потенциал специалистов предприятия направлен, прежде всего, на повышение патогенной безопасности исходного сырья — плазмы для фракционирования, повышение уровня очистки целевых белков и создание вирусобезопасных технологий, включающих две и более стадий инативации вирусов, эффективность которых подтверждена в модельных экспериментах.

*— В деятельности НПО «Микроген» активно представлена научная составляющая. Какие направления исследований Вы считаете наиболее актуальными в настоящее время?*

— Наш научный потенциал традиционно был очень высоким. Большинство предприятий, которые вошли в состав НПО «Микроген» в 2003 году, были созданы на базе научных институтов микробиологии и эпидемиологии. В этом аспекте и развивались приоритетные научные направления: вакцинология, иммунология, микробиология, молекулярная диагностика.

Помимо вакцинологии и иммунологии, о которых мы уже говорили, хотелось бы обратить внимание на такое направление, как микробиология. Очевидно, что разработка лечебных препаратов на основе живых микроорганизмов является не менее актуальной сферой деятельности. В течение более чем пятидесяти лет специалистами филиалов НПО «Микроген» разрабатывает и производит препараты, нормализующие микрофлору кишечника, и бактериофаги.

Бактериофаги — это вирусы бактерий, вызывающие их лизис (разрушение). Таким образом, бактериофаги размножаются в клетке-хозяине, лизируют ее и инфици-

руют другие клетки. Именно на этом свойстве, когда патогены разрушаются абсолютно безвредно для организма человека, и основан механизм их лечебного действия.

В последние годы во всем мире наблюдается повышенный интерес к препаратам этой группы. Впервые бактериофаги были применены в СССР в первой половине XX века еще до появления антибиотиков. В течение последних 80 лет был выполнен колоссальный объем прикладных научных исследований, на основе которых были разработаны и зарегистрированы препараты бактериофагов, а затем налажен их промышленный выпуск. В настоящее время компанией «Микроген» выпускается целый спектр бактериофагов против большинства актуальных инфекций: стафилококковой, синегнойной, сальмонеллезной и других. Сегодня в отечественном здравоохранении накоплен обширный опыт успешного применения бактериофагов для лечения гнойно-септических и кишечных инфекций.

**«Сегодня в отечественном здравоохранении накоплен обширный опыт успешного применения бактериофагов для лечения гнойно-септических и кишечных инфекций.»**

*— НПО «Микроген» имеет стратегическое значение для национальной безопасности. Не подавляет ли такая высокая ответственность развитие творческой мысли, ведь учёные, как известно, люди не всегда предска-*

*зумы, работающие зачастую не по плану, а на волне вдохновения?*

— Специалисты НПО «Микроген» никогда не забывают о высоком уровне ответственности перед государством, населением страны и всегда готовы стоять на страже их здоровья и безопасности. Творческий потенциал спе-

циалистов реализуется в полном соответствии с мировыми тенденциями в области фармацевтики и иммунобиологии, реализуя на практике принцип «quality by design», что обеспечивает качество и безопасность препарата на всех стадиях разработки и последующего производства. Создание нового препарата – процесс длительный, и включа-

ет, как известно, этапы собственно разработки, доклинические, клинические исследования, масштабирование и внедрение в производство.

*— Как быстро научный потенциал предприятия реагирует на современные вызовы эпидемиологической опасности? В частности, были ли у нас в стране разработаны вакцины от птичьего, свиного гриппа?*

— С момента своего образования НПО «Микроген» всегда уделял серьезное внимание разработке препаратов, направленных на борьбу с опасными и особо опасными инфекциями, проникающими на территорию страны.

Пандемии всегда бывают событиями мирового значения. Появление высококонтагиозных вирусов, к которому большая часть населения не имеет иммунитета, приводит к быстрому распространению инфекции на обширных территориях менее чем за год, и может привести к заболеванию значительной части населения планеты.

Однако многолетний, более 30 лет, научно-производственный опыт работы позволяет НПО «Микроген» в кратчайшие сроки осуществлять внедрение новых препаратов. В 2005-2009 годы были разработаны и зарегистрированы две препандемические гриппозные вакцины против гриппа птиц человека — на основе серотипа А/Н5: живая интраназальная и инактивированная субъединичная.

Имеющиеся технологии инактивированной и живой пандемических вакцин против гриппа птиц человека были взяты также за основу при создании пандемических вакцин против свиного гриппа. В сжатые сроки были выполнены доклинические и клинические исследования, что позволило зарегистрировать новые вакцины. Таким образом, выпуск вакцин «Пандефлю» и «Инфлювир» был начат уже в конце 2009 года.



Томский и уфимские филиалы НПО «Микроген» ведут работы по созданию вирусных вакцин на перевиваемых клеточных линиях Vero

Беседовала И.А. Баннова



**Зубкова Наталья Васильевна** — заместитель начальника Управления науки НПО «Микроген», доктор фармацевтических наук. Научные интересы: иммунология, вирусология, фармацевтическая промышленность. Окончила Мордовский государственный университет по специальности «Медицинская биохимия». В системе ФГУП «НПО «Микроген» с 1991 года. Автор четырех патентов, более восьмидесяти научных публикаций. Отмечена званием «Отличник здравоохранения РФ».

# In Advance

## Nature Advance • Медицина

### Картина глобальной циркуляции сезонных вирусов гриппа определяется антигенной изменчивостью

Global circulation patterns of seasonal influenza viruses vary with antigenic drift. Trevor Bedford, Steven Riley, Ian G. Barr, et al. Nature (2015) doi: 10.1038/nature14460. Published online 08 June 2015.

Международная группа ученых составила карту глобальной циркуляции разновидностей вируса гриппа по миру. Существуют четыре вирусных подтипа: H3N2 и H1N1 (серотип А), а также вирусы серотипа В – Ямагата и Виктория. Самым распространенным в мировом масштабе является вирус H3N2, именно он ежегодно вызывает сезонный грипп. В то же время, H1N1 и В-вирусы ответственны за вспышки эпидемий гриппа, которые на протяжении всего года случаются в разных странах. Ежегодно обновляя вакцину от вируса, ВОЗ берет образцы вирусов всех четырех типов, чтобы организм мог бороться с каждым из них. С точки зрения симптомов они тоже практически неразличимы. В 2008 г. сотрудники Кембриджского университета выяснили, что чаще всего в течение года подтип H3N2 определяется на территории Восточной и Юго-Восточной Азии, а затем распространяется по миру, вызывая сезонные эпидемии гриппа. Ранее считалось, что и другие подтипы вируса гриппа начинают распространяться по похожему маршруту, однако эта гипотеза оказалась ошибочной. Выяснилось, что подтип H3N2 с точки зрения маршрута своего распространения является уникальным среди сезонных вирусов



Shutterstock

гриппа, так как подтип H1N1 и вирусы серотипа В циркулируют по миру непрерывно. Это приводит к возникновению огромного разнообразия штаммов данных вирусов. Различия между штаммами обусловлены тем, как быстро вирусы подвергаются антигенной изменчивости. Вирус H3N2 эволюционирует быстро, поэтому он быстро распространяется по миру, но его волна так же быстро затухает, когда эпидемия проходит. H1N1 и В-вирусы приспособляются к антигенам медленнее, поэтому они и медленнее циркулируют между разными очагами эпидемии, зато дольше сохраняются. Согласно результатам исследования, скорость распространения инфекционного агента связана с тем, насколько быстро вирус способен менять белковую оболочку, расположенную на поверхности капсида. Также установлено, что к вирусу H3N2 больше восприимчивы взрослые люди, а H1N1 и В-вирусы заражают в основном детей.

PNAS Early Edition • Антропология

## Различия в составе тела у *Pan paniscus* и *Homo sapiens* обусловлены изменениями, произошедшими в процессе эволюции человека

Body composition in *Pan paniscus* compared with *Homo sapiens* has implications for changes during human evolution. Adrienne L. Zihlman, Debra R. Bolter. PNAS Early Edition. 2015. Published ahead of print June 1, 2015, doi:10.1073/pnas.1505071112.

Американские антропологи объяснили различия в составе тела человека и обезьяны. Площадь кожи, запасы жира и мышечная масса в организме человека совсем иные, нежели у его ближайших родственников среди приматов, и эти различия позволяют прояснить важнейшие эпизоды эволюции *Homo sapiens*. Изменения в составе тканей тела невозможно проследить по окаменелостям: в палеонтологической летописи сохранились лишь кости, представляющие максимум 15% массы тела. Поэтому для получения ответов на свои вопросы авторы статьи сравнили ткани человека и его ближайшего родственника среди обезьян – *Pan paniscus* (карликового шимпанзе или бонобо). Ученые препарировали трупы 13 бонобо, скончавшихся по естественным причинам, и сравнили их мягкие ткани с человеческими. Выяснилось, что состав тела у человека и карликового шимпанзе очень разный. У *Pan paniscus* 10-13% массы тела составляет кожа, в то время как у человека этот показатель составляет всего 6%. Также у людей гораздо больше жира – 36% от массы тела у женщин и 20% у мужчин, против 4% и почти 0% у самок и самцов бонобо, соответственно. Зато мышечная масса у шимпанзе составляет значительную долю от массы тела. Особенно много мышц у них в верхней части тела, задействованной в передвижении по де-



Самка *Pan paniscus* / Hans Hillewaert

ревьям. Таким образом, человека отличает от обезьян повышенное содержание жира, сниженная мышечная масса и небольшая площадь кожи. Кроме того, по сравнению с другими приматами у человека изменилось распределение мышечной массы: она сдвинулась в область нижних конечностей. В свое время предки человека переместились из области тропических лесов на открытые пространства саванн. Смешанная растительность, перепады в количестве осадков и сезонный дефицит пищи заставили организм гоминид перестроиться и перейти на специфическую диету, позволяющую запасать жиры на случай голода. Кроме того, самкам жир позволял более эффективно вынашивать плод и кормить детей. Снижение мышечной массы сопутствовало переходу к прямохождению: предки человека начали ежедневно перемещаться на большие расстояния в поисках пищи. Именно прямохождение привело к перераспределению мышц в область бедер. Наконец, расправившаяся кожа способствовала теплообмену, защите клеток от солнца и повышению иммунитета.

PNAS Early Edition • Биология

## Нейроны конечного мозга ворон избирательно реагируют на количество визуальных предметов

Neurons selective to the number of visual items in the corvid songbird endbrain. Helen M. Ditz, Andreas Nieder. PNAS Early Edition. 2015. Published ahead of print June 8, 2015, doi:10.1073/pnas.1504245112.

Наблюдения за работой мозга ворон помогли нейрофизиологам найти ту зону их мозга, которая отвечает за подсчет предметов и простую арифметику, и тем самым доказать, что эти птицы умеют считать. Авторы исследования – Хелен Дитц и Андреас Нидер из университета Тюбингена (Германия), наблюдая за птицами во время выполнения ими теста в виде компьютерной игры на экране планшета, попытались проверить, умеют ли вороны считать

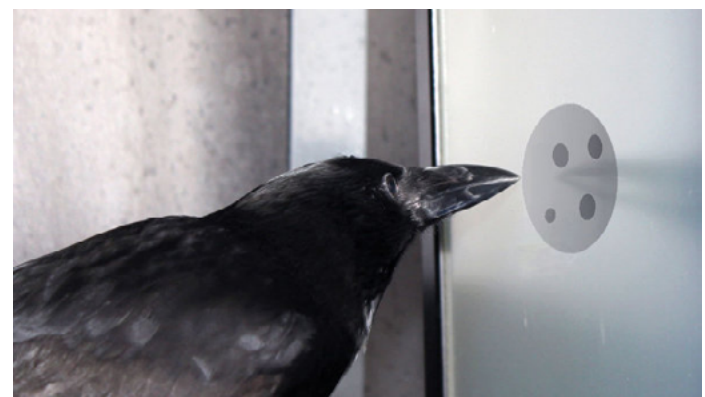


Фото эксперимента / Andreas Nieder

на самом деле и владеют ли они абстрактной концепцией числа. Данный тест уже использовался для выявления способностей к счету в уме среди обычных голубей, которые традиционно считаются довольно глупыми птицами. Исследование проводилось в

2011 г. Тогда выяснилось, что голуби умеют различать числа от 1 до 9, и выбирать ту группу фигур на экране, где их было больше. Подобный вывод вызвал массу критики со стороны многих нейрофизиологов, заявивших, что подобные заключения нуждаются в подкреплении данными, полученными при наблюдениях за работой мозга. Именно по этому пути пошли авторы статьи. Суть теста заключалась в том, что перед каждым раундом игры экран планшета очищался, и затем на него выводилось несколько точек, которые ворона должна была «подсчитать» и затем «нарисовать» их клювом, когда дисплей опять очищался. Размеры точек и их расположение постоянно менялись, чтобы исключить вероятность того, что птица просто запомнит всю картинку целиком, не считая пятна на экране. Во время каждого сеанса игры ученые следили за работой мозга вороны, отмечая те отделы ее

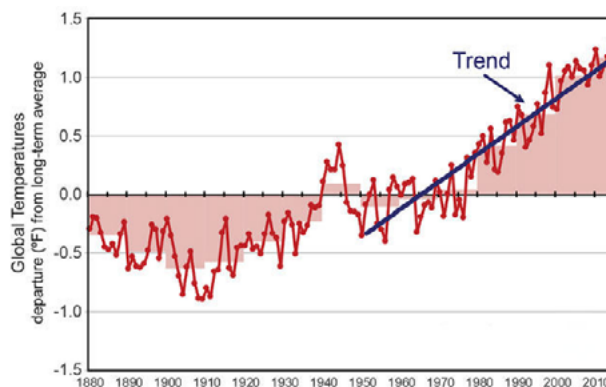
нервной системы, которые активировались во время просмотра картинки и введения ответа. Как и ожидалось, птицы неплохо справлялись с тестом, выдавая правильный ответ в 73% случаев, что говорит о том, что они действовали не наугад (тогда процент успеха равнялся бы 50%). Наблюдения за работой коры головного мозга ворон показали, что за каждое число, вне зависимости от формы и расположения кругов на экране, отвечала своя собственная группа нейронов. Это означает, что вороны представляют числа в виде неких абстрактных фигур или конструкций, чье существование не зависит от того, как выглядят и чем являются данные предметы в реальном мире. Таким образом, авторам удалось доказать, что птицы действительно умеют считать, и что их «нейроны счета» работают почти так же, как и у человека и других млекопитающих.

## Science Advances • Экология

### Возможные искажения данных позволили говорить о недавнем замедлении глобального потепления поверхности Земли

Possible artifacts of data biases in the recent global surface warming hiatus. Thomas R. Karl, Anthony Arguez, Boyin Huang, et al. Science Advances. Published Online June 4, 2015. DOI: 10.1126/science.aaa5632.

В 2013 г. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (IPCC) сообщила о замедлении темпов глобального потепления в первом десятилетии нового века. Эта новость вызвала много споров в научной среде. Но, как показывает новое исследование, выводы IPCC могли строиться на ошибочных данных, а на самом деле средние температуры на планете продолжают расти. Ученые из Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA) проанализировали глобальные данные о температуре вблизи поверхности Земли, начиная с 1880 г. и заканчивая самым жарким 2014 годом. С помощью новых методов расчета они скорректировали старые записи температуры поверхности океана и добавили результаты измерений новых наземных станций мониторинга. Особое внимание исследователи уделили сравнению данных температуры воды, измеренных на судах и полученных с помощью автоматических буев. Ранее не существовало единой методики измерений и обработки данных, что негативно сказывалось на достоверности результатов. Начиная с 70-х годов прошлого века, повсеместное распространение получили гораздо более точные автоматические буи. Выяснилось, что каждый метод измерений требует отдельной кор-



Новые данные указывают на устойчивый тренд к повышению глобальной температуры / NOAA

ректировки. Не менее важным стало включение в расчеты тысяч новых станций, в том числе расположенных в Азии, Африке и Южной Америке, где раньше замеры проводились редко. Обобщив всю имеющуюся информацию, авторы пришли к выводу, что в период 1998–2012 гг. средняя температура увеличивалась со скоростью 0,086 °C за десятилетие, что вдвое больше цифры 0,039 °C, указанной в докладе IPCC. Новая оценка гораздо ближе к темпам потепления в период 1950–1998 гг., когда средняя температура на планете каждые десять лет увеличивалась на 0,113 °C. Кроме того, ученые рассчитали, что с учетом данных за последние годы темпы потепления в XXI веке составили 0,116 °C. Возможно, небольшое замедление темпов глобального потепления на рубеже веков связано с невероятно теплым Эль-Ниньо, наблюдавшимся в Тихом океане в 1997–1998 гг. Данные замеров температуры поверхности за последние 2 года и скорректированные данные более ранних наблюдений свидетельствуют о том, что вместо паузы продолжается устойчивый тренд потепления.



Vol. 521. No 7552 21 мая 2015 года и  
Vol. 521. No 7553 28 мая 2015 года



Vol. 112. No 20 19 мая 2015 года,  
Vol. 112. No 21 26 мая 2015 года и  
Vol. 112. No 22 2 июня 2015 года



Vol. 348. No 6237 22 мая 2015 года



Nature · PNAS · Science: рефераты статей

**18** **Астрономия**

**20** **Физика**

**22** **Химия**

**23** **Науки о Земле и экология**

**29** **Антропология и история**

**30** **Биология**

**36** **Медицина**

**39** **Нейронауки и психология**

**45** **Социальные науки**

**46** **Технологии и материалы**

# Астрономия

## Низковысотные магнитные измерения, выполненные зондом MESSENGER, позволили обнаружить древнее коровое поле Меркурия

Low-altitude magnetic field measurements by MESSENGER reveal Mercury's ancient crustal field. Catherine L. Johnson, Roger J. Phillips, Michael E. Purucker, et al. Science. 2015. Vol. 348. No 6237. P. 892–895.

Намагниченность, сохраняющаяся в породах, представляет собой «историческую летопись» магнитного поля планет – одного из ключевых параметров их эволюции. Магнитное поле Меркурия было впервые обнаружено и измерено еще в 1974 г. космическим зондом Mariner-10. Сила меркурианского магнитного поля оказалась примерно в 100 раз слабее, чем земного. Тогда ученые решили, что его порождает движение металла в большом, богатом железом, жидком ядре. Позднее стало ясно, что в ядре Меркурия присутствуют неметаллические компоненты, которые понижают его температуру кристаллизации и замедляют процесс отвердевания. Аппарат MESSENGER вышел на орбиту Меркурия в 2011 г. Тогда он приблизился к планете на расстояние 200 км. В конце 2014 и начале 2015 гг. зонд осуществил экстремальный маневр, пройдя над поверхностью планеты на высоте всего 150 км. Именно во время этого прохода магнитометры зонда зафиксировали остаточный магнетизм горных пород на поверхности и собрали данные, которые помогли впервые определить возраст магнитного поля Меркурия. Сигнал исходил от намагниченных пород в коре планеты, то есть не являлся результатом воздействия магнитного поля ядра. В противном случае его можно было бы уловить не только на близком расстоянии от поверхности, но и на больших высотах. Ученые установили, что MESSENGER получал хороший

сигнал, когда пролетал вблизи ударных кратеров, в которых выходили на поверхность древние породы. Общий массив измерений позволяет предположить, что в древности магнитное поле Меркурия возникло за счет динамо-процесса во внешнем жидком ядре планеты в начале ее существования. Интересно, что остаточная намагниченность в породах сильно варьирует, иногда достигая средних земных значений. Это хорошо согласуется с выявленным зондом MESSENGER элементным составом Меркурия с низким содержанием железа. Данные по намагниченности и возрасту пород, а также их распространенности позволили установить время появления магнитного поля Меркурия. Используя данные самого низкого прохода аппарата близ поверхности Меркурия, авторы установили, что магнитное поле планеты образовалось 3,7–3,9 млрд лет назад, то есть почти сразу после зарождения этого космического тела. Данная информация делает Меркурий планетой с самым долгосрочным магнитным полем. Для сравнения, магнитному полю Земли – 3,5 млрд лет. На сегодняшний день Меркурий и Земля являются единственными каменными планетами Солнечной системы, которые обладают магнитным полем. Однако существуют доказательства того, что когда-то оно было и у Марса, хотя и исчезло около 3 млрд лет назад. Также, вполне возможно, что магнитным полем обладают некоторые экзопланеты. На настоящий момент исследователи не могут точно сказать, присутствовало ли магнитное поле на планете на протяжении всех 3,7–3,9 млрд лет – периода, охватывающего большую часть эволюционной истории Меркурия, которая длится уже почти 4,5 млрд лет, – но, скорее всего, это было так. Авторы надеются, что европейско-азиатская миссия BepiColombo, межпланетный зонд которой достигнет Меркурия в 2024 г., предоставит больше информации о магнитном поле планеты и его эволюции.

*В.В. Стрекопытов*

## Отсутствие признаков взаимодействия со звездным компаньоном выбросов трех сверхновых типа Ia

No signature of ejecta interaction with a stellar companion in three type Ia supernovae. Rob P. Olling, Richard Mushotzky, Edward J. Shaya, Armin Rest, Peter M. Garnavich, Brad E. Tucker, Daniel Kasen, Steve Margheim, Alexei V. Filippenko. Nature. 2015. Vol. 521. No 7552. P. 332–335.

Считается, что сверхновые типа Ia образуются в результате термоядерного взрыва углерод-кислородных белых карликов. Однако непонятно, чем провоцируется этот взрыв, – аккрецией с невырожденной звезды-компаньона или слиянием с другим белым карликом. Наблюдения за сверхновыми непосредственно после взрыва позволили получить уникальную информацию о распределении выброшенного материала и обо всей родительской системе. Результаты моделирования показывают, что взаимодействия выбросов сверхновой со звездным компаньоном или межзвездным дебрисом должны вызывать внезапное свечение, продолжающееся ча-

сы или дни. В работе представлены данные наблюдений за тремя сверхновыми, с большой долей вероятности относящимися к типу Ia, снимки которых были получены с помощью космического телескопа Kepler. Экспозиция снимков составляла 30 мин. При анализе снимков не было обнаружено никаких признаков взаимодействия выбросов сверхновых с расположенными вблизи возможными звездами-компаньонами. Эти наблюдения свидетельствуют о том, что все 3 сверхновые, скорее всего, образовались в результате слияния бинарных белых карликов или других компактных звезд типа гелиевых звезд, что подтверждает гипотезу об образовании сверхновых в двойной системе. Доля двойных белых карликов в нашей Галактике составляет примерно 15 на 4 000 всех систем с такого рода объектами. По расчетам это значит, что по этому сценарию должна взрываться одна сверхновая Ia в столетие, что как раз совпадает с наблюдаемой частотой таких событий. С другой стороны, сценарий «белый карлик–обычная звезда» в последнее время стал оцениваться как довольно редкий, отвечающий не более чем за пятую часть взрывов сверхновых типа Ia.

*В.В. Стрекопытов*

## Сильное ультрафиолетовое излучение от взрыва новорожденной сверхновой типа Ia

A strong ultraviolet pulse from a newborn type Ia supernova. Yi Cao, S. R. Kulkarni, D. Andrew Howell, et al. Nature. 2015. Vol. 521. No 7552. P. 328–331.

Сверхновые типа Ia являются одними из самых важнейших объектов для астрономов, так как их относительное постоянство ученые используют для измерения расстояний в космосе. Этим свойством воспользовались американский астрофизик Сол Перлмуттер и его коллеги для демонстрации ускоряющегося расширения Вселенной, за что они получили Нобелевскую премию 2011 года по физике. Несмотря на важность и изученность таких сверхновых, астрофизики не были уверены в том, как возникают такие вспышки, за исключением того, что их порождают взрывающиеся белые карлики. Часть ученых полагали, что сверхновые Ia возникают в результате слияния двух белых карликов, тогда как другие считали, что они рождаются в парах из одного белого карлика и обычной звезды или красного гиганта. С помощью автоматизированного телескопа PTF авторы стали свидетелями крайне редкого события – столкновения белого карлика с обычной солнцеподобной звездой и его превращения в сверхновую типа Ia. Открытие является первым прямым свидетельством того, что у белых карликов, порождающих сверхновые типа Ia, есть звезды-спутники. Кроме того, оно показывает, что, по крайней мере, часть из сверхновых рождается в ходе столкновения карлика и обычной звезды, а не двух белых карликов. В мае 2014 г. PTF следил за созвездием Волосы Вероники, где

находится высокодинамичная галактика IC 831. Настройка телескопа и алгоритмов анализа снимков на суперкомпьютере была выполнена таким образом, что при обнаружении очередной вспышки сигнал передавался на орбитальный телескоп Swift, работающий в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах, и немедленно делались снимки той точки, где возникла вспышка. Подобная интеграция аппаратуры позволила получить фотографии сверхновой iPTF14atg в момент ее зарождения и понять, каким образом возникла вспышка. Снимки и данные, полученные при помощи PTF и Swift в ходе первых четырех дней после начала вспышки, свидетельствуют о том, что данная сверхновая была рождена в результате столкновения белого карлика и обычной солнцеподобной звезды, а не двух выгоревших светил. В пользу этого говорит и то, каким спектром обладала новорожденная сверхновая, а также то, что ее яркость в ультрафиолетовом диапазоне сначала убывала, а затем начала нарастать. Подобный рост силы свечения, вероятно, происходит из-за того, что материя, выброшенная гибнущим белым карликом, сталкивается со звездой-спутником и порождает ударную волну, которая разогревает окружающую материю, заставляя ее светиться в ультрафиолетовом спектре. Авторы подчеркивают, что данное открытие не означает невозможности второго сценария, когда сверхновые Ia возникают в результате слияния белых карликов: еще в 2011 г. астрономы зафиксировали сверхновую SN 2011fe в галактике Вертушка, которая возникла подобным образом. Оно лишь говорит о том, что оба сценария их рождения возможны и что их примеры можно найти в обозримой Вселенной.

*В.В. Стрекопытов*



# Физика

## Равновесная фазовая диаграмма стеклонаполнителя со случайным пиннингом

Equilibrium phase diagram of a randomly pinned glass-former. Misaki Ozawa, Walter Kob, Atsushi Ikeda, Kinimasa Miyazaki. PNAS. 2015. Vol. 112. No 22. P. 6914–6919.

При стекловании жидкостей с понижением температуры происходит резкое возрастание вязкости и времени релаксации. В лабораторных условиях наблюдаемые процессы стеклования имеют чисто кинетическую природу, поскольку происходят при температуре, при которой время релаксации системы имеет тот же порядок величины, что и время проведения эксперимента, т.е. время охлаждения. В общем же случае время релаксации может быть астрономическим большим. Несмотря на интенсивное теоретическое и экспериментальное изучение в течение последних 50 лет, механизм кинетического стеклования продолжает интенсивно обсуждаться. Фундаментальное значение имеет ответ на интригующий вопрос о динамике стеклования: прекращается ли она окончательно, и если да, то связан ли такой идеальный переход с термодинамической сингулярностью, или он носит кинетический характер? Отсутствие понимания данного вопроса связано с резким возрастанием времени релаксации, затрудняющим достижение точки перехода термически равновесных систем. Поэтому в большинстве случаев, если это удастся, температура стеклования находится путем экстраполяции. В работе выполняется компьютерное моделирование термодинамических свойств стеклонаполнителя, в котором доля  $c$  частиц первоначально замораживалась. Путем термодинамического интегрирования определялась температура  $T_K(c)$  идеального сте-

клования, при которой исчезает конфигурационная энтропия. Это делается без какой-либо экстраполяции, т.е.  $T_K(c)$  является равновесным свойством системы. Кроме того, в работе измерялся параметр порядка, сигнализирующий о переходе в стеклообразное состояние, и соответствующая температура перехода. При замерзании или пиннинге некоторых степеней свободы температура идеального стеклования возрастает настолько, что становится возможным проведение экспериментов или моделирования для изучения природы этого перехода. Исследовалась стандартная трехмерная модель смеси Леннарда-Джонса с числом частиц  $N=150$  и  $N=300$ . При каждой фиксированной температуре случайным образом выбиралась доля  $c$  частиц системы, положения которых закреплялись после приведения системы к равновесию при заданной температуре. Зависимость энтропии в расчете на одну незакрепленную частицу  $s = S/N(1-c)$  от величины  $c$  быстро уменьшалась до нуля по линейному закону (тем быстрее, чем меньше была температура). Другой подход для определения точки перехода в стеклообразное состояние основывается на исследовании параметра пере- кривания двух конфигураций  $\alpha$  и  $\beta$ :  $q_{\alpha\beta} = N^{-1} \sum_{ij} |a - \theta_j |r_i^\alpha - r_j^\beta| |$ , где  $\theta$  – единичная функция Хевисайда,  $r_i^\alpha$  и  $r_j^\beta$  – положения частиц двух конфигураций,  $a$  – пространственный масштаб. Из теории случайных фазовых переходов первого рода следует, что среднее значение  $\langle q \rangle$  при стекловании должно достигать насыщения при изменении параметра  $c$ . Именно это и наблюдалось при моделировании. Были также определены фазовые диаграммы  $T(c)$ , используя оба подхода. Все полученные результаты качественно согласуются со сценарием, вытекающим из теории случайных переходов первого рода.

Г.В. Дедков

## Спектроскопия твердых тел на высших гармониках в диапазоне крайнего ультрафиолета

Extreme ultraviolet high-harmonic spectroscopy of solids. T. T. Luu, M. Garg, S. Yu. Kruchinin, A. Moulet, M. Th. Hassan, E. Goulielmakis. Nature. 2015. Vol. 521. No 7553. P. 498–502.

Ультрафиолетовое излучение в дальней области спектра (крайний ультрафиолет) с высоким содержанием гармоник генерируется атомами, молекулами, плазмой, при возбуждении среды излучением лазера. Это излучение обнаруживается методами аттосекундной спектроскопии, оно дает возможность увидеть фундаментальные структурные и динамические свойства вещества. Преимуществом этих методов спектроскопии является возможность наблюдения за поведением электрона в сильных полях плотного вещества. Такой подход требует удобного способа генерации крайнего ультрафиолетового излучения и управления им в твердых телах, но такая возможность остается вне области оптической науки. Мы продемонстрировали генерацию крайнего ультрафиолетового излучения

в полупроводниках, которым можно управлять с помощью фемтосекундных импульсов инфракрасного излучения, которое, в свою очередь, порождается когерентным преобразованием СВЧ-поля в многооктавные спектры инфракрасного диапазона и видимого света. Тонкие пленки двуокиси кремния  $\text{SiO}_2$ , подвергаемые циклическому воздействию интенсивного излучения, излучают широкополосный крайний ультрафиолет с энергией, превышающей 40 эВ. Эксперимент показывает связь излучаемого крайнего ультрафиолета с СВЧ токами, наводимыми в проводящем слое  $\text{SiO}_2$ . Этот метод до сих пор не был доступен для фотоэмиссионной спектроскопии в диэлектриках с большой шириной запрещенной зоны. Возможность управления оптическими свойствами среды с помощью аттосекундных импульсов является преимуществом ультрафиолетовой оптоэлектроники в области СВЧ в твердых телах. Генерация широкополосного ультрафиолетового излучения путем когерентного возбуждения движения электронов в твердых телах дает новые возможности методам спектроскопии на гармониках и придает новые технологические возможности электронике и лазерной оптоэлектронике на твердых телах.

И. Ю. Лещанский

## Механизм Киббла-Зурека в коллоидных монослоях

Kibble-Zurek mechanism in colloidal monolayers. Sven Deuschlander, Patrick Dillman, Georg Maret, Peter Keim. PNAS. 2015. Vol. 112. No 22. P. 6925–6930.

В формализме калибровочной теории со спонтанным нарушением симметрии Зельдович с соавторами и Киббл постулировали космологический фазовый переход при охлаждении ранней Вселенной. Этот переход приводит к образованию вырожденных состояний вакуума ниже критической температуры, изолированных друг от друга, или отделенных дефектными структурами, такими как доменные стенки, струны или монополи. В процессе перехода вакуум может описываться с помощью  $N$ -компонентного скалярного параметра порядка (поля Хиггса) для эффективного потенциала  $V = a\phi^2 + b(\phi^2 - \eta_0^2)^2$ , где  $a$  не зависит от температуры,  $b$  – константа и  $\eta_0$  – модуль  $\langle \phi \rangle$  при  $T = 0$ . При высоких температурах потенциал  $V$  имеет единственный минимум при  $\phi = 0$  (случай высокой симметрии), но ниже критической температуры  $T_c$  образуется ландшафт из множественных минимумов, соответствующих вырожденным состояниям вакуума (типа «сомбреро» при  $N = 2$ ). В фазе пониженной симметрии при  $T < T_c$  получается  $\langle \phi \rangle = \eta^2(T)$ . Отсутствие дефектов внутри видимого горизонта Вселенной в значительной степени мотивировало инфляционные теории Большого Взрыва. Зурек был первым, кто обратил внимание на тот факт, что те же принципы справедливы при лабораторных фазовых переходах второго рода, когда система при охлаждении переходит в систему с меньшей симметрией. Поэтому в дальнейшем этот механизм получил

название «механизма Киббла-Зурека» (КЗ). В общем случае механизм КЗ описывает эволюцию топологических дефектных структур подобных доменным стенкам, струнам и монополям при фазовых переходах второго рода. При охлаждении дефектные структуры возникают естественным образом, если теряется связь между отдельными частями системы (вследствие конечности скорости распространения сигнала). Отсутствие причинной связи между частями системы приводит к появлению изолированных доменов с различной (вырожденной) локально-нарушенной симметрией. В рамках этой концепции в работе исследуется двумерный аналог эволюции двумерного ансамбля коллоидных частиц при его охлаждении в диапазоне скоростей остывания, охватывающем три порядка величины. Исследование процесса образования доменных структур производилось количественно с использованием видеомикроскопии, определяя параметры скейлинга соответствующих пространственных масштабов в зависимости от скорости охлаждения. Система состояла из полистироновых бусинок с диаметром 4,5 мкм, диспергированных в воде. Бусинки легировались наночастицами окислов железа для создания свойств суперпарамагнетика. Общая массовая плотность составляла 1,7 г/см<sup>3</sup>. Двумерная плотно-упакованная структура представляет гексагональный кристалл с осевой симметрией 6-го порядка. Основным предсказанием механизма КЗ является степенная зависимость корреляционной длины  $\xi$  для областей, в которых  $\langle \phi \rangle \neq 0$ , как функции параметра временной корреляции при «вымораживании» системы. При образовании доменов и других дефектов наблюдаемая величина  $\xi$  изменялась с уменьшением скорости охлаждения от 1,5 до 2,3. Таким образом, авторам удалось реально наблюдать скейлинг, предсказываемый теорией КЗ.

*Г.В. Дедков*

# Химия

## Практичный и избирательный молекулярный катализатор для электрохимического преобразования CO<sub>2</sub> в CO в водной среде

Efficient and selective molecular catalyst for the CO<sub>2</sub>-to-CO electrochemical conversion in water. Cyrille Costentin, Marc Robert, Jean-Michel Savéant, Arnaud Tatin. PNAS. 2015. Vol. 112. No 22. P. 6882–6886.

Одной из наиболее важных задач энергетики является превращение двуокиси углерода в топливо при помощи солнечного света. Возможный путь к этой цели – сначала превратить солнечную энергию в электричество, с помощью которого можно электрохимически разложить CO<sub>2</sub>. Электрохимическое превращение CO<sub>2</sub> в CO – основной технологический процесс в получении жидкого топлива с помощью процесса Фишера-Тропша, который основан на уменьшении количества дигидратов. Непосредственным вводом электрона в молекулу CO<sub>2</sub> можно получить анион CO<sub>2</sub><sup>-</sup>, что требует очень большой энергии, поскольку стандартный потенциал пары CO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub><sup>-</sup> около 1,97 эВ. Получение монооксида углерода, возможно, является интересным шагом в нужном направлении, так как

ее можно извлечь из отходов синтеза алканов с помощью стандартного процесса Фишера-Тропша. Основная реакция с переносом связанного электрона и протона выглядит так: CO<sub>2</sub> + 2e<sup>-</sup> + 2AH ↔ CO + H<sub>2</sub>O + 2A<sup>+</sup>. Существует ряд молекулярных катализаторов, пригодных для преобразования CO<sub>2</sub> в CO. Один из наиболее изученных катализаторов из семейства комплексов переходных металлов – порфирин железа. Путем замены четырех парафенил-водородных групп в молекуле тетрафенилпорфирина железа на группы триметиламмиака можно получить водорастворимое вещество, которое может быть катализатором электрохимического превращения двуокиси углерода в моноокись углерода. Такая реакция, проводимая в pH-нейтральной воде, дает почти чистую моноокись углерода с очень малой примесью водорода, несмотря на частичное превращение CO<sub>2</sub> в угольную кислоту. Такому избирательному катализатору свойственна хорошая стабильность. На его основе можно получить вышеописанную смесь CO-H, подбирая pH раствора, возможно также добавляя электронеактивный буфер. Преимуществом этой реакции также является то, что она происходит в водной среде.

*И. Ю. Лещанский*

# Науки о Земле и экология

## Противодействующие механизмы продуцирования и инактивирования антибиотиков стабилизируют микробные сообщества

Counteraction of antibiotic production and degradation stabilizes microbial communities. Eric D. Kelsic, Jeffrey Zhao, Kalin Vetsigian, Roy Kishony. Nature. 2015. Vol. 521. No 7553. P. 516–519.

Теоретическая экология работает над пониманием механизмов поддержания видового разнообразия в микробных сообществах, и того, каким образом продуцирующие антибиотики, чувствительные к антибиотикам и резистентные виды микроорганизмов могут сосуществовать вместе. Экологические модели антибиотиков, как правило, предполагают попарные взаимоотношения видов, когда продуцирующие антибиотик виды больше ингибируют микроорганизмы, чувствительные к их воздействию, чем резистентные. Это попарное ингибирующее воздействие приводит к циклической схеме доминирования среди разных видов, которые могут поддерживать устойчивое сосуществование. В то время как циклические взаимодействия «камень-ножницы-бумага» могут стабилизировать сообщества в упорядоченной среде, их сосуществование в неструктурированных средах по-прежнему остается необъяснимым. Благодаря использованию аналитических моделей, ученым удалось доказать, что противоположные действия продуцирования и инактивации антибиотика позволяют микробным сообществам сосуществовать даже в смешанных средах. Исследовалось влияние инактивирующих антибиотик видов на общую динамику микробного сообщества, в состав которого входят продуценты антибиотиков. В ходе моделирования ученые воспроизвели простую сеть взаимодействий, содержащую три антибиотика и три вида микро-

организмов, используя в качестве единственного ресурса модель хемостата. Как выяснилось, резистентность, возникающая вследствие ферментативной инактивации антибиотиков, позволяет сосуществовать всем трем видам. Взаимодействие микроорганизмов, инициированное инактивацией антибиотика, способствует их мелкодисперсному перемешиванию. Это привело ученых к выводу, насколько важна пространственная среда для сосуществования этих инактивирующих антибиотиков сообществ. Пространственная среда имеет значение для сосуществования в моделях с парными взаимодействиями, когда разнообразие резистентных к антибиотикам микроорганизмов снижается при увеличении радиуса дисперсии. В противовес этому инактивирующие антибиотик сообщества поддерживают разнообразие при любом уровне дисперсии. Подавляющие антибиотик микроорганизмы ослабляют ингибирующее взаимодействие между двумя другими видами, что позволяет им устойчиво сосуществовать даже при наличии существенных различий в присущих видам темпах роста. Изученные типы экосистем также устойчивы к вредоносным микроорганизмам, они сопротивляются вторжению благодаря небольшому преимущественному росту колонии за счет инактивации или прекращения продуцирования антибиотиков. Для стабильного состояния необходимо, по крайней мере, два антибиотика, а большее количество антибиотиков делает возможной организацию более сложных микробных сообществ, допуская наличие разной динамики поведения, начиная от устойчивых неподвижных единиц до цикличности и хаоса. Результаты исследований подчеркивают важность продуцирования антибиотиков и их инактивирования для поддержания микробного биоразнообразия, а также раскрывают характер воздействия антибиотиков на экологическую стабильность в структурированных и смешанных микробных сообществах, что позволяет предположить перспективные стратегии инженерии синтетических экосистем.

*Е.М. Степанова*

## Глобальный экспорт углерода из наземной биосферы контролируется эрозией

Global carbon export from the terrestrial biosphere controlled by erosion. Valier Galy, Bernhard Peucker-Ehrenbrink, Timothy Eglinton. Nature. 2015. Vol. 521. No 7551. P. 204–207.

Речной вынос частиц органического углерода (particulate organic carbon, POC) является одним из важнейших процессов, приводящих, в конечном итоге, к эмиссии углерода в атмосферу. В масштабах геологического времени объем атмосферных резервуаров углерода и кислорода определяется двумя главными процессами – экспортом POC из наземной биосферы и окислением петрогенного (высвобождающегося в результате разрушения горных пород) органического углерода. На более коротких временных отрезках уровень атмосферного диоксида углерода контролируют вариации темпов обмена между такими резервуарами углерода, как почва и морские отложения. До сих пор нет полного понимания относительной роли биосферного и петрогенного углерода в общем потоке POC, а также – механизмов, определяющих объем экспорта назем-

ного органического углерода. А без этого понимания невозможно количественно оценить результаты климатических или тектонических изменений. На примере нескольких речных систем авторы проводят оценку биосферного и петрогенного потоков POC, выявляя при этом природную вариабельность параметров водосборов. Показано, что объем обоих потоков зависит от параметров осадочной взвеси, что подтверждает гипотезу о том, что главным фактором, контролирующим экспорт POC, является физическая эрозия. Используя глобальные обобщения данных по калибровке потоков осадочной взвеси, авторы рассчитали объемы биосферного и петрогенного потоков POC, составившие соответственно ~ 157 и ~ 43 мегатонн углерода в год. Было установлено, что экспорт биосферного POC первично контролируется способностью рек мобилизовывать и переносить частицы органического углерода, а его объем практически не связан с величиной первичной продуктивности наземного углерода. В глобальном масштабе темпы физической эрозии влияют больше на темпы осадения биосферного POC в морских осадках, чем на вынос терригенного углерода, высвобождающегося в процессе выветривания силикатных пород.

*В.В. Стрекопытов*

## Глобальная типология использования городской энергии и потенциальные возможности для смягчения последствий урбанизации

Global typology of urban energy use and potentials for an urbanization mitigation wedge. Felix Creutzig, Giovanni Baiocchi, Robert Bierkandt, Peter-Paul Pichler, and Karen C. Seto. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. P. 6283–6288

Городская инфраструктура потребляет огромное количество электрической энергии, требует высоких темпов строительства и развития транспортной системы, что приводит к значительному изменению климата в городах. Множество исследований уже было посвящено изучению потребления энергии в городах и связанных с этим процессом выбросом парниковых газов. Однако все эти работы касались отдельных городских агломераций. Авторы провели комплексный анализ трех глобальных баз данных и составили типологию потребления энергии в масштабе всей планеты. Всего в анализе участвовали данные по 274 городам. Согласно последнему докладу

Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), городские агломерации потребляют от 67 до 76% мировой электроэнергии и генерируют около 3/4 глобальных выбросов углерода. В ближайшие годы доля городских выбросов парниковых газов (ГВП), вероятно, только возрастет, поскольку в этом столетии ожидается увеличение численности городского населения по всему миру на 2,58 млрд человек. При таком прогнозе потребление энергии в городах вырастет более чем в три раза уже к 2050 г. (с 240 до 730 ЭДж). Авторы создали модель, которая показывает, что грамотная политика развития городской инфраструктуры и транспортной сети позволит снизить объемы потребления электроэнергии до 540 ЭДж. Тем не менее, эффективная политика по снижению ГВП отличается для городов различного типа. Результаты показывают, что для богатых и развитых городов повышение цен на бензин в сочетании с более компактной застройкой могут привести к экономии в использовании электроэнергии. Однако для городов развивающихся стран подобный подход вряд ли даст позитивный результат, так как компактная застройка вызовет еще большее увеличение плотности населения и последующий рост выбросов углекислого газа.

*В.В. Стрекопытов*

## Доминирующая роль полупустынных экосистем в определении тренда вариабельности наземного поглощения CO<sub>2</sub>

The dominant role of semi-arid ecosystems in the trend and variability of the land CO<sub>2</sub> sink. Anders Ahlström, Michael R. Raupach, Guy Schurgers, et al. Science. 2015. Vol. 348. No 6237. P. 895–899.

В течение всего постиндустриального периода на фоне общего роста содержания диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) в атмосфере наблюдаются значительные межгодовые колебания этого показателя, связанные, прежде всего, с вариабельностью поглощения CO<sub>2</sub> наземными экосистемами. Последние играют важную роль в регулировании глобального углеродного цикла, поглощая до 25% антропогенных выбросов углекислого газа. Подобный экосистемный сервис позволяет значительно снизить нагрузку климатических изменений, связанную с глобальным потеплением, устраняя дисбаланс между поглощением CO<sub>2</sub> при выработке массовой первичной продукции (gross primary production, GPP)

растениями в процессе фотосинтеза и высвобождением углерода в атмосферу при экосистемном дыхании, в результате природных пожаров и т.п. Однако, как влияют региональные экосистемы на вариабельность поглощения CO<sub>2</sub>, до конца не понятно. Используя методы экосистемного и ландшафтного моделирования, а также комплексные эмпирические данные по глобальной массовой первичной продуктивности, авторы показывают, что такие параметры, как медианное значение поглощения CO<sub>2</sub> наземными экосистемами, межгодовая вариабельность этого поглощения и ее общий тренд, определяются главным образом биогеографическими характеристиками каждого региона. При этом в глобальном масштабе медианное значение наземного поглощения CO<sub>2</sub> зависит, прежде всего, от высокопродуктивных экосистем влажных тропических лесов, а общий тренд и межгодовая вариабельность – от продуктивности полупустынных экосистем засушливых регионов, где баланс углерода напрямую связан с атмосферными циркуляциями и вариациями режимов температуры и осадкообразования.

*В.В. Стрекопытов*

## Выявление и разработка химикатов с минимальным кратковременным токсическим влиянием на водную среду

Identifying and designing chemicals with minimal acute aquatic toxicity. Jakub Kostal, Adelina Voutchkova-Kostal, Paul T. Anastas, Julie Beth Zimmerman. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. P. 6289–6294

Промышленная экология и зеленая химия являются двумя научными направлениями, на которых основывается концепция глобальной экологической устойчивости. В рамках этой концепции научное сообщество оценивает результаты естественных, технических и прикладных наук, а также такие крупные международные проекты как удовлетворение потребностей человека в продовольствии, сокращение масштабов голода и нищеты, сохранения жизнеспособности планеты. Промышленная экология, исследуя вещественные и энергетические потоки в системе человек–природа, добилась значительных успехов в оценке воздействия этих потоков на окружающую среду и здоровье человека. Потребность в более экологически устойчивых продуктах и процессах вызва-

ло развитие инструментов экологической оценки, таких как численный анализ потока вещества, оценка вреда химикатов на человека и окружающую среду, оценка жизненного цикла, а также разнообразные методы скрининга. Авторы исследования фокусируются на методах разработки синтетических химических веществ с точки зрения способности последних вызывать негативные последствия для биосферы. Достижения в области вычислительной химии и молекулярной токсикологии в последние десятилетия позволяют построить прогностические модели и вести на их основе разработку химикатов с пониженным потенциалом токсичности (технология молекулярного дизайна). Описанный в статье метод основывается на количественной оценке связи структура–активность, объединяя в себе токсикологический, химический и механистический подходы для выявления критических физико-химических свойств химических веществ, которым необходима модификация. Этот метод и его будущая реализация, как ожидается, даст мощные инструменты, которые позволят быстро определять критические точки в системе окружающая среда–человек и намечать модификации для минимизации экологических рисков.

*В.В. Стрекопытов*



## Оценка последствий загрязнения подземных вод, связанного с разработкой месторождения сланцевого газа Марцеллус

Evaluating a groundwater supply contamination incident attributed to Marcellus Shale gas development. Garth T. Llewellyn, Frank Dorman, J. L. Westland, D. Yoxtheimer, Paul Grieve, Todd Sowers, E. Humston-Fulmer, Susan L. Brantley. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. P. 6325–6330.

В грунтовых водах и питьевой воде на территории штата Пенсильвания (США) экологи обнаружили присутствие химикатов, используемых при разработке сланцевых месторождений нефти и газа. Данное открытие является крайне важным, так как впервые удалось показать, что химикаты проделали путь свыше 2 км от скважины сланцевого газа до артезианских скважин. Эти вещества содержались или в закачиваемой жидкости или в смазке для бурения и проникли в подземные воды, двигаясь через трещины в породах вместе с углеводородами. Изучив образцы грунтовых вод в окрестностях месторождения при помощи новейших методов газовой хроматографии и спектрометрии, авторы обнаружили свидетельства того, что используемые на территории штата способы добычи нефти и газа из сланцевых пластов являются небезопасными для экологии. Речь идет, прежде всего, о технологии гидроразрыва пласта, благодаря которой стала возможной разработка многих газосланцевых месторождений. Как отмечают исследователи, изученные ими скважины уже становились объектом внимания экологов, прокуратуры и прессы в 2010 и 2011 гг., когда в окрестностях скважин были зафиксированы следы утечек нефтепродуктов и технической жидкости. По решению суда эксплуатирующая компания перезалила артезианские колодцы и пообещала более

строго соблюдать экологические нормы, а также выкупила дома в загрязненном районе у местных жителей. Авторы решили проверить, как изменилась ситуация в последующие месяцы и годы, сравнив химический состав образцов технической воды, выкачиваемой из эксплуатационных скважин, с местными грунтовыми водами. Как показал химический анализ, несмотря на повторную герметизацию скважин, утечки не прекратились и образцы воды из артезианских колодцев содержали в себе большое количество гликолей и 2-бутоксизтанола (2-БЕ) – органических соединений, используемых при бурении и разрыве пластов. Также выяснилось, что вода в окрестностях сланцевых скважин загрязнена еще и аммиаком и соединениями йода. Помимо этих веществ, авторы зафиксировали присутствие метана и других углеводородов в воде даже на расстоянии 2-3 км от скважин. Данный факт, как полагают ученые, говорит о том, что метан и техническая жидкость могут проникать во внешнюю среду не у поверхности, а на большой глубине под землей. Как отмечают авторы статьи, собранные ими данные должны дать достаточные основания для регулирующих органов штата начать массовые проверки среди добывающих компаний на предмет утечек технической жидкости. По их словам, чиновники знали об этих утечках, но не могли доказать, что их источником являются скважины, теперь же у них появится возможность подтвердить наличие такой связи. Это далеко не первое подобное открытие. За последние два года сразу несколько групп экологов обнаружили следы утечек углеводородов из скважин сланцевого газа и указали их возможную причину – неправильную цементацию скважин и грубые ошибки при их проектировании. Данная статья является первым задокументированным подробным описанием вреда, наносимого грунтовыми водам добычей сланцевого газа.

*В.В. Стрекопытов*

## Изотопный состав лунного вольфрама подтверждает гипотезу «позднего покрытия»

Lunar tungsten isotopic evidence for the late veneer. Thomas S. Kruijer, Thorsten Kleine, Mario Fischer-Gödde, Peter Sprung. Nature. 2015. Vol. 520. No 7548. P. 534–537.

В соответствии с общепринятой теорией, Луна образовалась в результате столкновения Земли с каким-то крупным протопланетным телом (модель ударного формирования Луны или теория «гигантского столкновения»). Это импактное событие послужило причиной не только появления у Земли спутника, но и окончательного становления ее ядра, в которое из первичной силикатной мантии переместились сидерофильные элементы. Но, в таком случае, содержания сидерофильных элементов в верхних слоях Земли должны сейчас быть существенно ниже, чем наблюдаемые на самом деле. Для объяснения этого несоответствия была предложена гипотеза «позднего покрытия» (late veneer), утверждающая, что уже после того как ядро было сформировано, к валовому силикатному составу Земли добавился космический (метеоритный) материал, содержащий сидерофильные элементы. Для проверки этой гипотезы авторы предложили использовать анализ изотопного состава вольфрама Земли и Луны, прежде всего, используя для этого данные по  $^{182}\text{W}$  – относительно редкому изотопу, который образовался в ранней Солнечной системе в результате распада атомов  $^{182}\text{Hf}$ . Короткоживущая система изотопов  $^{182}\text{Hf}$ – $^{182}\text{W}$  с периодом полураспада 8,9 млн лет является удобным инструментом для изучения процесса разделения вещества между Землей и Луной, так как она была в разной степени чувствительна к метало-силикатному равновесию в период образования ядра Земли,

к перемешиванию вещества при «гигантском столкновении», а также к поздней аккреции метеоритного материала, добавлявшегося к силикатной мантии Земли уже после «гигантского столкновения» в ходе «позднего покрытия». С одной стороны, материал «позднего покрытия» должен был иметь другое соотношение  $^{182}\text{W}/^{184}\text{W}$  по сравнению с валовым силикатным расплавом, из которого состояла первичная мантия Земли, а с другой, при столкновении с протопланетным телом Земля должна была получить в пропорциональном отношении больше материала планеты-импактора, чем Луна. То есть, если гипотеза «позднего покрытия» верна, у Земли и Луны должны быть разные изотопные отношения  $^{182}\text{W}/^{184}\text{W}$ . Более того, импактное событие, приведшее к образованию спутника Земли, если бы оно действительно имело место, обусловило бы разницу в содержаниях изотопа  $^{182}\text{W}$ , так как материал мантии и ядра импактора с различными значениями  $^{182}\text{W}/^{184}\text{W}$  перемешался бы с материалом прото-Земли в момент «гигантского столкновения». Результаты высокоточных замеров показывают, что содержания  $^{182}\text{W}$  в составе Луны на  $27 \pm 4$  ppm выше, чем в сегодняшней силикатной части Земли. Эти данные служат независимым свидетельством того, что обогащение верхних силикатных слоев Земли сидерофильными элементами произошло уже после «гигантского столкновения» и окончательного формирования ядра, подтверждая таким образом гипотезу «позднего покрытия». Неожиданным оказалось другое: выяснилось, что до «позднего покрытия» отсутствовали различия в распределении  $^{182}\text{W}$  между Землей и Луной, а аномалии возникли в процессе «гигантского столкновения». Гомогенность  $^{182}\text{W}$  в ранней системе Земля–Луна является пока необъяснимым фактом, заставляющим критически взглянуть на современные теории образования Луны.

*В.В. Стрекопытов*

## О роли биотических взаимодействий в формировании обратной связи между почвенными микроорганизмами и изменением климата

Biotic interactions mediate soil microbial feedbacks to climate change. Thomas W. Crowther, Stephen M. Thomas, Daniel S. Maynard, Petr Baldrian, Kristofer Covey, Serita D. Frey, Linda T. A. van Diepen, Mark A. Bradford. PNAS. 2015. Vol. 112. No22. P. 7033–7038.

Разложение органического материала почвенными микроорганизмами создает выброс углерода в атмосферу, в разы превышающий выбросы антропогенного происхождения. Этот процесс чувствителен к факторам глобального изменения климата, что может порождать климатические обратные связи между ним и круговоротом углерода, потенциально служа росту атмосферного потепления. До сих пор в исследованиях климатических обратных связей регуляторные эффекты межвидовых взаимоотношений рассматривались редко. В работе описана методика, позволяющая смоделировать и параллельно пронаблюдать как совместное, так и раздельное влияние отдельных факторов, для чего была проведена биотическая обработка почвы, состоявшая в ее выборочном контролируемом

заселении представителями биоты, относящимися к различным классам. При комбинировании факторов глобального изменения климата произошло ослабление иерархически восходящих ограничений роста грибов, что стимулировало скорость производства ферментов и интенсивность разложения в отсутствие обитающих в почве животных. Тем не менее, увеличение грибковой биомассы также явилось стимулятором интенсивности потребления ее почвенными беспозвоночными, в результате чего интенсивность производимой микроорганизмами обработки восстановилась до уровней, наблюдавшихся в условиях окружающей среды. Показано, как трофические взаимоотношения в почве могут регулировать отклики на уровне экосистем на глобальное изменение климата, даже внутри пищевой сети с очень сложной организацией. Полученные результаты подтверждают современную теорию, согласно которой иерархически нисходящая регуляция в почвенных пищевых сетях является очевидной только при отсутствии иерархически восходящего ограничения. Когда факторы глобального изменения ослабляют иерархически восходящие ограничения деятельности микроорганизмов, существует вероятность того, что все более важную роль начнет играть иерархически нисходящая регуляция, способная снизить силу положительной обратной связи для круговорота углерода.

Д.Ю. Драгункин

## Флуктуации численности популяций удерживаются на грани хаоса циклической сукцессией

Species fluctuations sustained by a cyclic succession at the edge of chaos. Elisa Benincà, Bill Ballantine, Stephen P. Ellner, Jef Huisman. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. P. 6389–6394.

Довольно давно было предсказано, что в многовидовых сообществах может возникать хаотическая динамика популяций. Однако не было известно достоверных примеров из-за трудности математического доказательства хаотического характера процессов. Авторам удалось выявить хаотический характер циклической сукцессии сообществ каменистой приливно-отливной зоны на Северном острове Новой Зеландии. Двадцатилетние наблюдения за тремя видами показали, что эта экосистема находится «на грани хаоса» – время от времени динамика численностей популяций этих видов меняется со стабилизирующейся на хаотическую. Сукцессией называют воспроизводимый процесс смены сообществ, где одно в буквальном смысле готовит почву для другого. Обычно сукцессии линейны – от пионерных (начальных) стадий, через сериальные (промежуточные), к климаксовой (финальной). Климаксовое сообщество отличается тем, что способно устойчиво воспроизводиться. Но в некоторых случаях климаксовое сообщество неустойчиво и вновь сменяется пионерным, тем самым возвращая экосистему в начало процесса. В таком случае говорят о циклической сукцессии. Подобная ситуация наблюдается и на камнях изученной приливно-отливной зоны. Голые камни массово заселяются усоногими ракообразными *Chamaesipho columna* (морскими уточками). Поверх морских уто-

чек нарастают корковые бурые водоросли *Ralfsia cf. confusa*. На водорослях поселяются мидии *Xenostrobus pulex*, неспособные колонизировать голые камни. Не выдерживая пресса мидий, *S. columna* погибают. Умершие ракообразные и водоросли открепляются от субстрата и уносятся приливами и отливами, а вместе с ними – и мидии. В итоге система опять возвращается к состоянию голых камней, с которого начинается каждый новый цикл сукцессии. Однако обнаружилось, что продолжительность циклов и колебания (флуктуации) видового состава сообщества весьма нерегулярны и приближены к хаотическим. Авторы исследования оценили показатели Ляпунова (ПЛ), характеризующие скорости сближения или удаления двух близких фазовых траекторий. Наличие положительных значений ПЛ говорит о том, что исходно малая разница между траекториями со временем экспоненциально нарастает и траектории расходятся – это является признаком хаотического поведения; отрицательные же, наоборот, говорят о том, что существующие различия со временем сглаживаются, а траектории сближаются. Глобальный ПЛ, оцененный по всем 20 годам наблюдений, оказался положительным (+1,1 в год), однако его отличие от нуля не так велико. Локальные ПЛ, оцененные по периодам в 180 дней, колебались значительно, часто оказываясь существенно выше нуля. Впрочем, сообщество не демонстрирует настоящий хаос: система время от времени переключается с хаотического режима на стабилизирующийся и обратно. Биологические системы, находящиеся, подобно этой, «на грани хаоса», были известны и ранее, но никогда они не относились к многовидовым сообществам. Еще одним важным наблюдением является то, что к хаотическому поведению экосистему подталкивает закономерное внешнее воздействие, а не случайный шум или нерегулярные катастрофические воздействия.

В.В. Стрекопытов

## Дополнительная подкормка нарушает структуру сообществ городских птиц

Supplementary feeding restructures urban bird communities. Josie A. Galbraith, Jacqueline R. Beggs, Darryl N. Jones, Margaret C. Stanley. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. E2648–E2657.

Доступность питания является важнейшим фактором регуляции птичьих популяций. Тем не менее, до сих пор никто не пытался оценить последствия длительного глобального «эксперимента» по подкормке диких птиц, проводимого человеком. Авторы, используя *in situ* подход, в течение 18 месяцев наблюдали за 23 садами на задних дворах жилых домов в Окленде (Новая Зеландия). В 11 из таких садов были оборудованы кормушки, ежедневно наполняемые хлебом и семенами. Режим кормления примерно соответствовал сложившейся в данной местности традиции. В общей сложности было задокументировано 597 сеансов наблюдений, во время которых удалось увидеть 18 тыс. птиц 33 различных видов. Ежемесячно проводился сравнительный анализ видового разнообразия сообществ и плотности представленности каждого вида в садах с кормушками и без них. Авторы установили, что кормушки для птиц хоть и могут помочь диким птицам с пропитанием, но одновременно с этим нарушают естественный баланс видов. Оказалось, что кормушки привлекают в первую очередь инвазивные виды агрессивных всеядных птиц, например, домовых воробьев (*Passer domesticus*), голубей, пятнистых горлиц (*Streptopelia chinensis*), а также черных дроздов (*Turdus merula*) и саранчовых скворцов (*Acridotheres tristis*). Во время кормления сады с кормушками привлекали в 2,4 раза больше домовых воробьев

и в 3,6 раза больше пятнистых горлиц, по сравнению с садами, в которых кормушек не было. Оба вида являются инвазивными, то есть распространившимися в результате деятельности человека и угрожающими природному биоразнообразию. Как правило, эти птицы быстро слетаются к кормушке, когда там появляется еда, и семена и хлеб исчезают максимум за 2 часа. К тому же в садах с кормушками после этого редко появлялись местные виды вроде серой камышовки (*Gerygone igata*), даже несмотря на то, что ее рацион состоит в основном из насекомых. Как правило, агрессивные инвазивные виды вытесняют тех пернатых, которые питаются фруктами, цветочным нектаром и насекомыми. Негативный тренд был зафиксирован по всем 5 главным видам местных садовых птиц. Кормушки для птиц широко распространены в Европе, США, Австралии и России. В одной лишь Новой Зеландии около 265 тыс. частных домов оснащены кормушками. По статистике около 70% американцев подкармливают птиц, ежегодно вкладывая в корм большие суммы. Авторы подчеркивают, что они не призывают запрещать кормушки, которые действительно могут быть очень важны не только для голодных птиц, но и для прожорливых в городской среде людей, так как обеспечивают им экологическую связь с природой. Однако следует поощрять разнообразные виды птиц: для многих из них большое значение имеет создание чистых садов, посадка новых деревьев и обеспечение доступных источников воды. Также люди, которые обустроивают в своих дворах кормушки, должны постоянно и тщательно их чистить, так как в противном случае они могут способствовать распространению среди птиц таких заболеваний, как сальмонеллез, трихомоноз, аспергиллез и птичья оспа.

*В.В. Стрекопытов*

## Климатические диполи управляют нашествиями североамериканских птиц

Climatic dipoles drive two principal modes of North American boreal bird irruption. Courtenay Strong, Benjamin Zuckerman, Julio L. Betancourt, Walter D. Koenig. PNAS. 2015. Vol. 112. No 21. E2795–E2802.

Миграция птиц – одно из наиболее изученных явлений природы. Расчет периодичности миграции и климатических факторов важен для оценки уязвимости видов перед изменениями климата. Особенно восприимчивы к климату факультативные мигранты, чье миграционное поведение следует за колебаниями погодных условий и других факторов, в отличие от облигатных мигрантов, для которых сроки, направление и расстояние сезонной миграции в целом постоянны из года в год. Сосновый чиж (*Spinus pinus*) – обыкновенный представитель североамериканских птиц, питающихся семенами. В некоторые годы этот вид зимует в северных хвойных лесах, где он обитает, а в другие годы – мигрирует ближе к южным регионам на сотни и тысячи километров от дома. Сосновый чиж может отсутствовать по всему североамериканскому региону на протяжении целого года, а затем появляться в очень больших количествах. Такие нашествия, как полагают, управляются адаптационными механизмами и происходят от нестабильного широко-синхронизированного продуцирования семян в плодородные годы, и, наоборот, скудной выработки зерна хвойных в неурожайные годы. Считается, что плодородность многолетних растений в лесах высоких широт зависит главным образом от непрерывного благоприятного климата на протяжении предыдущих 2-3 лет, что необходимо для иницирования и созревания зерна у большинства хвойных пород. Продуцирование семян является затратным для деревьев, поэтому значи-

тельно снижается в годы, следующие за обильным производством, что побуждает северные виды птиц к поиску пищи за пределами места обитания. Это исследование, первое в своем роде, показывает то, как изменчивость климата управляет нашествиями североамериканских птиц, питающихся семенами. Анализ более чем 2 млн популяции сосновых чижей в рамках проекта FeederWatch и гражданской научной программы, показал две принципиальные модели нашествия, которые коррелируют с климатическими изменениями. Паттерны перелетного нашествия сосновых чижей проявляются в двух режимах (Север-Юг и Запад-Восток), в которых климатические диполи стимулируют и тормозят динамику нашествий на континент, как в рамках двухгодичной, так и – десятилетней периодичности. Климатические диполи могут быть заданы путем кластеризации пространственно-временных данных, таких как климатические аномалии противоположной полярности, проявляющиеся в двух разных местах одновременно. Климатические диполи включают в себя неблагоприятные и благоприятные сезонные условия, управляющие многими облигатными (сезонными) миграциями, и влияют на динамику факультативной миграции. Почти половина всех североамериканских птиц гнездятся в северных лесах, поэтому связь периодичности перелетных нашествий с климатом отражает влияния климатических изменений на биоту Северной Америки. Изменение климата может влиять на величину, периодичность, синхронность или ориентацию паттернов нашествия. Данное исследование подчеркивает значение устойчивых, синоптико-биологических наблюдений в изучении пространственно-временных масштабов климатических явлений, что открывает новые горизонты исследования роли климатических диполей в других крупномасштабных экологических процессах.

*Е.М. Степанова*

**Вклад кондиционирования воздуха в будущее потребление энергии на фоне глобального потепления**

Contribution of air conditioning adoption to future energy use under global warming. Lucas W. Davis, Paul J. Gertler. PNAS. 2015. Vol. 112. No 19. P. 5962–5967.

Две независимые друг от друга глобальные тенденции – рост доходов домохозяйств по всему миру и общее потепление климата – могут уже в ближайшее время привести к резкому увеличению объемов кондиционирования воздуха в мировом масштабе, и особенно в развивающихся странах с теплым климатом. Однако прогнозная оценка последствий этого процесса для экологии на сегодняшний день отсутствует. Авторы собрали прямые эмпирические данные по всей территории Мексики, позволяющие построить цифровую модель, увязывающую между собой параметры среднегодовой температуры воздуха, доходов домохозяйств и

объемов кондиционирования воздуха. В работе также приводится оценка того, как будет меняться потребление электроэнергии и как повлияет рост доходов и потепление климата на принятие решения о покупке кондиционера. Даже при самых осторожных прогнозах в странах с теплым климатом в ближайшие десятилетия, скорее всего, ожидается существенный рост объемов кондиционирования воздуха. При этом главным фактором, влияющим на принятие решения о покупке кондиционера, будет рост доходов домохозяйств. Насколько данная тенденция повлияет на рост потребления электроэнергии и выбросы углекислого газа, будет во многом зависеть от темпов мирового технологического развития. Существенную роль здесь могут сыграть эффективность использования электроэнергии и появление новых технологий охлаждения воздуха. Нельзя забывать и о развитии так называемой низкоуглеродной энергетики. В любом случае, пример моделирования, приведенный в статье, заставляет обратить внимание на наличие обратной связи между глобальным потеплением и процессами кондиционирования воздуха.

*В.В. Стрекопытов*



# Антропология и история

## Каменные орудия труда возрастом 3,3 млн лет из Ломекви 3, западная Туркана, Кения

3.3-million-year-old stone tools from Lomekwi 3, West Turkana, Kenya. Sonia Harmand, Jason E. Lewis, Craig S. Feibel, et al. Nature. 2015. Vol. 521. No 7552. P. 310–315.

В статье сообщается об обнаружении древнейших в мире каменных орудий труда. Орудия были обнаружены на западном берегу озера Туркана в Кении. Их возраст оценивается в 3,3 млн лет, а это означает, что они примерно на 700 тыс. лет старше, чем ранее обнаруженные инструменты, изготовленные самыми древними представителями рода Номо (олдувайская культура). Первые артефакты на месте раскопок Ломекви 3 (Lomekwi 3) были обнаружены в 2011 г. К концу 2012 г. в общей сложности было поднято 149 инструментов, а во время экспедиции 2014 г. – еще больше. Последовательность слоев в этом местонахождении относительно четкая и легко датируется по слоям вулканогенных пород. Процедура датирования осуществлялась по сопоставлению слоев вулкаников с эталонными разрезами вулканических туфов. В качестве проверки использовался метод сопоставления магнитной полярности маркирующих слоев. Ну и, наконец, была рассчитана скорость накопления осадков в конкретном слое с орудиями: последнее позволило более точно установить возраст отложений. Среди находок были острые рубила из камня, а также нуклеусы – кремневые ядра, от которых явно откалывали пластины для изготовления орудий, и даже несколько пластин, отколотых от этих конкретных ядер. Также среди находок присутствовали такие предметы, как обработанная галька, заостренные камни, камни в форме молота, а также булыжники, которые, по всей видимости, использовались как подставки для обработки других камней. Некоторые из

инструментов были значительных размеров. Все эти орудия труда более примитивны, чем артефакты олдувайской культуры, но они являются ярким свидетельством того, что изготовившие их предки людей уже обладали способностями, необходимыми для обработки камня. Изучив камни с помощью лазера, ученые даже смогли определить, что их создатели не просто били одним камнем по другому, а поворачивали его, обрабатывая с разных сторон. Орудия условно разделили на три «технологические» группы: изготовленные с помощью ударов камней друг о друга, с помощью удара заготовкой по неподвижной твердой поверхности и с помощью каменно-го отбойника, которым ударяли по заготовке, неподвижно лежащей на наковальне. Здесь же были найдены и наковальни, роль которых выполняли огромные плоские камни весом до 15 кг. Судя по форме сколов, присутствию ударных бугорков на поверхностях, специфических выбоин, появляющихся на камнях при направленном ударе, нет никаких сомнений, что собранные каменные орудия изготовлены руками представителей подсемейства гоминин. До сих пор было распространено мнение, что орудиями труда начал пользоваться только человек умелый (*Homo habilis*). Однако здесь речь идет, несомненно, о более ранних предках *Homo*. Возможно, каменные орудия принадлежали представителям древних видов протолюдей, таких как австралопитек афарский (*Australopithecus afarensis*) или кениантроп (*Kenyanthropus platyops*). Ни один из этих видов не считался особенно умным: оба они сочетали в себе черты человека и обезьяны, к тому же обладали небольшим мозгом. Однако находка позволила предположить, что на деле эти протолюди были умнее, чем принято считать, и обладали достаточно развитыми когнитивными и манипулятивными способностями.

V.B. Стрекопытов

## Возникновение и упадок Кахокии совпадает со сменой режима повторяемости паводков реки Миссисипи

Cahokia's emergence and decline coincided with shifts of flood frequency on the Mississippi River. Samuel E. Munoz, Kristine E. Gruley, Ashtin Massie, David A. Fike, Sissel Schroeder, John W. Williams. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. P. 6319–6324.

Кахокия – крупнейшее поселение североамериканских индейцев VII–XII вв., расположенное в шт. Иллинойс (США) на берегу реки Миссисипи. В период расцвета этот город занимал 16 км<sup>2</sup>, а его население составляло примерно 20–40 тыс. человек. Вблизи города индейцы выращивали зерновые культуры, в том числе кукурузу, подсолнечник, ячмень. Город окружали более 200 курганов, некоторые из которых сохранились и по сей день. Для долины Миссисипи характерно большое число рукавов и озер разного размера, возникших в результате разливов реки. Современная инфраструктура позволила снизить масштаб этих разливов, поэтому известно достаточно много озер, образованных водами Миссисипи, но в какой-то момент отрезанных от основного русла. В двух таких озерах авторы изучили придонные отложения, в которых на фоне основной породы присутствовали прослойки иного происхождения, обычно образующиеся в результате разлива крупных рек. Оказалось, что озеро Horseshoe Lake пережило 8 масштабных разливов, а более молодое Grassy Lake – 5. На основании этих данных была установлена точная периодичность наводнений в долине Миссисипи за последние 1800 лет. Радиоуглеродное датирование показало, что 5 поздних разливов в обоих озерах совпадают по времени, причем последнее из

них произошло в 1870–1880 гг. В исторических хрониках района упоминается крупное наводнение 1844 года. Все это подтверждает гипотезу о том, что прослойки в донных отложениях озер долины Миссисипи несут информацию о крупных разливах реки. На основании полного анализа всех 8 прослоек авторы выяснили, что долина Миссисипи пережила два периода частых разливов: с 300 по 600 гг. и с 1200 по 1850 гг. При этом между ними было достаточно спокойное время, не отмеченное наводнениями. По археологическим данным пик развития Кахокии приходится примерно на 1050 г., а резкий спад – на конец XII века. О жизни и культуре Кахокии известно не так много, так как поселение было заброшено еще в доколумбовые времена. Археологам удалось обнаружить на его месте большое число курганов, которые говорят о масштабе и уровне культуры местных жителей. Однако однозначной версии о причинах гибели Кахокии до сих пор не существуют. Многочисленные варианты включают засухи, истребление дичи, истощение почвы и ряд других. Версия о наводнениях также была высказана, но до последнего времени не имелось достаточных доказательств в ее защиту. Новые данные позволяют по-новому взглянуть на судьбу древнего города. Очевидно, поселение возникло в период, характеризующийся пониженной частотой паводков и повышенной засушливостью, фиксируемый для всей внутриконтинентальной части Северной Америки, а крупное наводнение около 1200 г. могло послужить причиной упадка Кахокии. Оно должно было уничтожить большинство пастбищ и запасов урожая, а также вытеснить жителей в более высокие и безопасные районы. Авторы делают вывод о том, что, аналогично Кахокии, смена режима повторяемости паводков могла стать причиной расцвета и упадка и других ранних сельскохозяйственных обществ.

V.B. Стрекопытов

# Биология

## Систематическая гуманизация генов дрожжей выявила сохранные функции и генетическую модульность

Systematic humanization of yeast genes reveals conserved functions and genetic modularity. Aashiq H. Kachroo, Jon M. Laurent, Christopher M. Yellman, Austin G. Meyer, Claus O. Wilke, Edward M. Marcotte. *Science*. 2015. Vol. 348. No 6237. P. 921–925.

Для большинства генов любого организма (70–80%) можно найти ортологи – гены с тем же происхождением. При этом гены-ортологи у разных организмов могут выполнять различные функции. Тем не менее, функция ортологичных генов чаще все-таки остается прежней, потому что гены, особенно активно работающие, меняются медленнее некодирующих последовательностей. Авторы работы решили проверить, насколько непохожими могут стать ортологичные гены за миллиарды лет после их отделения от общего предка. Для этого они выбрали 469 ортологичных генов, которые присутствовали у дрожжей и у человека (и притом, в единственной копии), и проверили, какие из человеческих генов, спустя миллиард лет после их разделения, все еще функционально подходят для дрожжей. Сначала для каждого из выбранных генов получали штамм дрожжей, у которых этот ген был выключен или даже полностью удален. В полученные штаммы вводили специальные дрожжевые плазмиды с соответствующим геном человека, который либо постоянно работал, либо мог включаться при добавлении определенного вещества. В ряде случаев экспрессию человеческого гена приходилось корректировать, чтобы соответствующий белок не накапливался в токсичных количествах. В итоге почти половину из отключенных или удаленных генов

дрожжей удалось заменить человеческими гомологами. Также интересно было узнать, что общего у тех генов человека и дрожжей, которые остались заменяемыми. Ученые оценили 104 характеристики, которые могли повлиять на способность генов заменять друг друга. В их числе были: сходство последовательностей, накопление РНК и белка и их размер, скорости транскрипции и трансляции и многие другие параметры. Неожиданным стало то, что заменимость генов нельзя было предсказать по уровню экспрессии. Можно было бы ожидать, что чем сильнее экспрессируется ген, тем с большей вероятностью он сможет заменить ортологичный ген представителя другого вида, но в общем случае такая закономерность не соблюдалась. Результаты работы показали, что почти половину (47%) генов дрожжей действительно можно свободно заменить человеческими: они продолжили выполнять свои функции без ущерба для работы организма. Таким образом, удалось доказать, что гены, вовлеченные в осуществление одних и тех же задач, могут остаться практически неизменными на протяжении миллиардов лет эволюции и пройти через процессы генетического дрейфа и альтернативного сплайсинга, сохранив свою структуру и функции. Помимо фундаментального интереса, работа дала и важные практические результаты. На дрожжах, как на одноклеточных организмах, которые быстро размножаются, удобно ставить эксперименты. Однако результаты таких исследований трудно экстраполировать на биологию человека. Судя по полученным данным, теоретически возможно получить штаммы дрожжей с целыми метаболическими путями, состоящими из человеческих ферментов. После такой «гуманизации» дрожжей на них будет удобно исследовать человеческие белки, а также тестировать потенциальные лекарства.

*В.В. Стрекопытов*

## Темп и модальность ультразвуковых сигналов, вырабатываемых различными линиями бражников для подавления эхолокации летучих мышей

Tempo and mode of antibat ultrasound production and sonar jamming in the diverse hawkmoth radiation. Akito Y. Kawahara, Jesse R. Barber. *PNAS*. 2015. Vol. 112. No 20. P. 6407–6412.

Генерация ультразвуковых сигналов является одной из самых изощренных стратегий защиты ночных насекомых от хищников. При этом никогда ранее эта их способность не изучалась с позиции филогенетического подхода. Авторы провели масштабное исследование, чтобы выяснить, как бабочки из семейства бражников (*Sphingidae*) научились спасаться от охотящихся на них летучих мышей. Для обнаружения добычи летучая мышь использует ультразвуковую эхолокацию. Бражники также обладают способностью издавать ультразвук, который дезориентирует летучих мышей и позволяет

бабочкам ускользнуть от хищника. Для своего исследования ученые собрали бабочек-бражников в 70 точках 32 стран мира. Около 700 бабочек использовались в лабораторных экспериментах. Всего был изучен механизм генерации ультразвука у 124 видов бражников. Как оказалось, у половины из них ультразвуковые волны производятся при помощи гениталей. Используя данные палеонтологии, в первую очередь, экземпляры бражников, сохранившиеся в янтаре, ученые построили приблизительное эволюционное древо этого семейства. Они установили, что первый бражник, способный издавать ультразвук, вероятно, появился в конце олигоцена, около 26 млн лет назад. Построенное филогенетическое древо позволило увидеть, что способность к ультразвуковому подавлению эхолокации возникало у бражников в течение миоцена дважды: оба раза – после очередного всплеска радиации насекомоядных летучих мышей. А вот бабочки из семейства медведиц (*Arctiidae*) оказались не родственны бражникам. Они также способны производить ультразвук для защиты от летучих мышей, но используют для этого особую мембрану, расположенную на груди.

*В.В. Стрекопытов*

## Обнаружение светящихся многоножек в Калифорнии и последовательная эволюция биолюминесценции у двупарноногих

Discovery of a glowing millipede in California and the gradual evolution of bioluminescence in Diplopoda. Paul E. Marek, Wendy Moore. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. P. 6419–6424.

Загадочная двупарноногая многоножка *Xystocheir bistipita* была открыта полвека назад и с тех пор не встречалась энтомологам. Недавно она была обнаружена снова в предгорьях Сан-Луис-Обиспо, шт. Калифорния (США). И в этот раз выяснилось, что насекомое обладает биолюминесценцией – способностью светиться в темноте. При свете дня оно выглядит светло-коричневым, в темноте испускает слабое зеленоватое свечение. В горах Вирджинии двупарноногие многоножки окрашены в яркие цвета – желтый и черный, что является предупреждением для хищников о том, что этих насекомых лучше не трогать. Однако изначально биолюминесценция у многоножек, вероятнее всего, развилась не как способ предупреждения об опасности. Авторы считают, что свечение помогало им выживать в жаркой сухой среде. Понять и проследить эволюционные истоки биолюминесценции крайне сложно, так как эта особенность начала формироваться миллионы лет назад и сегодня имеет мало общего с формой, характерной для предков двупарноногих (Diplopoda). Обнаруженное насекомое достаточно невелико (если сравнивать с другими многоножками, обитающими на более низких высотах). Раньше его не причисляли к роду светящихся многоножек *Motyxia*, распространенному в западном полушарии. Однако секвенирование ДНК показало обратное, и название существа было изменено на *Motyxia bistipita*. Секвенирование также помогло найти место

обнаруженных многоножек на эволюционном древе других биолюминесцентных видов рода *Motyxia*. *M. bistipita* оказалась самой бледной и наименее ядовитой из них. Другие представители *Motyxia* – *M. sequoiae*, которые живут гораздо выше, в калифорнийских горах Сьерра-Невада, светятся ярче, а для их свечения характерна градация от тусклого до яркого. Авторы измеряли свечение многоножек фотографически в темной комнате, а также их токсичность – путем замеров объема цианидовых желез. Как оказалось, чем больше цианидовые железы, тем ярче светится насекомое: это указывает на функциональную связь между интенсивностью люминесценции и токсичностью, что в свою очередь доказывает, что у свечения есть и предупреждающая функция. В отличие от светлячков, которые светятся из-за ферментативной реакции между люциферазой и люциферинном, *M. bistipita* обязана своему мягкому зеленовато-голубому свечению реакции фотобелка с участием магния. Структура фотопротеина многоножек пока не установлена, известно, что он содержит порфирина и его молекулярная масса составляет около 104 тыс. углеродных единиц. Авторы считают, что процесс свечения изначально использовался организмом многоножки, чтобы помочь ей справиться с окислительным стрессом во время жизни в низинных и сухих условиях. Затем биолюминесценция стала также частью жизни многоножек, живущих на больших высотах. Тогда она преобразовалась в предупреждающий сигнал, так как этим существам приходится сталкиваться с большим количеством хищников. Таким образом, слабое свечение низинной многоножки является эволюционно древней чертой, а более яркое свечение ее горных родственников – результатом дальнейшего развития этой способности. Благодаря открытию *M. bistipita* стало известно, что эволюционная роль биолюминесценции могла быть совершенно иной, нежели ее современная функция.

*В.В. Стрекопытов*

## Малые молекулы, меняющие детерминацию клеток в 16–клеточном эмбрионе, определены с помощью масс-спектрометрии единичных клеток

Single-cell mass spectrometry reveals small molecules that affect cell fates in the 16-cell embryo. Rosemary M. Onjiko, Sally A. Moody, Peter Nemes. PNAS. 2015. Vol. 112. No 21. P. 6545–6550.

Пространственные и временные изменения молекулярной экспрессии необходимы для эмбрионального развития. Определение их характеристик крайне важно для понимания механизмов, с помощью которых клетка приобретает тот или иной фенотип. Несмотря на то, что технологический прогресс сделал возможным оценивать уровень экспрессии больших молекул в течение эмбриогенеза, доступно лишь малое количество информации о метаболитах, неоспоримых показателях физиологической активности клеток. В статье описано, как метод капиллярного электрофореза, совмещенный с масс-спектрометрией с ионизацией распылением в электрическом поле, проводимый на единичных клетках, спо-

обен показать, влияет ли дифференциальная экспрессия генома на состав метаболитов внутри отдельной эмбриональной клетки. 16–клеточные эмбрионы южноафриканской шпорцевой лягушки (*Xenopus laevis*) были использованы при диссекции трех различных типов клеток с разной тканевой детерминацией. Микроэкстракция их метаболомов позволила определить 40 продуктов обмена веществ, которые связывают сопряженные центральные метаболические пути. Относительный количественный анализ показал, что в интактных эмбрионах дикого типа активность некоторых из продуктов обмена веществ отличалась в разных типах клеток. Изменяя цитоплазматические потоки, которые нарушают дорсальное развитие, было показано, что в этих трех видах клеток присутствует типичная активность малых молекул уже на стадии дробления, как признак клеточного типа, которая не связана с различиями в пигментации, составом дейтоплазмы, размером клеток или их положением в эмбрионе. Перемены концентрации метаболита приводили к изменению миграции клеток в гастрюляции, что также меняло детерминацию этих клеток. Это указывает на определенное воздействие метаболома на фенотип клеток в эмбрионе.

*А.Э. Ходосевич*

## Размер тела влияет на эволюцию глазчатых пятен у гусениц

Body size affects the evolution of eyespots in caterpillars. Thomas John Hossie, John Skelhorn, Jesse W. Breinholt, Akito Y. Kawahara, Thomas N. Sherratt. PNAS. 2015. Vol. 112. No 21. P. 6664–6669.

Хищничество является одним из ведущих фактором естественного отбора, воздействующим на фенотипы особей-жертв, и поэтому многочисленные признаки у животных эволюционировали, чтобы уменьшить вероятность обнаружения и нападения потенциальных хищников. Многие гусеницы и бабочки имеют приметные глазу отметины в виде кругов, называемых глазчатые пятна или «глазки». «Глазки» являются широко распространенной формой защиты от хищников, и уже давно захватили воображение биологов-эволюционистов, генетиков, психологов, художников. Несмотря на недавние работы, демонстрирующие эффективность глазчатых пятен в сдерживании нападения хищников, фундаментальный вопрос остается: если глазки эффективны в качестве защиты от хищников, то почему они в процессе эволюции не появились у большинства гусениц бражника, авторы статьи показали, что наличие глазчатых пятен связано с большими размерами тела. Авторы полагают, что эта связь могла возникнуть, потому что, во-первых, крупную добычу лучше видно; во-вторых, охота на крупную добычу является более выгодной, и таким образом, отбор был интенсивнее при таком способе защиты; и/или в-третьих, «глазки» более эффективны на добыче крупных размеров. Чтобы оценить эти гипотезы, авторы статьи предъявляли хищным птицам в природных ус-

ловиях (Онтарио, Канада) модели маленьких и больших гусениц с «глазками» и без «глазков», используя двухфакторное планирование эксперимента по схеме 2 × 2. В целом, глазчатые пятна увеличили смертность добычи, но эффект был особенно заметным в случае мелкой добычи, кроме того, «глазки» снижали смертность крупной добычи. Затем искусственную добычу предъявляли наивным трехдневным домашним цыплятам в лабораторных условиях, используя схему эксперимента 2 × 3 (малый или большой размер моделей × нет «глазков», маленькие или большие «глазки»). Цыплята быстрее атаковали мелкую добычу с «глазками», но были более осторожны с крупными гусеницами с большими «глазками», чем при предъявлении гусениц без «глазков» или с небольшими «глазками». В целом, эти данные указывают на то, что «глазки» являются эффективным фактором сдерживания только когда и добыча, и «глазки» большие, и что врожденная аверсия к «глазкам» является условной. Избегание ядовитой или опасной добычи у хищников – это вопрос жизни или смерти; решение часто принимается с большой скоростью, поэтому не удивительно, что это привело к развитию врожденной аверсии к «глазкам» у хищников. Авторы полагают, что распределение «глазков» в природе является, скорее всего, результатом отрицательного естественного отбора в отношении «глазков» на мелких гусеницах и положительного отбора для «глазков» на больших гусеницах (по крайней мере, в некоторых условиях). Таким образом, «глазки» являются дорогостоящими для небольших гусениц, потому что они повышают обнаруживаемость без предоставления защитных преимуществ, но они выгодны для крупных гусениц, поскольку эффективно отпугивают хищников.

С.В. Зворыкина

## Темпы, спектр и эволюционная динамика спонтанных эпимутаций

Rate, spectrum, and evolutionary dynamics of spontaneous epimutations. Adriaan van der Graaf, René Wardenaar, Drexel A. Neumann, Aaron Taudt, Ruth G. Shaw, Ritsert C. Jansen, Robert J. Schmitz, Maria Colomé-Tatché, Frank Johannes. PNAS. 2015. Vol. 112. No 21. P. 6676–6681.

Стохастические изменения при метилировании цитозинового нуклеотида являются источником наследуемых эпигенетических и фенотипических различий у растений. В ходе экспериментов на модельном геноме арабидопсиса (*Arabidopsis thaliana*) ученым удалось получить данные о темпах метилирования цитозина, т.е. о набирании или потере оборотов (направленная вперед или обратная эпимутация) метилирования цитозинового нуклеотида, что позволяет конструировать картину ландшафта эпимутации. Несмотря на слаженную регуляцию, потеря или намертывание темпа метилирования отдельных цитозинового нуклеотида или их кластеров может происходить спонтанно. Выявленное быстрое нелинейное накопление генетических изменений в поколениях *A. thaliana* указывает на высокие темпы направленной и обратной эпимутации. Точная оценка этих показателей необходима для количественного измерения долгосрочной динамики эпигенетических изменений в лабораторных или естественных условиях, а также для понимания молекулярных механизмов эволюции метилома. Ученые объединили теоретическое моделирование с высокочувствительным анализом метилома сложных независимых линий накопления мутаций у *A. thaliana*, включая измерения изменений темпов метилирования у последующих поколений. В соответствии с экспериментальным механизмом накопления мутаций, выбор эпигенотипа в ходе инбридинга отсутствует, так что совокупное расхождение линий накопления му-

таций управляется исключительно нейтральным эпигенетическим дрейфом. Если предположить, что метилирование *A. thaliana* находится в равновесии, то направленная и обратная динамика эпимутаций CG означает, что в отсутствие селективности или генных изменений около 30% всех CG сайтов должны быть метилированы и, соответственно, около 70% – не метилированы, что согласуется с реальными измерениями. Невелика вероятность того, что глобальные паттерны отклонений метилирования CG в природе являются результатом отбора, действующего в широких геномных рамках, потому что одни и те же паттерны быстро укореняются в изогенных линиях накопления мутаций при постоянстве условий внешней среды. Реорганизация геномов в ходе макроэволюции обязательно сопровождается повторением паттернов отклонений метилирования, такие структурные изменения мало распространены в рамках микроэволюции. Следовательно, нейтральные эпимутации являются, вероятно, более важными факторами формирования разнообразия метилома в коротких и средних эволюционных рамках. Исследования показали, что динамика взаимодействия между направленными и обратными селективно нейтральными эпимутациями модулирует геномный контекст и формирует глобальные геномные паттерны метилиционного разнообразия в естественных условиях. В соответствии с теоретическим обоснованием, темпов эпимутаций вполне достаточно для быстрого разграничения генетической изменчивости от эпигенетической, но недостаточно для образования новых эпипаллелей для устойчивых длительных селективных реакций. Темпы эпимутации *A. thaliana* могут служить в качестве образца для будущих эмпирических и теоретических исследований эпигенетики растений. Результаты исследований предоставляют собой новые аналитические наработки в изучении эволюции метилома и его влияния на популяцию.

Е.М. Степанова



## Ландшафт хроматина и суточная динамика: пространственно-временная организация транскрипции циркадных генов

Chromatin landscape and circadian dynamics: Spatial and temporal organization of clock transcription. Lorena Aguilar-Arnal, Paolo Sassone-Corsi. PNAS. 2015. Vol. 112. No 22. P. 6863–6870.

Циркадные часы – внутренний хронометр, который можно найти почти во всех формах жизни. Эта эволюционно консервативная система отсчета времени придает организмам способность прогнозировать и определять ежедневные колебания в среде обитания, что обеспечивает их адаптацию. Циркадные ритмы отвечают за организацию широкого спектра физиологических и поведенческих функций в циклы, составляющие примерно 24 часа. Такой контроль достигается путем сложноорганизованной программы экспрессии генов. У млекопитающих механизм молекулярных часов состоит из взаи-

мосвязанных транскрипционно-трансляционных петель обратной связи, которые обеспечивают точную тканеспецифичную осцилляцию тысяч генов. Для достижения циркадного контроля транскрипции, в механизме таких часов используются комплексы, участвующие в ремоделировании хроматина, которые предоставляют нужные осцилляции эпигеному. Недавние исследования показали существование так называемых циркадных интерактонов, то есть ядерных центров организации топологии генома, где скоординировано экспрессирующиеся циркадные гены взаимодействуют физически пространственно-временным образом. Полученные данные приводят к выводу о том, что, скорее всего, циркадный ядерный ландшафт существует, и его взаимодействие с метаболическими путями и регуляторами часов преобразуется в специальные программы транскрипции. Дальнейшая расшифровка молекулярных механизмов, которые связывают механизм циркадных часов и ядерный ландшафт, позволит определить ранее неисследованные пути, которые объединяют метаболизм клетки с эпигенетическим контролем.

А.Э. Ходосевич

## Цитозолический сенсор ДНК BAF защищает экзогенную ДНК от аутофагии

BAF is a cytosolic DNA sensor that leads to exogenous DNA avoiding autophagy. Shouhei Kobayashi, Takako Koujin, Tomoko Kojidani, Hiroko Osakada, Chie Mori, Yasushi Hiraoka, Tokuko Haraguchi. PNAS. 2015. Vol. 112. No 22. P.7027–7032.

Знание механизмов распознавания клеткой инородной ДНК важно для контроля патогенных инфекций и понимания механизма реакции клетки на искусственное введение ДНК. На данный момент из-за трудности отслеживания вхождения инородной ДНК в клетку отсутствует достаточно данных о пространственной и временной организации ответа клетки на появление в цитозоле инородной двуцепочечной ДНК. В данном исследовании методом введения в живые клетки HeLa двуцепочечной ДНК на поверхности полистироновых зерен было показано, что барьерный фактор аутоинтеграции BAF связывается с экзогенной двуцепо-

чечной ДНК сразу же после ее появления в цитозоле. Использование флуоресцентного красителя pHodo, маркера разрушения эндосом, позволило установить, что зерна с ДНК сначала были поглощены эндосомами, а затем, после их разрыва, мигрировали в цитозоль, после чего сразу же был обнаружен сигнал BAF. Зерна с ДНК и флуоресцентно маркированным BAF затем собирались в структуры, напоминавшие ядерную оболочку, и не подвергались аутофагии, направленной на уничтожение остатков мембран эндосом. Нокадаун BAF с помощью РНК-интерференции значительно препятствовал сборке этих структур и, как показало флуоресцентное маркирование маркера аутофагии LC3, способствовал образованию аутофагических мембран вокруг зерен ДНК. Данные наблюдения позволяют предположить, что BAF защищает экзогенную ДНК от аутофагии. Примечательно, что зерна с BAF, лишённые ДНК, также не подвергались аутофагии. Таким образом, BAF, вероятно, участвует в перестройке внутриклеточных мембран у млекопитающих при распознавании инородной двуцепочечной ДНК.

А.Л. Братцева

## Липиды ракообразных хищников вызывают образование паралитических токсинов у «цветущих» водорослей

Predator lipids induce paralytic shellfish toxins in bloom-forming algae. Erik Selander, Julia Kubanek, Mats Hamberg, Mats X. Andersson, Gunnar Cervin, Henrik Pavia. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. P. 6395–6400.

Открыт химический механизм, объясняющий одну из загадок океанологии – как одноклеточным водорослям, являющимся важнейшими агентами фотосинтеза на Земле (около 50% объема продукции), удается эффективно защищать среду своего обитания от употребляющих их в пищу хищников. Динофлагелляты являются одноклеточными жгутиконосцами, способными к фотосинтезу, в связи с чем их также называют еще динофитовыми водорослями. Размножаясь у берегов водоемов, они создают эффект «цветения» воды, или так называемых «красных приливов». Динофлагелляты служат пищей для веслоногих ракообразных (рачков), размеры

тела которых колеблются от 1 до 10 мм. Авторы выяснили, что одноклеточные водоросли-динофлагелляты вида *Alexandrium minutum* способны защищаться от веслоногих ракообразных при помощи выделения токсичных веществ паралитического действия. Ученые провели серию экспериментов, в ходе которых оказалось, что организм водорослей распознает исходящие от рачков химические сигналы – молекулы тауроллипидов, которые служат связующим звеном между тауринами и жирными кислотами в организме ракообразных. В ответ на тауроллипидовый сигнал водоросли начинают вырабатывать токсичные вещества, которые защищают их от нападения рачков. Каждый вид ракообразных вырабатывает тауроллипиды своего типа. Водоросли оказались способны распознать все типы молекул, однако концентрация вырабатываемых в ответ ядовитых веществ была разной. Авторы предполагают, что подобная «химическая сигнализация», действующая между представителями самых низших ступеней пищевой цепочки, способна оказывать влияние и на более крупных животных: например, яд водорослей может накапливаться в многоклеточных растениях и позже негативно влиять на поедающих их живых существ.

В.В. Стрекопытов

## Альтернативное плюрипотентное состояние обеспечивает межвидовую химерную компетентность

An alternative pluripotent state confers interspecies chimaeric competency. JunWu, Daiji Okamura, Mo Li, et al. Nature. 2015. Vol. 521. No 7552. P. 316–321.

Стволовые клетки – это недифференцированные клетки, которые не утратили свой потенциал к размножению. В зависимости от срока развития организма они могут превращаться в клетки любых тканей (тотипотентные клетки), в клетки любых тканей за некоторым исключением (плюрипотентные клетки) или в клетки определенной ткани. Двумя первыми свойствами обладают эмбриональные стволовые клетки. Но и в тканях взрослого организма присутствует некоторое количество стволовых клеток, которые делятся и заменяют клетки этих тканей. Таким образом ткани в организме постоянно обновляются. Авторы сообщают об обнаружении еще одного типа стволовых клеток. Ученые назвали их регион-селективными плюрипотентными стволовыми клетками (region-selective pluripotent stem cells, rsPSCs). Особенность этих клеток состоит в том, что их специализация определяется не только сроком развития организма, но и их расположением в развивающемся эмбрионе. Для получения клеток rsPSCs было придумано сочетание химических сигналов, которые применялись к стволовым клеткам человека, делая их пространственно-ориентированными. Затем rsPSCs вводили в конкретные регионы нежизнеспособного эмбриона мыши и культивировали их *in vitro* в течение 36 часов. Отдельно выращивались обыкновенные стволовые клетки, чтобы сравнить результаты.

Обычные стволовые клетки, полученные с помощью традиционных методов, так и не интегрировались в эмбрион, а вот человеческие rsPSCs начали превращаться в ткани на ранних этапах развития – дифференцироваться на три основных клеточных слоя в самом начале развития: на эктодерму, мезодерму и энтодерму. Из этих слоев в эмбрионе и развиваются разные ткани и органы. На этой стадии авторы эксперимент завершили, хотя, по их словам, процесс мог бы пойти и дальше. По мнению авторов, регион-селективные стволовые клетки хранят в себе огромный потенциал для регенеративной медицины, поскольку все манипуляции с ними, в том числе и генетические, осуществлять гораздо проще, чем с другими стволовыми клетками. Вырастить в лаборатории их легче, чем обычные человеческие плюрипотентные стволовые клетки, что является преимуществом для крупномасштабного производства таких клеток, заместительной клеточной терапии и редактирования генов. Проанализировав выращенные клетки, ученые обнаружили у rsPSC особые молекулярные и метаболические характеристики, а также новые эпигенетические сигнатуры. Последние представляют собой химические модификации ДНК, контролирующие, какие именно гены будут включаться или выключаться на определенном этапе, при этом не происходит изменение самой последовательности ДНК. Авторы считают, что клетки rsPSCs обладают огромным потенциалом для изучения эволюции человека, эмбриогенеза, а также природы развития различных заболеваний. Вполне возможно, что на основе этих клеток будут созданы новые методы терапии, а также получат новый импульс исследования в области ксенотрансплантации – использования генетически модифицированных органов животных.

*В.В. Стрекопытов*

## Летучие мыши корректируют форму ротового отверстия, чтобы увеличить «поле зрения» биосонара

Bats adjust their mouth gape to zoom their biosonar field of view. Pavel Kounitsky, Jens Rydell, Eran Amichai, Arjan Boonman, Ofri Eitan, Anthony J. Weiss, Yossi Yovel. PNAS. 2015. Vol. 112. No 21. P. 6724–6729.

Ощущение и восприятие являются процессами активными. Это означает, что сенсорная чувствительность активно модулируется, и эта черта является неотъемлемым свойством практически всех сенсорных систем. Эхолокация летучих мышей является ярким примером активной чувствительности. При эхолокации летучие мыши ощущают окружающую среду акустически, испуская ультразвуковые импульсы и анализируя полученные эхо-сигналы. Летучие мыши могут быстро отрегулировать многие параметры своих «биосонаров» для оптимизации сенсорного восприятия: они динамически регулируют параметры ультразвуковых импульсов, их длительность и частоту в пределах десятков миллисекунд, в соответствии с сенсорной информацией, необходимой для задачи, которую они выполняют. Наименее изученной и наименее понятной особенностью эхолокации летучих мышей является их способность изменить форму «звукового луча» биосонара. Такая способность может оказывать большое влияние на способность летучих мышей контролировать свою сенсорную чувствительность. С одной стороны, летучая мышь могла бы направлять больше энергии в узкий сектор, чтобы увеличить поле зрения своего биосонара, а с другой стороны, она могла бы расширить луч, чтобы увеличить пространство, доступное восприятию. Данное исследование проводилось с ди-

кими летучими мышами вида *Hypsugo bodenheimeri* (нетопырь Боденхеймера) в естественных природных условиях, а также в условиях контролируемого эксперимента. Эти летучие мыши испускают эхолокационные сигналы ртом. В природных условиях были сделаны аудиозаписи и фотографии летучих мышей, во время их полетов над небольшим прудом, который эти животные использовали для водопоя. При снижении к поверхности пруда, а затем при взлете от нее, летучие мыши должны были оказываться в ограниченном пространстве и затем покидать его в быстро меняющихся условиях, когда плотно расположенные различные объекты, создают нежелательные отзвуки. Для того, чтобы проверить, что полученные результаты не являются следствием пуга как такового, авторы провели эксперимент в контролируемых условиях: летучие мыши летали через узкий (0,5 × 0,5 м<sup>2</sup> поперечного сечения) 1,5-метровый туннель и вылетали из него в открытое пространство. Авторы показали, что как в естественных, так и в экспериментальных условиях, летучие мыши постоянно контролируют поле зрения своих биосонаров, оперативно регулируя апертуру излучателя с помощью ротового отверстия. Летучие мыши резко сужают звуковой луч при входе в ограниченное пространство, и резко расширяют его в течение десятков миллисекунд при полете в сторону открытого пространства. Следовательно, испуская ртом ультразвуковые сигналы, летучие мыши динамически корректируют форму ротового отверстия, чтобы оптимизировать разрешение трехмерной картины, которую они видят с помощью своей эхолокационной системы. Таким образом, управление лучом путем изменения размера ротового отверстия обеспечивает летучих мышей дополнительной степенью свободы в их способности активно формировать свое чувственное восприятие окружающего мира.

*С.В. Зворыкина*

## Th1-клетки, участвующие в патогенезе колита, образуются из Th17-клеток

Th17 cells give rise to Th1 cells that are required for the pathogenesis of colitis. Stacey N. Harbour, Craig L. Maynard, Carlene L. Zindl, Trenton R. Schoeb, Casey T. Weaver. PNAS. 2015. Vol. 112. No 22. P.7061–7066.

Th17-клетки, обеспечивающие реакции на кишечные микроорганизмы, являются ключевыми участниками некоторых воспалительных процессов в кишечнике. Примечательно, что Th17-клетки способны дифференцироваться по различным путям: часть их потомков продолжают экспрессировать, главным образом, интерлейкин IL-17A, остальные переключаются на экспрессию интерферона-γ и дифференцируются в Th1-подобные клетки. Остается неизвестным, какую роль клетки каждого из этих типов играют в воспалительных процессах в кишечнике. В данном исследовании путем пересадки Th17-клеток было показано, что Th17-клетки, лишен-

ные интерферона-γ и экспрессирующие IL-17A, не вызывали колит у реципиентов-мышей с нокаутом гена *Rag*. Заболевание удалось индуцировать лишь с помощью Th1-подобных клеток, причем эти клетки образовывались только при экспрессии транскрипционного фактора T-bet. При нокауте гена фактора Stat4 заболевание протекало в более легкой форме, что говорит о вкладе Stat4 в регуляцию процесса. Также было показан вклад Th17-клеток в формирование Th1-клеток из наивных предшественников: совместная пересадка наивных CD4<sup>+</sup>CD45<sup>+</sup>-клеток мышей с нокаутом *Rorc* и непатогенных Th17-клеток мышей, лишенных интерферона-γ индуцировала развитие колита и увеличение числа и доли клеток, экспрессирующих IL-17A, но не интерферон-γ. Полученные результаты говорят о существенном вкладе Th17-клеток в патогенез колита за счет дифференцировки в Th1-подобные клетки и участия в образовании классических Th1-клеток, а также о перспективности лечения воспаления кишечника со стороны как Th17-, так и Th1-клеток.

*А.Л. Братцева*



# Медицина

## Положительный отбор по гетерозиготному носительству гена β-глобина малярией в Центральной Африке

Malaria continues to select for sickle cell trait in Central Africa. Eric Elguero, Lucrèce M. Délicat–Loembet, Virginie Rougeron, Céline Arnathau, Benjamin Roche, Pierre Becquart, Jean–Paul Gonzalez, Dieudonné Nkoghe, Lucas Sica, Eric M. Leroy, Patrick Durand, Francisco J. Ayala, Benjamin Ollomo, François Renaud, Franck Prugnolle. PNAS. 2015. Vol. 112. No 22. P. 70517054.

Серповидно-клеточная анемия (SCD) – генетическое заболевание, которое представляет собой серьезную угрозу здоровью в тропической Африке и объявлено приоритетной задачей в общественном здравоохранении. Ее сохранение в человеческой популяции – признак серповидных клеток (sickle cell trait, SCT) связывают с той устойчивостью, которую она обеспечивает организму человека к малярии, вызванной *Plasmodium falciparum*, при гетерозиготном носительстве гена β-глобина. Миграция обеспечивает распространение SCT вне тропических стран. В настоящее время это самое существенное генетическое заболевание во Франции, которое проявляется у одного рожденного ребенка из 2400, а также одна из самых распространенных болезней в США. В данном исследовании

была сделана попытка определить связь SCT с малярией, используя текущие данные как по SCT, так и по малярийной инфекции. Для этого было проанализировано 3959 образцов крови, полученных от 195 испытуемых, жителей деревень, расположенных на территории Габонской Республики. Типы гемоглобина определяли с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (HPLC). Инфекции, вызванные тремя видами рода *Plasmodium*, были определены с помощью полимеразной цепной реакции с последующим секвенированием фрагментов цитохрома b длиной 201 нуклеотидов. Повышение распространения малярии, вызванной *P. falciparum*, на 10% оказалось связано с увеличенным на 4,3% количеством носителей SCT. Было обнаружено, что распространение SCT связано с повышением возраста, так, его увеличение на 10 лет совпадает с ростом количества носителей на 5,5%. Также выяснилось, что пол никак не связан с SCT. Полученные данные дают повод полагать, что в настоящее время малярия является фактором отбора в популяциях человека, несмотря на развитие медицины и предпринимаемые действия, направленных на борьбу с этой болезнью. Результаты исследования предоставляют доказательства того, что эволюция человека до сих пор продолжается, несмотря на то, что это часто ставится под сомнение отдельными представителями науки, политиками или религиозными деятелями.

Ходосевич А.Э.

## Лечение инфицированных приматов от вируса Эбола (Макона) с помощью липидных наночастиц коротких интерферирующих РНК

Lipid nanoparticle siRNA treatment of Ebola-virus-Makona-infected nonhuman primates. Emily P. Thi, Chad E. Mire, Amy C. H. Lee, et al. Nature. 2015. Vol. 521. No 7552. P. 362–365.

Текущая вспышка вируса Эбола в Западной Африке, унесшая жизни большего количества людей, чем все предыдущие эпидемии этого заболевания вместе взятые, является беспрецедентной. В работе сообщается об успешном испытании на макаках-резусах препарата на базе коротких молекул РНК, который нейтрализует частицы вируса Эбола. Короткие интерферирующие молекулы РНК (siRNAs) препятствуют сборке полноценных вирусных частиц и блокируют их. Авторы нацелились на два конкретных гена в структуре РНК вируса Эбола, блокировка которых даже на третий день после заражения может спасти жизнь человека. Авторы уже более 10 лет работают над созданием вакцины на базе коротких молекул РНК. Когда нача-

лась текущая вспышка лихорадки в Западной Африке, разработанная ранее вакцина ТКМ-Ebola была ими адаптирована для борьбы с текущим штаммом вируса (Макона). Для проверки работоспособности этой вакцины авторы инфицировали вирусом 2 группы макак-резусов и дождалась появления первых признаков заболевания, которые обычно появляются на 2-3 суток после попадания возбудителя вируса Эбола в организм. После этого ученые ввели препарат в кровь первой группы обезьян, отслеживая затем изменение их состояния. Как показал эксперимент, лекарство было очень эффективным – все приматы, зараженные смертельной дозой вируса, выжили после введения ТКМ-Ebola, тогда как все макаки из контрольной группы скончались от истощения и внутренних кровоизлияний на 8-9 день после инфицирования. По словам авторов, их разработка не уступает по силе вакцине ZMapp, основанной на моноклональных антителах. ZMapp была успешно использована в прошлом году для спасения 7 человек, заразившихся вирусом во время начала эпидемии. Однако у разработанной авторами вакцины есть одно ключевое преимущество – препарат ТКМ-Ebola легко производить и модифицировать, что снизит вероятность того, что медики столкнутся с недостатком вакцины, как это произошло с ZMapp.

В.В. Стрекопытов

## Высокая нагрузка и проникающий позитивный отбор соматических мутаций в нормальной человеческой коже

High burden and pervasive positive selection of somatic mutations in normal human skin. Iñigo Martincorena, Amit Roshan, Moritz Gerstung, et al. Science. 2015. Vol. 348. No 6237. P. 880–886.

Одним из важнейших для понимания эволюции и развития рака моментом является знание того, как соматические мутации накапливаются в нормальных клетках. Авторы провели глубокое секвенирование 74 раковых генов в небольших (от 0,8 до 4,7 мм<sup>2</sup>) биопсиях нормальной кожи. Для этого были взяты 234 образца биопсии у людей в возрасте от 55 до 73 лет, которые проходили процедуру удаления лишней кожи вокруг глаз. Именно эта кожа, на протяжении всей жизни подвергавшаяся действию ультрафиолета, и послужила материалом для анализа. Анализ показал, что средняя мутационная нагрузка в одной клетке кожи образца составляет 2–6

мутаций на одно метаоснование. Это значит, что каждый квадратный сантиметр кожи лица содержит свыше 100 мутаций, связанных с карциномой, а всего их было выявлено в образцах 3760. Такие значения близки к показателям, свойственным онкологическим заболеваниям. Мутировавшие клетки образовывали кластеры (клоны), которые по размерам примерно вдвое превышали клоны здоровых клеток. Важно отметить, что для многих раковых генов, включая ключевые драйверы образования сквамозных кожных клеток карциномы, отмечался сильный позитивный отбор даже в образцах физиологически нормальной кожи. Исследование показало, что около 25% нормальных клеток кожи содержат мутации, связанные с плоскоклеточным раком (общий рак кожи). Плоскоклеточный рак является второй наиболее распространенной формой рака кожи в США, затрагивая около 700 тыс. американцев ежегодно. Авторы говорят, что их исследование подчеркивает важность защиты кожи от солнца, ультрафиолетовое излучение которого может привести к большему числу мутаций, увеличивая риск рака кожи.

*В.В. Стрекопытов*

## VEGF–B способствует развитию метастазов с помощью механизма, независимого от VEGF–A и служит маркером неблагоприятного прогноза для раковых больных

VEGF-B promotes cancer metastasis through a VEGFA-independent mechanism and serves as a marker of poor prognosis for cancer patients. Xiaojuan Yang, Yin Zhang, Kayoko Hosaka, Patrik Andersson, Jian Wang, Fredrik Tholander, Ziquan Cao, Hiromasa Morikawa, Jesper Tegnér, Yunlong Yang, Hideki Iwamoto, Sharon Lim, Yihai Cao. PNAS. 2015. Vol. 112. No 22. E2900–E2909.

Биологические функции фактора роста эндотелия сосудов В (VEGF–B) при развитии рака до сих пор плохо изучены. В данном исследовании было показано, что VEGF–B способствует развитию метастазов путем перестройки микроциркуляторного русла. Подавление экспрессии гена VEGF–B в опухолях приводило к повышенному охвату сосудов периваскулярными клетками и понижению легочного метастазирования при меланоме у человека. В свою очередь, усиление экспрессии VEGF–B вызывало развитие сосудистых сетей опухоли, которые были крайне неплотными и плохо поддавались перфузии.

Новообразования, в которых была повышена экспрессия VEGF–B, были более подвержены метастазированию, при этом рост первичных злокачественных образований не был увеличен. В клетках, не экспрессирующих VEGF–A, присутствие VEGF–B также приводило к ослабленному росту первичных опухолей и к устойчивым легочным метастазам. Высокий уровень VEGF–B в мышцах Vegfr1 tk–/– (не экспрессирующих тирозинкиназу), а также у животных, подвергнутых действию анти-VEGF–A, приводил к появлению опухолей с чрезвычайно сильно метастазирующим фенотипом. Полученные данные показывают, что VEGF–B способствует развитию метастазов с помощью механизма, независимого от присутствия VEGF–A. Высокие уровни экспрессии VEGF–B, наблюдаемые в процессе двух исследований, проведенных на больших группах пациентов с плоскоклеточным раком легкого и меланомой, коррелируют с низким уровнем выживаемости. Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод о том, что VEGF–B является фактором сосудистых перестроек, который способствует развитию метастазов, и что влияние на экспрессию VEGF–B может оказаться важным лечебным подходом к регуляции метастазирования.

*А.Э. Ходосевич*

## Антигенное взаимодействие среди различных вариантов носительства вируса гепатита С организовано в сложную сеть перекрестной иммунореактивности

Antigenic cooperation among intrahost HCV variants organized into a complex network of cross-immunoreactivity. Pavel Skums, Leonid Bunimovich, Yury Khudyakov. PNAS. 2015. Vol. 112. No 21. P. 6653–6658.

Примерно 70% инфицированных вирусом гепатита С (HCV) становятся хроническими носителями инфекции. При этом у них резко возрастает риск развития различных заболеваний печени. В статье рассматривается общая иммунореактивность среди различных вариантов носительства вируса HCV и различие в их иммунореактивности и нейтрализации. Авторы фокусируются на изучении эффекта, вызванного топологической структурой перекрестной иммунореактивной сети. Статья представляет собой математическую модель динамики внутренних вирусных популяций в условиях перекрестной иммунореактивности, в рамках которой исследуется вклад иммунореактивности в становлении устойчивой инфекции. Модель рассматривает механизм вирусной адаптации с помощью антигенного взаимодействия. Антигенное взаимодействие

уменьшает возможность иммунной системы носителя нейтрализовать определенные варианты вируса. Предлагаемый механизм подкреплен эмпирическими наблюдениями эволюции вируса HCV. Вмешательство с антигенным взаимодействием является потенциальной стратегией для прерывания и предотвращения хронической инфекции вируса гепатита С. При нулевой перекрестной иммунореактивности все вирусные разновидности удаляются иммунной системой. Это свидетельствует о том, что единственным способом сохранения вируса является постоянная генерация новых вариантов носительства. Хотя большинство вирусных разновидностей искореняются иммунной системой, порядка 11% разновидностей противостоят равновесному состоянию системы. Однако расширенная перекрестная иммунореактивность кардинально меняет результаты моделирования. Математическая модель исходит из того, что внутренняя эволюция увеличивает иммунную адаптацию к вирусу гепатита С за время инфекции. Модель предполагает, что временное представление перекрестно реактивных вариантов вируса, прежде всего, приводит к стимуляции существовавших ранее иммунных реакций. Этот механизм иммунной адаптации фундаментально отличается от механизма ускользания от иммунного ответа.

*В.В. Стрекопытов*

**Моделирование геномики малярийного плазмодия выявило снижение и последующее увеличение распространения заболеваемости в Сенегале**

Modeling malaria genomics reveals transmission decline and rebound in Senegal. Rachel F. Daniels, Stephen F. Schaffner, et al. PNAS. 2015. Vol. 112. No 22. P. 7067–7072.

Для того, чтобы изучить эффект направленных на контроль заболеваемости малярией вмешательств на популяционную геномику паразитов, был проанализирован набор из 1007 образцов возбудителя малярии *Plasmodium falciparum*, собранных в городе Тиес (Сенегал), в период 2006–2013 гг. Полученные образцы были генотипированы с использованием молекулярного «штрих-кода», состоящего из 24 однонуклеотидных полиморфизмов. Около 35% образцов были сгруппированы в субпопуляции с одинаковыми «штрих-кодами». Популяции различались по размеру в зависимости от года получения образца, или же их состав сохранялся в течение нескольких лет. «Штрих-коды» также позволили сформировать

сеть из родственных групп. Анализ 164 полностью отсеквенированных геномов возбудителей показал у них высокое сходство некоторых участков ДНК. По крайней мере, в двух случаях был обнаружен рекомбинантный потомок родителей, чьи геномы похожи, либо идентичны, геномам, также присутствующим в образце. Эпидемиологическая модель, которая позволяет отслеживать генотип паразита, способна воспроизводить наблюдаемую структуру субпопуляций со схожими «штрих-кодами». Количественный анализ вероятностей в такой модели позволяет предположить сокращение частоты распространения заболевания в период 2006–2010 гг. со значительным возрастанием в 2012–2013 гг. Такие колебания были подтверждены данными по заболеваемости, полученными из города Тиес. Результаты исследования показывают, что усиленное вмешательство, направленное на контроль заболеваемости малярией приводило к быстрым и впечатляющим переменам в популяционной геномике возбудителей малярии. Полученные данные также позволяют предположить, что геномика, вместе с эпидемиологическим моделированием, может предложить быстрое, непрерывное и экономичное отслеживание результатов, ведущих к сокращению малярии.

А.Э. Ходосевич



# Нейронауки и психология

## Сигнальная активность протеинкиназ PKA и ERK в разных нейрональных популяциях стриатума обеспечивает быструю смену реакции в поведении спаривания у самцов мыши

Circuit-dependent striatal PKA and ERK signaling underlies rapid behavioral shift in mating reaction of male mice. Akihiro Goto, Ichiro Nakahara, Takashi Yamaguchi, Yuji Kamioka, Kenta Sumiyama, Michiyuki Matsuda, Shigetada Nakanishi, Kazuo Funabiki. PNAS. 2015. Vol. 112. No 21. P. 6718–6723.

Выбор между поведением, направленным на поиск положительного подкрепления, и поведением избегания контролируется у млекопитающих отдельными популяциями средних шипиковых нейронов стриатума (medium spiny neurons, MSN), экспрессирующих рецепторы дофамина D1 и D2. Нейроны, экспрессирующие D1, посылают аксоны в бледный шар и черную субстанцию, образуя прямой путь (dMSN нейроны), в то время как D2 нейроны входят в состав непрямого пути (iMSN нейроны), посылая аксоны к черной субстанции через бледный шар и субталамическое ядро. Внутриклеточные сигнальные каскады в этих нейронах

вовлекают активность протеинкиназы A (PKA) и внеклеточно регулируемой киназы (extracellular signal-regulated kinase, ERK). Авторы исследовали участие dMSN и iMSN нейронов в поведении спаривания у мышей-самцов, включающем быстрые переключения поведения от активного поиска самки к пассивности. Для этого был разработан способ оценки активности PKA и ERK методом Форстеровского переноса энергии (FRET) с помощью микроэндоскопии на свободно-подвижных животных. Исследуя положительно и отрицательно подкрепляемое поведение (введение кокаина и удар током, соответственно), авторы обнаружили, что изменения активности PKA и ERK в популяциях нейронов dMSN и iMSN скоординированы и противоположно направлены. При спаривании наблюдалось быстрое переключение модуля активностей PKA и ERK в зависимости от активного или безразличного поведения самца по отношению к самке. Активация сигнального каскада PKA и ERK в dMSNs или iMSNs методом искусственных рецепторов (Designer Receptors Exclusively Activated by a Designer Drug, DREADD) приводила к инициации или подавлению поведения спаривания, что доказывает причинно-следственную связь переключения динамической активности PKA и ERK между популяциями нейронов стриатума и выбора действия в поведении.

А.А. Тунова

## Нейрональный контроль двигательной асимметрии у дрозофил

Neuronal control of locomotor handedness in *Drosophila*. Sean M. Buchanan, Jamey S. Kain, Benjamin L. de Bivort. PNAS. 2015. Vol. 112. No 21. P. 6700–6705.

Доминирование левой или правой руки – это широко известная человеческая черта, которая, согласно данным литературы, является до некоторой степени наследственной, регулируется многими генами, в том числе теми, которые участвуют в развитии общей симметрии тела. Однако, поведенческая асимметрия (или «латеральность», «хиральность», handedness), т. е. предпочтение осуществлять какое-либо поведение на одной, но не другой стороне тела или преимущественный выбор правого или левого направления движения при поворотах, является многогранным феноменом. Например, в отсутствие визуальной обратной связи, люди проявляют тенденцию бродить по часовой или против часовой стрелки во время прогулки. Известно, что эта двигательная латеральность не коррелирует с доминированием конкретной руки или явной морфологической асимметрией, что позволило бы предположить первопричину этих эффектов в асимметрии при получении и анализе сенсорной информации, и, следовательно, неврологическую основу выбора какого-либо одного направления при движении. С другой стороны, известно, что генетически идентичные особи проявляют изменчивость своей физиологии, морфологии и поведения, даже когда растут в одинаковых условиях. Эта изменчивость лежит в основе как личностных, так и индивидуальных особенностей, но каков меха-

низм этих различий – остается неясным. Авторы статьи исследовали, проявляется ли у дрозофил (*Drosophila melanogaster*) варьирование двигательного поведения. Для этого была разработана новая высокопроизводительная система анализа изображения, с помощью которой стало возможным оценивать разведывательное поведение в индивидуальных Y-образных лабиринтах сотен мух одновременно. Благодаря этому подходу было обнаружено, что при исследовании пространства дрозофилы осуществляют преимущественный выбор правого или левого направления движения. Эта «идиосинкразия» присутствовала во всех изученных генотипах, как в природных популяциях, так и у изогенных инбредных лабораторных линий дрозофил. Такое предпочтение направления движения сохраняется у мух в течение всего срока их жизни и не является приобретенным: скрещивание двух «леворуких» особей не дает «леворукого» потомства. Эта двигательная латерализация никак не коррелирует с другими асимметриями, такими как направление скручивания кишечника, асимметрия в длине ног и складывании крыльев. С использованием трансгенных и мутантных организмов было обнаружено, что степень предпочтения направления движения находится под контролем нейронов центрального комплекса, области мозга дрозофил, вовлеченной в планирование и исполнение движений. Обнаружено, что когда эти нейроны «молчат», латеральность при исследовании пространства лабиринта усиливается в сторону более частого выбора правого или левого направления движения. Это наблюдение приводит к интригующему предположению, что мозг может быть в состоянии динамически регулировать поведенческую индивидуальность.

С.В. Звoryкина

## Особенности поведения свидетельствуют о генетическом контроле фенотипической вариабельности

Behavioral idiosyncrasy reveals genetic control of phenotypic variability. Julien F. Ayroles, Sean M. Buchanan, Chelsea O'Leary, Kyobi Skutt-Kakaria, Jennifer K. Grenier, Andrew G. Clark, Daniel L. Hart, Benjamin L. de Bivort. PNAS. 2015. Vol. 112. No 21. P. 6706–6711.

Количественная генетика традиционно фокусируется на описании генетического влияния на средние значения признака, обычно игнорируя эффект альтернативных аллелей на его вариабельность. В результате такого подхода может быть упущена существенная линия генетических вариаций, влияющих на фенотипические межиндивидуальные различия. Авторы искали различия, которые обычно скрыты в популяционных средних значениях, исследуя фенотипическую вариабельность среди особей с одинаковым генотипом. В этом случае фенотипические различия возникают стохастически в процессе развития или в результате изменений в микроокружении особи, в то время как различия в вариабельности между разными генотипами отражают генетические различия в стабильности развития. Авторы исследовали влияние генов на фенотипические различия между отдельными особями (или интрагенотипическую вариабельность) на инбредных линиях дрозофилы, оценивая спонтанное локомоторное поведение мух в Y-образном лабиринте. Исследовали вариабельность доминирования правосторонней или левосторонней локомоции, т.е. преобладание левых или правых поворотов в лабиринте. Всего было исследовано 159 линий, в среднем 110 особей в каждой; среднее число поворотов в лабиринте составило 413

за 2 часа. При оценке средних значений ни в одной из линий не было обнаружено преобладания правых или левых поворотов. При сравнении уровней вариабельности внутри каждой линии авторы обнаружили высоко достоверные межлинейные различия, выражающиеся в разном количестве особей с заметным предпочтением одной стороны. Такие различия между линиями указывают на то, что сама интрагенотипическая вариабельность находится под генетическим контролем и является наследственной. Используя полногеномное исследование ассоциаций для степени интрагенотипической вариабельности, авторы идентифицировали несколько генов, экспрессирующихся в мозге, которые влияют на вариабельность право- или левостороннего предпочтения, не изменяя при этом его среднего значения для данного генотипа. Одним из таких генов является *Ten-a*, кодирующий трансмембранный сигнальный белок, который участвует в формировании синапсов. *Ten-a* связан с формированием нейропила центрального комплекса мозга дрозофилы, обеспечивающего сенсорную интеграцию и координацию движений. Авторы валидировали полученные результаты, используя мутантов с нулевым аллелем *Ten-a*, а также блокаду экспрессии этого гена РНК-интерференцией. Во всех случаях отключения *Ten-a* наблюдалось увеличение вариабельности внутри линии без изменений среднего значения. В целом, полученные результаты показывают, что из единого генотипа может возникать разнообразие фенотипов и что разные генетические основы сильно различаются по своей способности к фенотипической вариабельности. Традиционные методы полногеномных исследований, не учитывающие вклада вариабельности в общее фенотипическое разнообразие, могут упускать существенные связи между генотипом и фенотипом.

А.А. Тунова

## Оптогенетическое и фармакологическое подавление «нейронов лиц» нижней височной коры головного мозга приматов выявляет причинную роль этих нейронов в гендерной дискриминации лиц

Optogenetic and pharmacological suppression of spatial clusters of face neurons reveal their causal role in face gender discrimination. Arash Afraz, Edward S. Boyden, James J. DiCarlo. PNAS. 2015. Vol. 112. No 21. P. 6730–6735.

Нейроны, которые отвечают на изображения лиц больше, чем на иные объекты, были выявлены в нижней височной коре головного мозга приматов три десятилетия назад. Считается, что эта область мозга обеспечивает распознавание лиц и соответствующее поведение, связанное с дискриминацией лиц. В идеале, «нейроны лиц» – это нервные клетки, которые отвечают изменением импульсной активности на предъявление любого изображения, содержащего лицо, и не отвечают на любые изображения, содержащие только объекты не похожие на лица. Такие гипотетические «нейроны-детекторы лиц», могли бы непосредственным образом, механистически обеспечивать способность обнаруживать любые лица (с различным выражением, размером, положением в пространстве и т.п.) среди множества других раздражителей; однако, не обязательно такие нейроны способны отличать одно лицо от другого. Таким образом, хотя функциональную роль нижней височной коры – отличать от лица других объектов – можно считать доказанной, до сих пор не было получено прямых экспериментальных доказательств того, что нейроны этих областей обеспечивают способность отличать разные лица друг от друга. В проведенном исследовании, используя опто-

генетические и фармакологические методы, авторы обратимо подавляли активность нейронов в небольших участках нижней височной коры макака, выполняющих задачу гендерной дискриминации лиц. В этой задаче, в каждой из множества попыток, предварительно обученные животные фиксировали взгляд на центральной точке в течение 500 мс, затем справа или слева от точки фиксации на 100 мс появлялся тестовый стимул (лицо человека). Чтобы получить награду, животные должны были перевести взгляд вверх или вниз от точки фиксации к точкам-мишеням в зависимости от того, женское или мужское лицо было предъявлено в качестве стимула. Набор лиц-стимулов состоял из 400 черно-белых изображений, созданных компьютером. Возраст, раса, анатомические особенности лиц варьировали, но выраженность «гендерных признаков» оставалась достаточно сильной, и обезьяны были способны давать 85-95% правильных ответов. При каждом типе экспериментального вмешательства было показано, что подавление субрегионов нижней височной коры, которые содержат «нейроны лиц», индуцирует контралатеральный дефицит в поведении, связанном с гендерной дискриминацией лиц. Такое же подавление нейронов в других субрегионах нижней височной коры, не вызывало заметных изменений в поведении животных. Эти результаты впервые позволили устанавливать причинно-следственные отношения между импульсной активностью «нейронов лиц» в субрегионах нижней височной коры и поведением, связанным с гендерной дискриминацией лиц. По мнению авторов, демонстрация того, что краткое подавление нейронной активности в специфических субрегионах нижней височной коры индуцирует поведенческие эффекты, открывает возможность использования технических преимуществ оптогенетики для будущих исследований нейрональных основ зрительного восприятия высокого уровня.

С.В. Зворыкина



## Подкорковые вибриссные репрезентации у приматов вида галаго Гарнетта (*Otolemur garnetti*)

Subcortical barrelette-like and barreloid-like structures in the prosimian galago (*Otolemur garnetti*). PNAS. 2015. V. 112. No 22. P. 7079–7084.

Также как и у многих других млекопитающих, лицевые вибриссы галаго (вид древесных приматов) распределены по верхней и нижней челюсти, а также над глазами. Известно, что у крыс и мышей репрезентации усиковых макровибрисс представлены в качестве наборов citoархитектонически отдельных модулей в восходящих тригеминальных путях, причем, каждый модуль имеет фактически однозначные соответствия с соответствующей лицевой вибриссой. Макровибриссные репрезентации называются баррелеттами в тригеминальной соматосенсорной части ствола мозга, баррелоидами в заднем вентральном медиальном ядре

таламуса и бочонками в первичной соматосенсорной коре. О бочонко-подобных структурах у приматов ранее не сообщалось. С использованием методов окрашивания цитохромоксидазой, окрашивания по Нислю и мечения белков-транспортеров везикулярного глутамата, в данной статье продемонстрировано существование различных баррелетто-подобных и баррелоидо-подобных модулей в главном сенсорном ядре, спинальном тригоминальном ядре и заднем вентральном медиальном ядре у галаго. Расположение меченых окончаний первичных сенсорных нейронов в стволе мозга и клеточных тел таламо-кортикальных нейронов показывает, что баррелетто-подобные и баррелоидо-подобные модули расположены в областях этих соматосенсорных ядер в соответствии со строгой топографией осзания. Более того, топография таламуса показывает репрезентацию поверхности всего тела с необычной точностью. Полученные результаты позволяют говорить о сходстве обработки сенсорной информации у приматов и грызунов.

О.Е. Сварник

## Оптимизированная методика многоцветного случайного мечения выявляет различные стереотипные конфигурации клеток в зрительной системе мухи

Optimized tools for multicolor stochastic labeling reveal diverse stereotyped cell arrangements in the fly visual system. PNAS. 2015. V. 112. No 22. E2967–E2976.

Нервная система содержит огромное число нейронов разнообразной формы в разнообразных пространственных комбинациях. Описываемая в данной статье методика позволяет эффективно визуализировать (с помощью световой микроскопии) индивидуальные нейроны и их расположение относительно друг друга в мозге мухи-дрозофилы. Методика основана на многоцветном случайном мечении нейронов. Экспрессия множества мембранных и различных эпителиальных меченых белков контролируется как транс-

крипционными драйверами, так и случайными рекомбинационно-опосредуемыми вырезаниями терминирующих кассет. Такой подход (MultiColor FlpOut, MCFO) может быть использован для выявления формы клеток и относительных клеточных расположений, а также для прослеживания потомков клеток-предшественников в развитии. В данной статье продемонстрировано применение методики MCFO для детального исследования разнообразия и вариативности нейронов дистальной медуллы, многоколочной структуры зрительной системы взрослого организма. Было обнаружено, что внутри слоя медуллы формируются различные паттерны для каждого нейронного типа. Эти паттерны отражают как морфологию индивидуальных нейронов, так и относительные распределения ветвлений их отростков. Это разнообразие паттернов предположительно обеспечивает многочисленные независимые пути интегрирования зрительной информации в ретинопических колонках. Возникновение паттернов в развитии контролируется, по-видимому, неожиданно большим числом генетических программ.

О.Е. Сварник

## Системы волокон белого вещества затрудняют детекцию протяженных корковых связей, осуществляемую посредством диффузионной магнитно-резонансной трактографии

Superficial white matter fiber systems impede detection of long-range cortical connections in diffusion MR tractography. PNAS. 2015. Vol. 112. No 21. E2820–E2828.

Прижизненная трактография, основанная на диффузионной магнитно-резонансной томографии (дМРТ) открывает новые возможности для изучения отношений между структурой и функцией в мозге человека. Первоначально эта технология развивалась как возможность картировать траектории главных трактов белого вещества, однако в настоящее время она всё больше и больше используется для установления протяженных анатомических корковых связей. Поскольку аксональные проекции начинаются и заканчиваются в сером веществе, а пролегают главным образом

в глубине белого вещества, успех трактографии всецело зависит от возможности следовать волокнам через эти граничные переходы. В данной статье продемонстрировано, что сложные конфигурации волокон белого вещества, находящихся сразу под корой, обладают такими свойствами, которые усложняют трактографию протяженных связей. Этот вопрос исследовался путем сопоставления *ex vivo* дМРТ препаратов срезов мозга макака, снятых с очень высоким разрешением, с гистологическим анализом образцов той же ткани. Было обнаружено, что почти 50% поверхности коры оказалось совершенно недоступно для прослеживания волокон из-за плотности зон белого вещества, находящихся сразу под инфрагранулярными слоями коры. Оказалось, что эти зоны ко-локализуются с плотными и однотипными слоями аксонов, проходящих главным образом параллельно поверхности коры. Чаще всего такая ситуация характерна для борозд мозга. Таким образом, существует необходимость развития методов, дающих возможность преодолевать сложности детекции систем белого вещества при дМРТ для того, чтобы определять протяженные анатомические связи достаточно точно.

О.Е. Сварник

## Разнообразные связи отдельных нейронов с популяцией в сенсорной коре

Diverse coupling of neurons to populations in sensory cortex. Michael Okun, Nicholas A. Steinmetz, Lee Cossell, M. Florencia Iacaruso, Ho Ko, Peter Bartho, Tirin Moore, Sonja B. Hofer, Thomas D. Mrsic-Flogel, Matteo Carandini, Kenneth D. Harris. *Nature*. 2015. Vol. 521. No 7553. P. 511–515.

Большая популяция нейронов может производить астрономическое число различных возбуждающих паттернов. В коре головного мозга, однако, эти паттерны занимают меньше пространства, как если бы отдельные нейроны были «членами огромного оркестра». В сенсорной коре соседние нейроны не только отвечают на различные визуальные стимулы, но также используют разные стратегии для кодирования информации. Например, средняя частота спайкового разряда отличается амплитудой прохождения сигнала через нейроны, что похоже на образование инвариантного свойства каждой клетки, сохраняющегося на нескольких уровнях стимулирования и спонтанной активности. Чтобы охарактеризовать связи разных кортикальных нейронов с крупными возбуждающими паттернами, ученые рассмотрели их отношения к «частоте (активности) популяции», то есть суммарной активности всех нейронов в выделенной популяции в любой момент времени. В исследовании использовались популяции зрительной коры мышей (*Mus musculus*) и макак (*Macaca mulatta*) для исследования отношений между отдельными нейронами и их популяциями. Как выяснилось, соседние нейроны могут различаться по характеру связи с общей активностью популяции, начиная от прочно связанных «хористов» до слабо связанных «солистов». Значительная часть парной кор-

реляции в популяциях объясняется связью каждого нейрона с активностью популяции, при этом величина связи варьируется между нейронами. Крепко связанные нейроны лучше активируются несколькими условиями, которые неспецифически повышают активность их локальных сетей: не только сенсорные стимулы, но также спонтанные колебания, полисинаптические оптогенетические стимуляции и нисходящая модуляция. И наоборот, слабо связанные нейроны более устойчивы к этим популяционным влияниям. Нейроны с высокими популяционными связями более подвержены влиянию несенсорных поведенческих переменных, таких как двигательные интенции. Популяционная связь отражает причинно-следственные отношения, предсказывая нейронный ответ на управляемое оптогенетически увеличение локальной активности. Популяционные связи в основном зависят от сенсорных предпочтений и это фиксированный клеточный атрибут, инвариантный к условиям стимулирования. Учеными математически проанализирована модель кортикальной цепи, в которой разные возбуждающие нейроны имеют разные средние входные вероятности. Эта модель воспроизвела многие экспериментальные данные, в том числе отношения между популяционной связью и средней входной связностью, а также структуру спонтанной парной корреляции и зависимость корреляций, предсказанную сходством сенсорных настроек и силой популяционной связи. Таким образом, популяционная связь представляет собой новую простую переменную, характеризующую участие каждого нейрона в популяционном коде и может оказаться ключевым аспектом в понимании таких явлений, как кортикальная пластичность, объясняя сложные модели сетей возбуждающих паттернов в терминах базовых переменных.

*Е.М. Степанова*

## Неоднозначность и неидентифицируемость в статистическом анализе нейронного кодирования

Ambiguity and nonidentifiability in the statistical analysis of neural codes. Asohan Amarasingham, Stuart Geman, Matthew T. Harrison. *PNAS*. 2015. Vol. 112. No 20. P. 6455–6460.

Важное место среди нерешенных вопросов в области нейрофизиологии занимают вопросы о природе механизмов, которые используют нейроны для передачи информации. В настоящее время для понимания функционирования нервной системы разработано множество экспериментальных методов – неинвазивных, основанных на анализе суммарной электрической активности мозга, и инвазивных, использующих электроды, регистрирующие сигналы из малых популяций нейронов, предоставляющие при этом более детальную информацию. В целом, экспериментальные подходы к таким исследованиям являются сложными и неоднозначными, поскольку данные получаемые из анализа поведения животных находятся под влиянием широкого круга факторов. Такие факторы охватывают все уровни описания, от микроскопических (например, ионные флуктуации, пресинаптические области) до макроскопических (например, восприятие и внимание), но лишь малая часть из них измеряется и контролируется. Как следствие, неясно в какой степени изменения в неизвестных и неконтролируемых переменных величинах влияют на нейронные сигналы. К тому же эти неопределенности мешают интуитивному пониманию в рамках общепринятых моделей статистической повторяемости в нейрофизиологическом анализе сигналов. Для моделирования информационных процессов нервной деятельности необходимо соче-

тание моделей разного уровня подробности. В настоящее время известны модели единичных нейронов, модели нейронных популяций и модели электроэнцефалографических сигналов. Однако трудно проследить связь моделей разных уровней друг с другом. Значительная доля работ в области вычислительной нейрофизиологии посвящена построению моделей популяций нейронов. Целью этих работ является математическое описание активности большого числа подобных нейронов в ответ на получаемый общий стимул. Переход от описания отдельных клеток к описанию популяции, т.е. переход от микроскопического уровня к макроскопическому, требует введения ряда допущений. По этим причинам до сих пор не существует общепринятой популяционной модели и нет общепринятого вывода уравнений таких моделей из уравнений единичных нейронов. В связи с прогрессом в экспериментальных исследованиях требуется развитие соответствующего математического аппарата и алгоритмов, необходимых для анализа полученных данных и последующего моделирования нейронных структур. Многие экспериментальные исследования нейронного кодирования зависят от статистической интерпретации теоретического представления частоты пульсации нейрона (частота спайкового разряда). Возникают вопросы, показывают ли популяции нейронов более синхронную разрядку чем можно было ожидать из ковариабельности их мгновенных частот спайкового разряда, и в какой мере наблюдаемая спайковая вариабельность вызвана вариабельностью частоты спайкового разряда и вариабельностью спайк-тайминга. Тем не менее, теоретическая частота пульсации нейрона необязательно хорошо определена. Нейронаучные вопросы, связанные с теоретической частотой спайкового разряда могут быть интерпретированы в рамках дополнительного статистического моделирования.

*В.Ф. Шайхулин*

## Паттерны сенсорных областей в неокортексе млекопитающих регулируются постмитотически транскрипционным фактором *Lhx2*

Postmitotic regulation of sensory area patterning in the mammalian neocortex by *Lhx2*. Andreas Zembrzycki, Carlos G. Perez-Garcia, Chia-Fang Wang, Shen-Ju Chou, Dennis D. M. O'Leary. PNAS. 2015. Vol. 112. No 21. P. 6736–6741.

В коре мозга млекопитающих выделяются сенсорные области специфической модальности, отвечающие за восприятие сенсорной информации. Согласно современным представлениям, специфичность сенсорных областей коры контролируется транскрипционными факторами (ТФ), которые градиентно экспрессируются в клетках-предшественниках вентрикулярной зоны и определяют паттерн зрелых сенсорных областей в коре, задавая их размер и положение во время раннего развития коры. Считается, таким образом, что идентичность сенсорных областей коры определяется событиями в клетках-предшественниках, хотя механизмы, обеспечивающие трансляцию информации о процессах в предшественниках в область-специфические свойства зрелых постмитотических нейронов, остаются неизвестными. В противоположность этой точке зрения, авторы предположили, что идентичность сенсорных областей может окончательно определяться ключевыми регуляторами в нейронах кортикальной пластинки (КП), функционирующими постмитотически. Одним из таких ТФ, функционирующих и в предшественниках, и в зрелых нейронах, является фактор *Lhx2* (LIM-homeodomain 2), экспрессия которого в коре эмбриона имеет пространственный градиент, а в постнатальном мозге наблюдает-

ся по всей коре в ее верхних слоях. Авторы использовали трансгенных мышей, у которых *Lhx2* был инактивирован исключительно в постмитотических кортикальных нейронах, появляющихся начиная с 11 эмбрионального дня. Анализ морфологии мозга таких мышей на 7 постнатальный день не выявил отклонений в развитии мозга, анатомическом строении коры и толщине ее слоев. В то же время, у таких мутантов нормальный паттерн кортикальных областей сохранялся на уровне предшественников, но был заметно нарушен в зрелых нейронах КП. В коре трансгенных животных были изменены все ключевые маркеры, определяющие специфические сенсорные области: 1) комплементарная экспрессия генов в слоях КП; 2) направленность восходящих подкорковых входов от таламических ядер; 3) баланс между кортико-спинальными и кортико-текстальными нисходящими проекциями. Авторы показали, что *Lhx2* контролирует паттерн областей коры путем регуляции последующих звеньев каскада – генетических и эпигенетических регуляторов, определяющих приобретение специфических молекулярных признаков нейронами КП. Полученные результаты ставят под сомнение представления о строгой иерархии, согласно которым идентичность каждой области коры определяется клетками-предшественниками, и предполагают существование более сложного, 2-ступенчатого процесса формирования паттернов областей коры. Согласно этой гипотезе, ТФ в предшественниках создают лишь «предварительный план» паттерна сенсорных областей. Впоследствии необходимо продолжение функционирования ТФ, в том числе *Lhx2*, в постмитотических кортикальных нейронах для поддержания плана и его воплощения в свойства функциональных сенсорных областей. Полученные результаты указывают на ключевую роль ТФ *Lhx2*, действующего как один из терминальных генов-селекторов в контроле основных свойств нейронов.

А.А. Тунова

## Феромоны, влияющие на привлечение и спаривание у *Drosophila*

Pheromones mediating copulation and attraction in *Drosophila*. Hany K. M. Dweck, Shima A. M. Ebrahim, Michael Thoma, Ahmed A. M. Mohamed, Ian W. Keesey, Federica Trona, Sofia Lavista-Llanos, Aleš Svatoš, Silke Sachse, Markus Knaden, Bill S. Hansson. PNAS. 2015. Vol. 112. No 21. E2829–E2835.

Внутривидовые ольфакторные сигналы, известные как феромоны, играют важную роль в системах размножения насекомых. На протяжении многих лет исследований главная часть системы обнаружения феромонов *Drosophila melanogaster*, ее значение в поведенческих реакциях и активирующие ее лиганды оставались загадкой. В данной статье показано, что сенсорные нейроны органов обоняния (OSN), экспрессирующие обонятельные рецепторы Or47b и Or88a, распознают выделяемые мушками пахучие вещества, такие как метил лаурат (ML), метил миристан и метил пальмитат. Or47b-экспрессирующие OSN, несущие ген *fruitless*, распознают исключительно ML и необходимы для оптимального копулятивного поведения самцов. Кроме того, активация у них

таких Or47b-экспрессирующих сенсорных нейронов достаточна для обеспечения конкурентного преимущества при спаривании. Также было показано, что интенсивное ухаживание самцов за мушками, лишенными эноцитов, относится к постоянной и не связанной с эноцитами продукции лиганда Or47b, метил лаурата. Кроме того, оказалось, что OSN, экспрессирующие Or88a, способны распознавать все три пахучих вещества, и что эти нейроны необходимы и достаточны для копулятивного поведения как самцов, так и самок. За пределами уровня сенсорных нейронов информация, имеющая отношение к этим трем пахучим веществам, передается из нейропила дейтоцеребрума в мозговой центр по двум специальным нейронным путям. Выяснилось, что системы на основе Or47b и Or88a, а также их лиганды, заметно консервативны во многих видах плодовых мушек. Все полученные сведения позволяют заполнить значительный пробел в понимании роли обоняния в размножении и копулятивном поведении *Drosophila*. Несмотря на то, что границы репродуктивной изоляции между видами определяются в основном видоспецифическими сигналами, побуждающие к спариванию импульсы у некоторых видов *Drosophila* консервативны.

А.Э. Ходосевич

**Стресс и динамический геном: стероиды, эпигенетика и транспозом**

Stress and the dynamic genome: Steroids, epigenetics, and the transposome. Richard G. Hunter, Khatuna Gagnidze, Bruce S. McEwen, Donald W. Pfaff. PNAS. 2015. Vol. 112. No 22. P. 6828–6833.

Мозг является главным органом, реагирующим на стресс и адаптирующимся к стрессогенным факторам. Он не только распознает то, что является или может являться опасным, и запускает поведенческие и физиологические реакции на такие стимулы, но также является объектом воздействия как переживаний, так и прочих факторов стрессовой реакции, например гормонов. Стресс играет важную роль в определении функций мозга, часто с продолжительными воздействиями. Как такого рода воздействия могут возникать в геномах нейронов, находящихся в постмитотическом состоянии, уже долгое время является вопросом. Синаптическая

пластичность и нейрогенез позволили пролить некоторый свет на этот вопрос, а не так давно на первый план вышли эпигенетические механизмы. Недавнее исследование привело к открытию того, что острый единичный стресс может влиять на экспрессию ретротранспозонов в гиппокампе крысы, как раз за счет эпигенетических механизмов. Авторы предполагают, что подобная реакция может быть направлена на поддержание геномной и транскрипционной стабильности в чувствительных областях мозга, таких как гиппокамп. Результаты этого исследования, также как и другие данные, полученные ранее, показывают, что ретротранспозоны и пластичность генома, которую они допускают, играют значительную роль в деятельности мозга во время стрессовых ситуаций и болезни. Произведенные наблюдения также увеличивают вероятность того, что транспозомы могут нести в себе адаптивные функции, как на уровне эволюции, так и у индивидуальных организмов.

*А.Э. Ходосевич*



# Социальные науки

## Эксперимент по изучению вопроса формирования сетей социальных связей и их динамики в естественных условиях

A natural experiment of social network formation and dynamics. Tuan Q. Phan, Edoardo M. Airoldi. PNAS. 2015. Vol. 112. No 21. E6595–E6600.

Система социальных взаимоотношений между людьми заметно влияет на жизнь человека. Ее воздействие касается процесса передачи знаний, доступности информационных ресурсов, распространения болезней, эффективности трудовой деятельности, а также поведения потребителей. Однако, до настоящего момента вопрос формирования и динамики таких сетей социальных связей оставался малоизученным. Авторы исследования рассмотрели, как стихийные бедствия влияют на образование и развитие социальных взаимоотношений на примере последствий урагана «Айк». Выборка состояла из 1,5 млн студентов, поступивших в 130 университетов США. Проведен анализ данных из 630 млн сообщений и 590 млн постов в социальной сети Facebook, написанных учащимися за 4 года. Для сравнения университеты были разделены на 2 группы: пострадавшие от урагана и не ощутившие его последствий. Подобный эксперимент в естественных условиях позволяет понять роль использования Facebook в создании социальных связей спустя 4 и 52 недели после урагана. Статистический анализ показал, что студенты, которых коснулся ураган, образуют гораздо более сплоченные группы как в краткосрочной, так и долгосрочной перспективах, по сравнению с теми, кто не был затронут в ходе стихийного бедствия. Выявлено, что по прошествии длительного времени участники обеих групп заводят сопоставимое

количество друзей. При этом, учащиеся «пострадавших» университетов демонстрируют склонность устанавливать новые дружеские отношения с приятелями своих друзей, а не с абсолютными незнакомцами. Это приводит к более значительному сближению между участниками подобных триад и повышенной транзитивности (переход чувств, которые испытывает один человек к другому, на третьего), чем у индивидов, не подвергавшихся воздействию урагана. Показано, что студенты из затронутых стихией университетов меньше участвуют в процессе знакомства и поддержке связей своих друзей между собой. Все перечисленные последствия наблюдаются внутри групп в периоде вплоть до 3 лет с момента бедствия, что противоречит данным, полученным ранее. Кроме того, отмечено, что участники изучаемой группы продолжают пользоваться социальной сетью Facebook, но сокращают количество размещаемых публично заметок. Молодые люди, которые ощутили на себе воздействие урагана, отправляют сообщения меньшему количеству людей по сравнению с контрольной группой, теснее общаясь с теми, с кем уже знакомы. Полученные данные свидетельствуют о сдвиге традиционной модели формирования дружеских отношений, наблюдаемом внутри «пострадавшей» группы. Результаты эксперимента позволяют предположить, что после серьезных бедствий люди в большей степени склонны образовывать сплоченные группы и усиливать социальные связи. Тесные и продолжительные отношения могут положительно отражаться на их перспективах трудоустройства, социальном статусе и доступе к информации в будущем. Такое поведение может служить социальным механизмом, который позволяет человеку справляться с влиянием опасностей окружающей среды.

*С.А. Завалишина*

# Технологии и материалы

## Формирование методом голографии 3D-литий-ионных микробатарей

Holographic patterning of high-performance on-chip 3D lithium-ion microbatteries. Hailong Ning, James H. Pikul, Runyu Zhang, Xuejiao Li, Sheng Xu, Junjie Wang, John A. Rogers, William P. King, Paul V. Braun. PNAS. 2015. Vol. 112. No 21. P. 6573–6578.

Поскольку размеры многих автономных микроэлектронных систем, например, сенсоров, устройств беспроводной связи, персональных систем контроля здоровья и т. п. становятся меньше, то требуется уменьшить и их источники питания. Хотя тонкопленочные батареи уже хорошо приспособлены к интегрированию в чип, их запаса энергии и мощности не хватает для работы устройств. Способ изготовления трехмерных электродов может предложить большую плотность энергии, но часто метод их изготовления плохо совмещается с изготовлением чипов. Батареи микроскопических размеров могут подавать электроэнергию непосредственно конечному потребителю, что способствует миниатюризации электронных устройств и улучшает их эксплуатационные харак-

теристики. В статье дается описание микробатареи, пригодной к интеграции в микрочип, сделанный по технологии комплементарных полупроводников структуры “металл-окисел-полупроводник” (КМОП). Демонстрируется метод изготовления литий-ионных микробатарей, совместимый с технологией чипов. Эти батареи основаны на катодах из  $\text{LiMnO}_2$  и анодах из  $\text{NiSn}$ , что обеспечивает большую емкость (до  $3600 \text{ мкВт/см}^2/\text{мкм}$ ). Мезоструктурированные электроды изготавливаются комбинацией методов трехмерной голографической литографии и обычной фотолитографии, что обеспечивает контроль за внутренней мезоструктурой электродов и за пространственным распределением электродов по подложке. Полученные таким способом микробатареи демонстрируют впечатляющую работоспособность. Например микробатарея толщиной  $10 \text{ мкм}$  и площадью  $4 \text{ мм}^2$ , питающая током  $500 \text{ мкА}$  обычный светодиод в течение  $200$  циклов по  $600 \text{ с}$ , расходует при этом всего  $12\%$  своей емкости. Эксперимент с численным моделированием поведения такой батареи показал уникальную гибкость метода 3D-голографической литографии и возможность дальнейшей оптимизации в данном применении.

*И. Ю. Лещанский*

## Включение магнитного туннельного перехода с помощью гигантского теплового спинового момента

Giant thermal spin-torque-assisted magnetic junction switching. Aakash Pushp, Timothy Phung, Charles Rettner, Brian P. Hughes, See-Hun Yang, and Stuart S. P. Parkin. PNAS. 2015. Vol. 112. No 21. P. 6585–6590.

Одной из наиболее перспективных технологий изготовления устройств магнитной памяти является магнитная память случайного доступа (magnetic random access memory, MRAM). Существенной особенностью MRAM является эффективное включение ячейки памяти магнитного туннельного перехода между двумя состояниями с различным сопротивлением в зависимости от относительной магнитной ориентации ферромагнитных электродов, разделенных диэлектрическим туннельным барьером. Для этого используются магнитные поля, электрические или спиновые токи. В работе обнаружено, что температурный градиент всего в несколько градусов Кельвина, создаваемый поперек ультратонкого ( $\sim \text{нм}$ ) слоя оксида  $\text{MgO}$ , разделяющего ферромагнитные слои, также позволяет генерировать большие спиновые токи, достаточные для включения магнитного туннельного перехода (МТП). Для проведения экспериментов использовалось устройство, изготовленное методом магнетронного распыления на теплопроводящей монокристаллической подложке  $\text{MgO}$  (100) с чередованием слоев снизу вверх в следующем порядке:  $12,5 \text{ IrMn} | 2\text{CoFe} | 0,8 \text{ Ru} | 1,8 \text{ CoFe} | 0,9 \text{ MgO} | 1 \text{ CoFe} | 3 \text{ NiFe} | 5 \text{ Ru}$ , где цифрами указана толщина слоев в нм. Свободный слой имел размеры  $500 \times 200 \text{ нм}$ , а опорный слой имел размеры  $11 \times 3 \text{ мкм}$  и служил в качестве встроен-

ного термометра для определения локальной температуры МТП при нагревании (по величине сопротивления). Омический нагреватель из  $\text{ScN}$  с сопротивлением  $2 \text{ Мом}$  и шириной  $1 \text{ мкм}$  напылялся на МТП и электрически изолировался от верхнего контакта слоем оксида алюминия с толщиной  $20 \text{ нм}$ . Преимуществом такой геометрии является то, что чисто тепловые эффекты срабатывания МТП исследуются в замкнутой электрической схеме с минимальной чувствительностью по току через МТП около  $\sim 10 \text{ мкА}$  и минимальной плотностью тока  $\sim 10^4 \text{ А/см}^2$ . Тем самым исключались эффекты срабатывания за счет туннельных спиновых токов и эффектов собственного нагрева. Изменялось изменение туннельного магнитосопротивления (ТМС) МТП при приложении магнитного поля, активирующего свободный слой. В Р-конфигурации, когда свободный слой параллелен опорному слою, магнитосопротивление меньше, чем в конфигурации AP, в которой свободный слой антипараллелен опорному. Определены характеристические поля, необходимые для переключения свободного слоя в направлении  $\text{P} \rightarrow \text{AP}$  и наоборот. Затем выполнялись измерения ТМС при включении нагревателя и проведении одновременных измерений распределения температуры в интервале  $0-50 \text{ К}$ . Из результатов работы следует, что ТМС действительно обусловлено асимметрией туннельной проводимости по отношению к направлению температурного градиента, что согласуется с накоплением спина в свободном слое МТП в перпендикулярном к туннельному промежутку направлении, а не вследствие магнитного эффекта Зеебека. Авторы считают, что при достижении температурных градиентов большей величины (на более коротких интервалах времени) полученные результаты будут представлять большой интерес для технологии MRAM.

*Г.В. Дедков*

## Иерархические структуры, получаемые методом лазерной печати с помощью управляемой самосборки на основе капиллярных сил

Laser printing hierarchical structures with the aid of controlled capillary-driven self-assembly. Yanlei Hu, Zhaoxin Lao, Benjamin P. Cumming, Dong Wu, Jiawen Li, Haiyi Liang, Jiaru Chu, Wenhao Huang, Min Gu. PNAS. 2015. Vol. 112. No 22. P. 6876–6881.

Из повседневного опыта люди знают, что отдельные волокна могут слипаться, как это происходит с мокрыми волосами или в кисти, наполненной краской. Аналогичные явления капиллярного слипания часто встречаются в процессах изготовления электро-механических систем микроскопического масштаба, поскольку капиллярные силы преобладают над прочими по мере уменьшения размеров системы. Капиллярные силы часто рассматриваются как вредные, потому что они могут вызывать нежелательные искажения или даже разрушение микроструктур в технологических процессах, и много усилий направляется для уменьшения их вредного влияния. При попытке создать тонкие структуры преобладающие капиллярные силы заставляют их слипаться или во-

обще разрушаться. Однако с другой точки зрения такую обратную самосборку, вызываемую капиллярным эффектом, можно использовать как основной инструмент для создания сложных структур. По сравнению с другими движущими силами самосборки, например с магнетизмом, электростатическим притяжением, гравитацией самосборка под воздействием капиллярных сил имеет преимущества: она проста, дешева, масштабируема и легко поддается настройке. Предложен способ лазерной печати регулярных повторяющихся структур, обладающих свойством самосборки с использованием капиллярных сил. Сначала в испаряющейся жидкости создаются микроскопические столбики с помощью локальной полимеризации под воздействием фемтосекундных лазерных импульсов, которые затем собираются в повторяющиеся иерархические структуры с помощью капиллярных сил. Пространственное расположение столбиков, их высота, а также сам процесс испарения регулируются так, чтобы получить упорядоченные структуры различной геометрии. Получаемые микроструктуры могут служить необычным инструментом для избирательного улавливания и пропускания микрочастиц, что открывает возможности построения транспортных систем в масштабе микрообъектов. Такие структуры могут найти широкое применение в химии и биомедицине.

*И. Ю. Лещанский*

## Декодирование двигательных образов в задней теменной коре парализованного человека

Decoding motor imagery from the posterior parietal cortex of a tetraplegic human. Tyson Aflalo, Spencer Kellis, Christian Klaes, et al. Science. 2015. Vol. 348. No 6237. P. 906–910.

В статье сообщается о разработке специального имплантата для мозга, позволяющего человеку с параличом всех четырех конечностей (тетраплегией) управлять роботизированной рукой. За желание совершить то или иное физическое движение отвечает задняя теменная кора головного мозга. Эта часть мозга играет роль своеобразного «командного центра», который анализирует сигналы о состоянии внешней среды, поступающие в него из центров слуха, зрения и обоняния. Он использует эту информацию для выработки «плана» для решения поставленной перед ним задачи и формулировки набора команд, которые он отправляет в центр движения и прочие части мозга. Авторы предположили, что долговременные наблюдения за активностью задней теменной коры могут научить компьютер и подключенный к нему

роботизированный протез распознавать желания человека и исполнять их, используя не биологические, а традиционные кибернетические наборы команд. Протез, разработанный учеными, получает сигналы из этого участка мозга и воплощает их, выполняя необходимые человеку действия. После получения из мозга информации, устройство ее мгновенно анализирует и далее определяет действия роботизированного протеза. Команда нейрохирургов имплантировала в мозг Эрику Сорто, потерявшему подвижность в 21 год в результате пулевого ранения, пару небольших матриц, каждая из которых содержала 96 отдельных электродов, которые, в свою очередь, были связаны с отдельными нейронами задней теменной коры. Матрицы также были соединены кабелями с компьютером, который обрабатывал поступающие сигналы и расшифровывал их. Сорто начал реабилитацию через 16 дней после процедуры. Хотя он полностью контролировал свои мысли, он неделю тренировался, чтобы научиться управлять движениями роботизированного протеза. За несколько недель Сорто научился не только двигать рукой в произвольных направлениях, но и заставлять ее делать ряд сложных действий – брать в руки бутылку с пивом и подносить ее ко рту, пожимать руку собеседнику и совершать ряд других сложных манипуляций.

*В.В. Стрекопытов*

Еженедельный журнал Российской ассоциации содействия науке

# НАУКА В мире

[www.naukavmire.ru](http://www.naukavmire.ru)