

# НАУКА **В мире**

Обзор журналов  
Nature, PNAS, Science

Номер 22 (2)  
17 марта 2015 г.

## In Advance: Инфицирование вирусом Эбола сопровождается значительной иммунной активацией

стр. 10

## В Якутске объявили об открытии уникального международного центра «Молекулярная палеонтология»

стр. 7

Человеческий род оказался древнее и разнообразнее

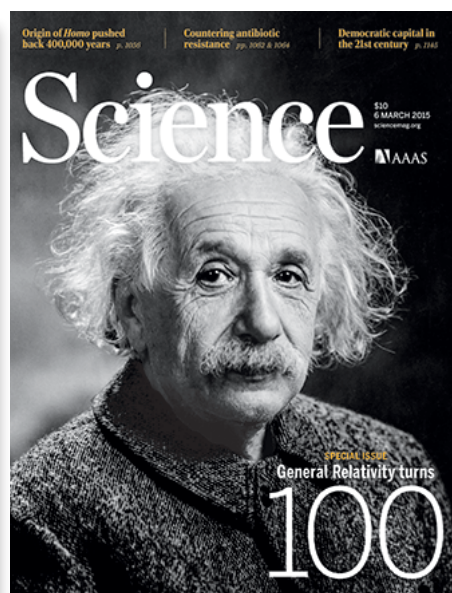
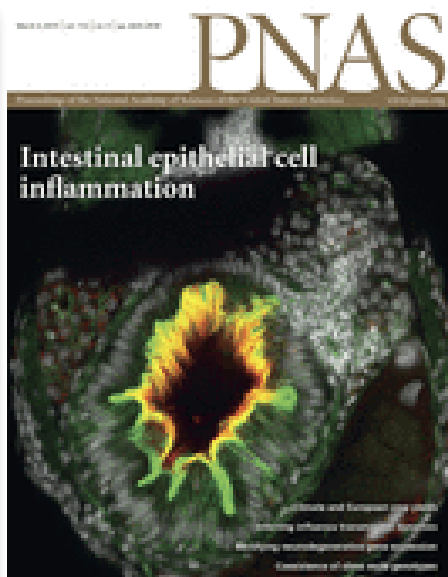
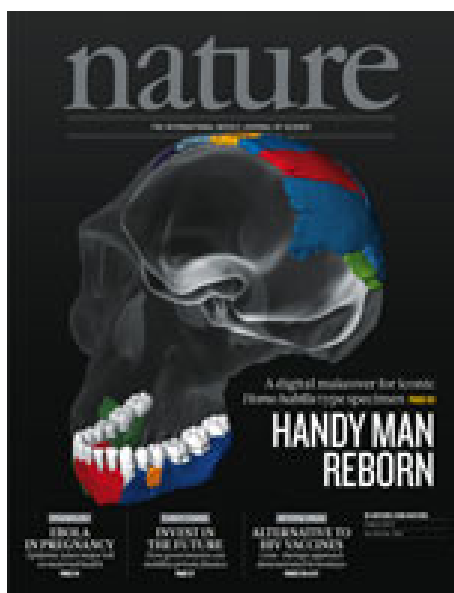
стр. 24

Речевой центр мозга отключается, когда мы начинаем говорить

стр. 37

Гравитационная линза превратила вспышку сверхновой в «крест Эйнштейна»

стр. 13



**ЖУРНАЛ «НАУКА В МИРЕ» № 22 (2)**

17 марта 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 RASCH**

**Евгений Павлович ВЕЛИХОВ,**

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

#### **ПЛЕНУМ RASCH**

**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 RASCH, почетный  
председатель Правления  
Санкт-Петербургского союза ученых

**Надежда Дмитриевна ВАВИЛИНА,**

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

**Валерий Александрович ЧЕРЕШНЕВ,**

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

**Татьяна Владимировна ЧЕРНИГОВСКАЯ**

член Президиума RASCH, 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 RASCH

#### **Административный директор**

Светлана Александровна ХОЗИНСКАЯ

#### **РЕДАКЦИЯ**

**Старший научный редактор реферативной части**  
Владислав Владимирович СТРЕКОПЫТОВ

#### **Редакторы**

Владимир Федорович КУЗНЕЦОВ,  
Ирина Александровна БАННОВА

#### **Редакторы-референты**

Братцева А. Л., Ваганова А. Н. Дедков Г. В.,  
Илларионова Н. Б., Карпов Н. В., Колесникова Н. Ю.,  
Лещанский И. Ю., Мохосоев И. М., Степанова Е.М.,  
Стрекопытов В. В., Якименко А. В., Ястребов С. А.

#### **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.

# Читайте в этом номере:

## Информационное поле

### 4 От редакции

Самое интересное в рефератах

*Топ-10 статей текущего номера*

### 7 Новости • В России

В Якутске объявили об открытии уникального международного центра «Молекулярная палеонтология»

В Томске разработан первый в России биополимер, из которого можно «напечатать» части костей

### 8 Новости • За рубежом

Исследование американских ученых о редактировании ДНК вызвало резонанс среди генетиков

Ученые изобрели аппарат для производства молекул

### 9 In Advance

Гигантские сдвоенные боковые пластины фильтров аномалокариса свидетельствуют о гомологии их туловищных конечностей

### 10 Инфицирование вирусом Эбола сопровождается значительной иммунной активацией

Четкие изотопные аномалии воды в современной и древней атмосфере Марса

### 11 Осаждение фосфора в форме полифосфата бактериальными симбионтами губок

## Nature • PNAS • Science: рефераты статей

### 13 Естественные и точные науки

### 25 Медицинские науки и общественное здравоохранение

### 32 Техника и технологии

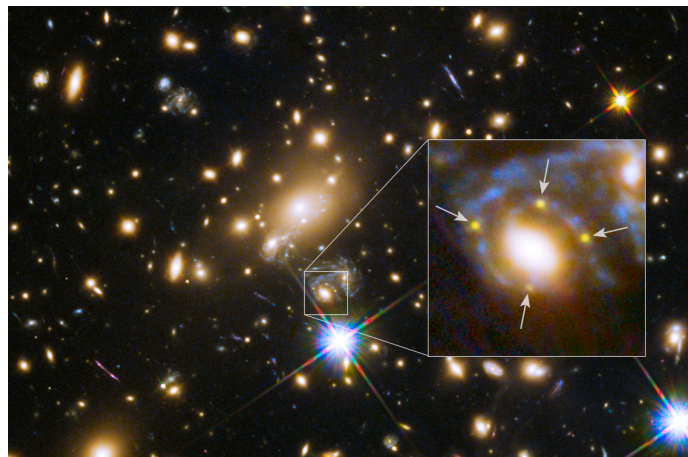
### 37 Социальные науки



# Самое интересное в рефератах

## Топ-10 статей текущего номера

**1. Астрономы наблюдали взрыв сверхновой четыре раза.** Благодаря космическому телескопу и явлению гравитационного линзирования астрономам удалось впервые четырежды наблюдать вспышку одной и той же сверхновой. Гравитационные линзы — одно из самых интересных следствий общей теории относительности и одно из наиболее ярких ее доказательств. По выкладкам Эйнштейна, любая масса, деформируя структуру пространственно-временного континуума, заставляет свет отклоняться от строго прямолинейной траектории. В некоторых случаях, если масса достаточно велика, это создает эффект, подобный обычной оптической линзе. Изображение объекта, расположенного за такой гравитационной линзой, оказывается увеличенным и искаженным. Первую гравитационную линзу открыли в 1979 году, но ранее ученые не наблюдали «крест Эйнштейна» от взрыва сверхновой. *Реферат на с. 13.*



Крест Эйнштейна — гравитационная линза превратила вспышку сверхновой в четыре вспышки / NASA/ESA/FrontierSN team/GLASS team/Frontier Fields team/CLASH team



Самая быстрая звезда US 708 выброшена термоядерным взрывом / NASA/CXC/U.Texas

**2. Самая быстрая звезда Галактики выброшена термоядерным взрывом.** С помощью телескопов обсерватории Кека (W.M. Keck Observatory) и Pan-STARRS1 на Гавайях астрономы обнаружили звезду, которая стала в своем роде рекордсменом среди светил нашей Галактики. Она движется с небывалой скоростью в 1200 км/сек, или 2,7 млн км/час, что примерно на 750 км/сек быстрее средней звездной скорости в Галактике. Ее скорость настолько высока, что звезда, преодолев силу притяжения Млечного Пути, буквально вылетела из него. В отличие от других «свободных» звезд-путешественниц, это компактное небесное тело, как выяснили ученые, было изгнано очень мощным термоядерным взрывом сверхновой. Результаты данных наблюдений доказывают связь между гелиевыми звездами и термоядерными сверхновыми. *С. 13.*

**3. Эволюция нервной системы — от гребневики до человека.** Группа ученых из США проследила эволюцию калиевых каналов — важных элементов нервной системы, и сделала вывод, что многие из них появились уже почти в современном виде около 600 миллионов лет назад у общего предка почти всех современных видов животных, кроме самых примитивных. Одним из первых от общего эволюционного ствола отделились гребневики. Гребневики в значительной степени представляют загадку для ученых, даже несмотря на то, что их геном некоторое время назад был прочитан. Существует теория, что гребневики — наиболее архаичные животные из дошедших до нас. *С. 20.*



Гребневик (Ctenophora) / Derek Keats/Flickr



**4. Зачем бабочке хвост.** С помощью высокоскоростной камеры исследователи засняли атаку кожанов на «хвостатых» бабочек-сатурний. Оказалось, что более чем в половине случаев летучие мыши нацеливаются на удлиненные выросты крыльев насекомых, так что в результате хищник либо промахивается, либо в лучшем случае повреждает «хвосты». Авторы предполагают, что длинные выросты служат дополнительным отражателем для ультразвуковых сигналов летучих мышей и те принимают «хвост» за самостоятельную добычу. То есть сатурнии указывают им ложное направление для атаки. В дальнейшем исследователи собираются проверить других «хвостатых» бабочек на предмет того, могут ли они обманывать летучих мышей своими выростами на крыльях. С. 19.



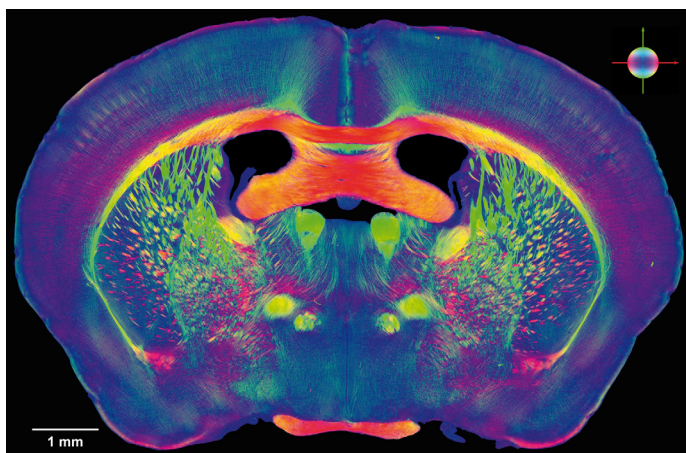
«Хвостатая» бабочка сатурния луна (*Actias luna*) / John Cancalosi/National Geographic Creative/Corbis



Фрагмент челюсти одного из древнейших представителей *Homo* / Kaye Reed

**5. Ранние *Homo* были значительно разнообразнее.** Новые данные показывают, что род *Homo* появился и начал дивергировать раньше, чем считалось до сих пор, и ни один из его ранних видов не является очевидным предком современного человека. В совместной статье британских, германских и танзанийских антропологов рассматриваются новые, более точные реконструкции типового экземпляра *Homo habilis* OH7 (возраст 1,8 млн лет), найденного в 1960 году в Олдувайском ущелье Танзании. Сравнение реконструированной челюсти с другими известными челюстями ранних *Homo* и австралопитеков, а также современных людей, шимпанзе и горилл показало, что челюсть OH7 «примитивна», то есть имеет ряд архаичных признаков, сближающих ее с австралопитеками. Между тем, известны находки ранних *Homo*, в том числе и более древние, чем OH7, у которых челюсти уже имели «человеческий» облик. С. 24.

**6. При составлении карты мозга мышей найдены новые типы клеток.** Шведские ученые обнаружили 7 ранее неизвестных типов клеток в мозге мышей. Они использовали единичную клеточную последовательность для создания детализированной карты мозга. Эта карта включает различные типы клеток, а также генов, которые в них находятся. Впервые в истории науки данный метод был использован на столь сложной ткани. С помощью карты эксперты идентифицировали 47 разновидностей клеток, включая 6 ранее неизвестных олигодендроцитов — клеток, которые изолируют нервные клетки. Были найдены и ранее неизвестные нервные клетки. Это открытие является существенным потому, что может пролить свет на такие болезни, как рассеянный склероз. С. 25.



Amunts, Zilles, Axer et. al. (Forschungszentrum Jülich)



**7. Разработано самоочищающееся покрытие, которое можно нанести практически на любой материал.** Ученые создали краску, которая позволяет никогда не мыть автомобиль, окна или одежду. В состав ее входят наночастицы диоксида титана, придающие покрытию экстраординарную водостойкость. Важно отметить, что удалось разработать материал, являющийся гораздо более устойчивым, чем все предыдущие аналоги, которые можно было удалить с поверхности простой салфеткой. Нанопокрывание с диоксидом титана настолько прочно, что выдерживает даже обработку наждачной бумагой. С. 33.



Капли масла на поверхности ваты, покрытой супергидрофобной самоочищающейся краской. Размер капель  $6,3 \pm 0,2$  мл / Yao Li, et. al.



Martin Bernetti/AFP/Getty Images

**8. Бионический лист производит жидкое топливо.** Профессор Даниэль Носера стал широко известен в области возобновляемых источников энергии, когда в 2011 г. он изобрел искусственный лист. На свету такой лист расщепляет воду на кислород и водород, а процесс фотосинтеза в нем происходит примерно в 10 раз эффективнее по сравнению с природным листом. В новой работе Даниэля Носера и его коллег из Гарвардского университета описана возможность объединения в одном процессе преобразования солнечной энергии фотоэлементами с производством биотоплива бактериями. С. 34.

**9. Речевой центр нашего мозга отключается, когда мы начинаем говорить.** В левом полушарии нашего мозга находится особый участок, известный как зона Брока, который является речевым центром. Недавнее исследование нейробиологов из Университета Нью-Йорка обнаружило странное явление — когда мы говорим, эта зона отключается. Оказалось, что во время произнесения слов любой длины центр Брока не посылает заметных сигналов. Он работает, когда человек обдумывает слово, а как только испытуемый начинает произносить его вслух, становится менее активным. С. 37.

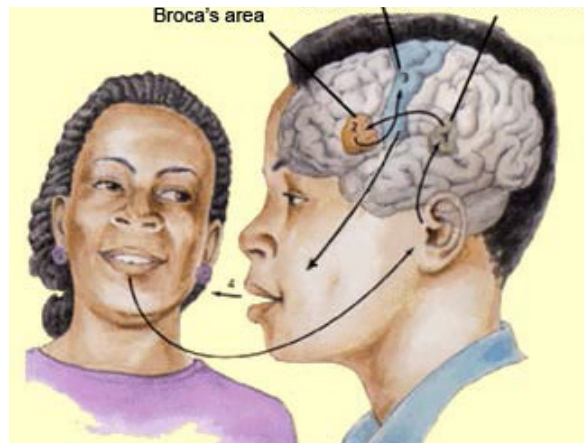
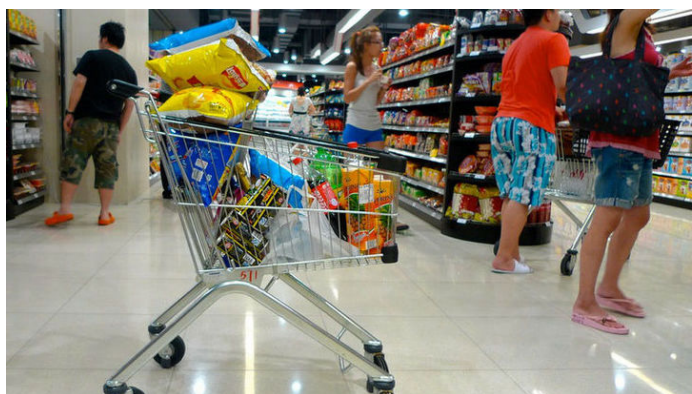


Схема участия центра Брока в коммуникации / pfyrh2.files.wordpress.com



Отправляясь в магазин на голодный желудок, потребители рискуют потратить больше денег, чем планировали / David/Flickr

**10. Чувство голода заставляет людей делать больше покупок.** Команда исследователей из США и Китая обнаружила: когда люди чувствуют голод, они не просто покупают в магазинах больше еды, они приобретают также больше непродовольственных товаров. Ученые пришли к выводу, что когда мы голодны, наш желудок выделяет гормон под названием грелин. Он действует на вентромедиальную префронтальную кору головного мозга, которая отвечает за награду и мотивацию и заставляет человека искать и потреблять калории. С. 37.

## В Якутске объявили об открытии уникального международного центра «Молекулярная палеонтология»

Центр будет работать на базе института прикладной экологии Севера Северо-Восточного федерального университета (ИПЭС СВФУ)

Центр коллективного пользования «Молекулярная палеонтология» станет первым и единственным местом в России, где на новейшем оборудовании с использованием уникальных технологий будут проводиться исследования по поиску живых клеток мамонта и изучению ДНК древних животных. Одна из важнейших целей центра — изучение живых клеток Малоляховского мамонта.

«Центр будет открыт 17 марта. Задачи, которые он будет решать, представлены двумя основными направлениями. Во-первых, это изучение клеток Малоляховского мамонта в рамках совместного проекта СВФУ и фонда биотехнологических исследований SOOAM «Возрождение мамонта и других ископаемых животных». Во-вторых, исследование ДНК других ископаемых животных, сравнение их с современными видами», — отметил главный научный сотрудник лаборатории «Музей мамонта» ИПЭС СВФУ Семен Григорьев.



В СВФУ открывается Центр молекулярной палеонтологии / СВФУ

*Для справки: Малоляховский мамонт был обнаружен на острове Малый Ляховский Новосибирского архипелага в море Лаптевых в 2013 году. У мамонтихи, погибшей 43 тысячи лет назад из-за того, что она попала в расщелину с холодной водой и не смогла оттуда выбраться, загадочным образом сохранились мягкие ткани, мышцы и даже кровь (хотя некоторые ученые и считают найденную жидкость постмортальной жидкостью).*

*По материалам Северо-Восточного федерального университета*

## В Томске разработан первый в России биополимер, из которого можно «напечатать» части костей

Сотрудники лаборатории каталитических исследований Томского госуниверситета (ТГУ) первые в России разработали метод получения биоразлагаемых полимеров на основе полимолочной кислоты

Из биополимера с использованием технологий 3D-печати можно «напечатать» необходимые кости и их фрагменты. «Недостающий фрагмент можно напечатать на 3D-принтере. Для этого биополимер загружается в экструдер, вытягивается в виде нити, которая и послужит материалом для трехмерной печати. Использование технологий 3D-печати позволяет изготавливать медицинские изделия практически любой формы», — привели в пресс-службе слова одного из разработчиков, младшего научного сотрудника лаборатории Ольги Гордеевой.

Поскольку полимер биоразлагаем, отпадает необходимость в повторной операции по извлечению импланта. По истечении трех-шести месяцев он полностью разлагается и замещается костной тканью. Биополимеры активно используются за рубежом в челюстно-лицевой хирургии, а также в стоматологии в качестве связующего компонента. Этот материал служит матрицей для наполнителя, например, для гидроксиапатита, являющегося основной минеральной составляющей костей.



Биоразлагаемый полимер, созданный в Томском госуниверситете / ТГУ

Российский биополимер дешевле зарубежных аналогов. В среднем 5 граммов зарубежного полимера стоят около 300 евро. «Думаю, процентов на 30 наш полимер будет дешевле», — сказал он. Также биополимер может служить оболочкой для стоматологических лекарств длительного действия. Разлагаясь в установленные сроки, он будет постепенно высвобождать препарат, обеспечивая лечебный эффект.

В настоящее время ученые ТГУ работают с коллегами из Сибирского государственного медуниверситета и другими медицинскими организациями по разработке набора моделей наиболее ходовых биоразлагаемых имплантов. Разработки тестируются в некоторых стоматологических клиниках.

*По материалам ТГУ*



## Исследование американских ученых о редактировании ДНК вызвало резонанс среди генетиков

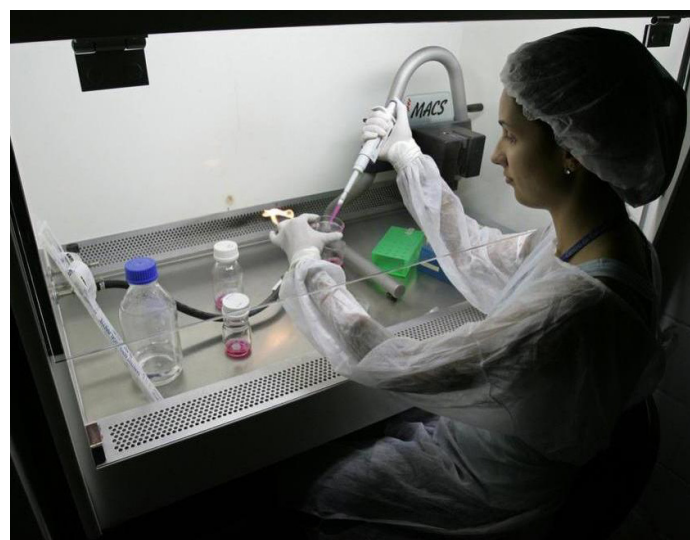
Ученые-генетики из США при помощи технологии точного редактирования генов предприняли очередную попытку видоизменить ДНК яйцеклетки человека

Данный эксперимент был проведен с целью избавления будущего потомства от наследственных заболеваний, передающихся эмбриону от родителей. Ряд экспертов-биологов выступили против подобных исследований.

По сообщению газеты *The Independent*, генетики провели исследование на овариальных клетках женщин, у которых была диагностирована онкология яичников, причем передавшаяся им по наследству. Несмотря на то, что результаты работы медиков еще не были официально опубликованы, издание отмечает, что основной задачей ученых было при помощи генного редактирования получить искусственно оплодотворенную яйцеклетку, свободную от генетических и наследственных заболеваний.

В Великобритании, как и во многих других странах, изменение хромосом в яйцеклетке или сперматозоидах человека с целью получения искусственно оплодотворенного эмбриона запрещено законом из-за опасений, что «конструирование младенцев» будет поставлено на поток.

Несмотря на это, развитие метода простого «редактирования ДНК» сможет в будущем помочь многим парам, которые пострадали из-за негативной наследственности, родить абсолютно здоровых детей. С другой стороны, несмотря на то,



Новый метод редактирования ДНК позволит снизить риск наследственных заболеваний / *The Independent*

что сразу несколько исследовательских групп по всему миру пытаются освоить тонкости генной редакции, в научных медицинских кругах и в среде ученых-генетиков разразились бурные дебаты об этической стороне данных исследовательских работ.

Ряд специалистов даже опубликовали петицию, в которой они призвали коллег приостановить эксперименты на человеческих эмбрионах, сперматозоидах и яйцеклетках с применением новейших технологий. Мораторий, как предполагают авторы обращения, можно будет отменить только после совместной разработки своеобразного кодекса этики в вопросах генной редакции.

По материалам *RT, The Independent*

## Ученые изобрели аппарат для производства молекул

Химики из Университета Иллинойса (*University Of Illinois*) во главе с профессором Мартином Берком (*Martin D. Burke*) создали машину для сборки сложных малых молекул

Механизм работает подобно 3D-принтеру, только на молекулярном уровне, а не на уровне материалов. Исследователи описали технологию в мартовском выпуске журнала *Science News*.

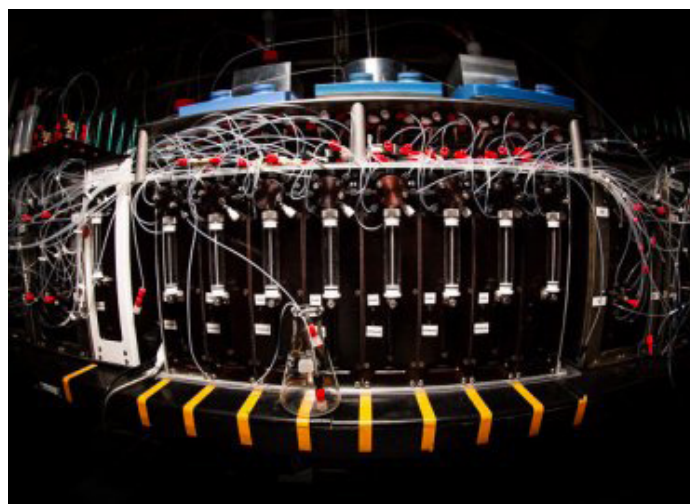
Малые молекулы — особый класс сложных, компактных химических структур. Они очень важны в медицине — большинство лекарств представляют собой небольшие молекулы, они используются в качестве зондов для исследования внутренних процессов в клетках и тканях. Однако малые молекулы, как известно, трудно сделать в лаборатории. Традиционно высококвалифицированный химик тратит годы, пытаясь выяснить, как сделать молекулу в каждом конкретном случае.

«Исследование доктора Берка позволит добиться значительного прогресса, который поможет сделать сложный синтез малых молекул более эффективным, гибким и доступным», — сказал представитель Национального института медицинских наук (*National Institute of Health*) Майлс

Фабиан (*Miles Fabian*), который частично финансировал исследование.

Автоматизированный процесс может значительно ускорить и упростить разработки новых лекарственных средств и других технологий, которые опираются на небольшие молекулы.

Источник: *Science News, March 12, 2015, Physics & Chemistry, University of Illinois at Urbana-Champaign*



Аппарат для сборки сложных малых молекул / *Science News*



# In Advance

Уважаемые читатели! Онлайн-издания *Nature Advance*, *PNAS Early Edition* и *Science Advances* ежедневно обновляют ленту новых публикаций. Сюда попадают отобранные редакциями трех журналов статьи до их выхода в печатных версиях изданий. Часть из этих статей теперь доступна в обзоре нашей рубрики *In Advance*.

## *Nature Advance* • Науки о Земле

### Гигантские сдвоенные боковые пластины фильтров аномалокариса свидетельствуют о гомологии их туловищных конечностей

Anomalocaridid trunk limb homology revealed by a giant filter-feeder with paired flaps. Peter Van Roy, Allison C. Daley, Derek E. G. Briggs. *Nature* (2015) doi:10.1038/nature14256. Published online 11 March 2015

Крупнейшими жителями Мирового океана древней Земли в кембрийское время были гигантские двухметровые хищные «креветки» — аномалокарисы. Они выглядели довольно причудливо. У аномалокарисов не было конечностей, кроме двух гибких «усов» у ротового отверстия, которыми они ловили и разрывали трилобитов и других мелких беспозвоночных. Тем не менее, они хорошо плавали, изгибая пластинчатое тело. Палеонтологи считали, что аномалокарисы вымерли достаточно быстро, на рубеже кембрия и ордовика, когда появились первые рыбы и новые виды беспозвоночных.

Как выяснили Питер ван Рой (Peter Van Roy) из Йельского университета (США) и его коллеги, часть аномалокарисов все же пережили этот рубеж. Рой и его коллеги проводили раскопки на территории Северного Марокко, где залегают сланцы раннеордовикского возраста.

В этих отложениях им удалось найти сразу несколько десятков фрагментов панцирей крупных аномалокарисов, а также целый набор хорошо сохранившихся усов этих беспозвоночных существ. Ученые назвали новое ископаемое

животное *Aegirocassis benmoulae* в честь древнескандинавского демона моря Эгира, и марокканского палеонтолога Мохаммеда Бен Мулы, открывшего залежи этих осадочных пород с окаменелостями. По своей структуре усы этого аномалокариса оказались крайне необычными по сравнению с классическими хищниками кембрия — они были заполнены длинными и разветвленными волокнами, похожими на своеобразные щеточки.

Похожей структурой обладают усы китов и жаберы китовых акул, что заставило авторов статьи заключить, что их обладатель занимал схожую экологическую нишу и питался планктоном.

Другой необычной чертой этого существа было наличие у него одного, а двух рядов боковых пластин на поверхности панциря, что, видимо, помогало ему добывать пищу, фильтруя через пластины больше планктона. Более ранние, кембрийские аномалокарисы не обладали такой чертой, что свидетельствует о том, что поздние гигантские креветки пытались приспособиться к растущей конкуренции в первичном океане планеты. Судя по возрасту окаменелости (480 млн лет), это был один из последних аномалокарисов, которым удалось дожить до начала ордовикского периода.



Иллюстрация: Окаменелые останки гигантской древней креветки, найденной в Марокко / Peter Van Roy, Yale University

## PNAS Early Edition • Медицина

### Инфицирование вирусом Эбола сопровождается значительной иммунной активацией

Human Ebola virus infection results in substantial immune activation. Anita K. McElroy, Rama S. Akondy, Carl W. Davis, et. al. PNAS. 2015. Published ahead of print March 9, 2015. doi:10.1073/pnas.1502619112

В Западной Африке уже 15 месяцев бушует вспышка лихорадки Эбола. Число погибших приближается к 10 тысячам. Однако ученым и медикам по-прежнему очень немного известно о том, что происходит с иммунитетом человека после заражения эболавирусом. Исследователи из университета Эмори и Центра по контролю и профилактике заболеваний США огласили первые результаты изучения иммунной реакции четырех пациентов, переживших заболевание. Все они получили медицинскую помощь в больнице при университете Эмори в 2014 г.

Данные, полученные в ходе исследований, подтвердили существующую гипотезу: если пациенты получают ранний уход и своевременную помощь, это может дать им шанс побороть инфекцию. Если пациента доставить в больницу до того, как его иммунная система «погибнет», вероятность летального исхода сокращается на 20%. Ученые наблюдали за деятельностью Т-клеток и В-клеток во время острой фазы болезни. Результаты показали удивительно высокий уровень активации иммунной системы. Это опровергает мнение о том, что инфекция ви-



Разработать вакцину от Эболы помогут исследования иммунитета выживших / John Spink/The Journal & Constitution/AP

руса Эбола является иммуносупрессивной. По крайней мере, у всех четырех изученных пациентов зафиксированы явные признаки активации Т- и В-клеток. Работа подчеркивает значимость поддерживающей терапии в обеспечении ответа иммунной системы на вирусную инфекцию. Ученые пришли к выводу, что уровень иммунной активации каждого пациента отражает относительную интенсивность течения болезни. Из четырех пациентов первые два тяжело переносили заболевание, третий — еще тяжелее (ему потребовались респираторная поддержка и заместительная почечная терапия), а вот четвертый пережил геморрагическую лихорадку Эбола сравнительно легко. Как оказалось, у первых трех пациентов во время лечения проявилась лимфопения — низкий уровень иммунных клеток в крови. Тем не менее, была активирована чрезвычайно большая часть их В- и Т-клеток. Результаты исследования могут быть чрезвычайно полезными при разработке вакцины против лихорадки Эбола.

## Science Advances • Астрономия и планетология

### Четкие изотопные аномалии воды в современной и древней атмосфере Марса

Strong water isotopic anomalies in the martian atmosphere: Probing current and ancient reservoirs. G. L. Villanueva, M. J. Mumma, R. E. Novak, et. al. Science (2015) DOI: 10.1126/science.aaa3630. Published Online March 5 2015.

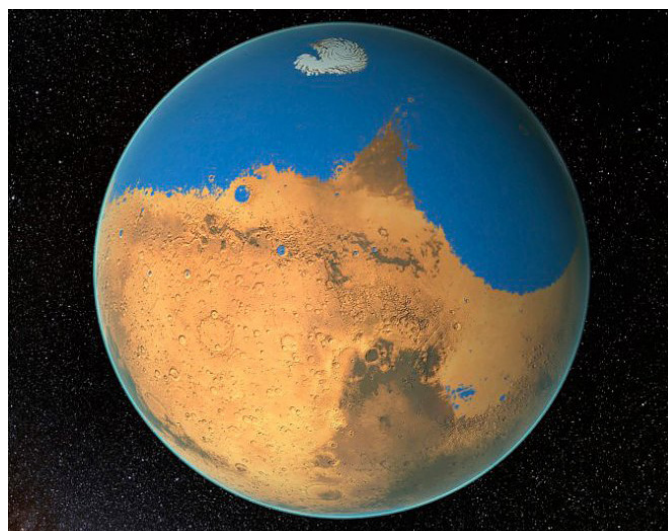
То, что на Марсе когда-то была вода, сейчас можно считать установленным фактом. На наличие воды указывают рельеф поверхности планеты, а недавно ученые составили карту распределения воды в атмосфере Марса. Однако до последнего времени не было четкого представления о том, сколько воды находилось ранее на Красной планете. Группа американских ученых под руко-

водством Джеронимо Вильянуэва (Geronimo Villanueva) из космического центра NASA изучила распределение водяного пара в марсианской атмосфере и пришла к выводу, что раньше на Марсе существовал океан.

Современный Марс суше пустыни Сахары, хотя вода на нем осталась в виде ледяных шапок и вечной мерзлоты в глубине почвы. Для подсчета объема воды, содержащейся на планете в прошлом, ученые измерили количество изотопов водорода в атмосфере планеты, воспользовавшись двумя мощными телескопами. По оценкам исследователей, порядка 4,3 млрд лет назад на Марсе существовал огромный океан. Предполагается, что водная масса не была распределена по поверхности суши равномерно, а концентрировалась в северном полушарии. Марсианский океан покрывал 19% поверхности планеты (для сравнения, Атлантический океан занимает 17% поверхности Земли), а в некоторых впа-



динах глубина воды достигала 1,6 км. Таким образом, по объему он был больше, чем Северный Ледовитый океан. Сейчас на Марсе воды в 6,5 раз меньше, что говорит о невероятной потере планетой воды, начавшейся 3,7 млрд лет назад. Состав воды и ее химическое строение также претерпели изменения. Ученые NASA отмечают, что оставшаяся на Марсе вода — это преимущественно HDO (вместо H<sub>2</sub>O), где D — дейтерий, заменивший атом водорода. Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что марсианская вода испарялась гораздо дольше, чем предполагалось ранее, а значит, если на планете была жизнь, то и она имела возможность просуществовать там более длительное время. Свои наблюдения астрономы проводили в Обсерватории Кека и Европейской южной обсерватории. Продолжить анализ содержания воды на Марсе ученые собираются при помощи зонда MAVEN, который в сентябре 2014 г. достиг Красной планеты.



Реконструкция вида Марса в период около 4 млрд лет назад / NASA

## PNAS Early Edition • Науки о Земле

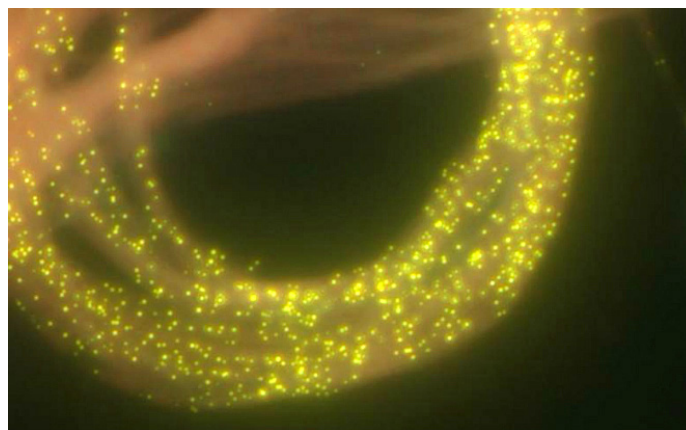
### Осаждение фосфора в форме полифосфата бактериальными симбионтами губок

Phosphorus sequestration in the form of polyphosphate by microbial symbionts in marine sponges. Fan Zhang, Leah C. Blasiak, Jan O. Karolin, Ryan J. Powell, Chris D. Geddes, Russell T. Hill. PNAS. 2015. Published ahead of print February 23, 2015, doi:10.1073/pnas.1423768112

Морские губки проживают на дне океана и являются важным компонентом рифовой экосистемы. Ученым уже давно известно, что морские губки фильтруют тысячи литров морской воды ежедневно и выделяют из нее питательные вещества. Именно поэтому вода вокруг коралловых рифов чистая и прозрачная. Теперь же исследователи из Центра науки об окружающей среде при Университете Мэриленда обнаружили, что цианобактерии, проживающие на морских губках, собирают из воды фосфор для питания рифовой экосистемы. В ходе научной работы исследователи изучали три различных вида морских губок из Карибского бассейна. Первые губки заселили океаны около 750 млн лет назад, когда морская жизнь начала быстро развиваться.

Примерно в то же время глубокие воды океанов насытились кислородом. Это преобразование традиционно соотносят с так называемым «кембрийским взрывом» — внезапным расцветом биоразнообразия. Ученые полагают, что именно ранние животные (в частности губки) привели к росту концентрации кислорода в водах, а не наоборот. Губки находятся в постоянном взаимодействии с бактериями и микроорганизмами, которые могут занимать до 40% общего объема губки. Эти бактерии могут снабжать организм губок важными питательными

веществами, осаждаемыми из морской воды, в частности — фосфором. Фосфор — питательный элемент, очень важный для жизни. Но вокруг коралловых рифов его концентрация очень низка. Результаты нового исследования показали, что фосфор захватывается бактериями, такими как *Leptolyngbya*, проживающими в губках видов *Ircinia strobilina* и *Xestospongia muta*. Затем фосфор превращается микроорганизмами в полифосфаты — форму фосфора, удобную для питания рифового сообщества. Полифосфаты можно обнаружить почти во всех организмах: они сохраняют фосфор и предоставляют запас энергии. Полифосфатные соединения обнаруживаются при изучении организмов с помощью электронной микроскопии и выглядят как крошечные белые кластеры или гранулы. Этот механизм функционирует на протяжении миллионов лет, а ученые только сейчас начали понимать, как рифы получают фосфор из воды.

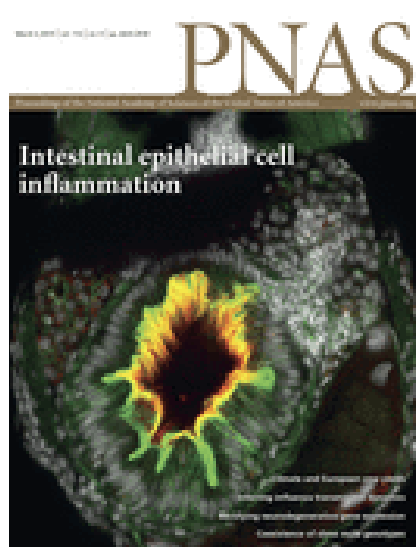


Штаммы цианобактерий рода *Leptolyngbya*, выделенные из морской губки вида *Ircinia strobilina* с внутриклеточными гранулами полифосфатов (желтая флуоресценция) / Fan Zhang/University of Maryland Center of Environmental Science

Vol. 519. No 7541  
5 марта 2015 года



Vol. 112. No 9  
3 марта 2015 года



Vol. 347. No 6226  
6 марта 2015 года



Nature · PNAS · Science: рефераты статей

### 13 Естественные и точные науки

- 13 Физика и астрономия
- 16 Биологические науки
- 21 Науки о земле и смежные экологические науки
- 24 Прочие естественные и точные науки

### 25 Медицинские науки и общественное здравоохранение

- 25 Фундаментальная медицина
- 27 Клиническая медицина

### 32 Техника и технологии

- 32 Электротехника, электронная техника, информационные технологии
- 33 Нанотехнологии
- 34 Промышленные биотехнологии
- 36 Технологии материалов

### 37 Социальные науки

- 37 Психологические науки
- 38 Социологические науки
- 39 Политологические науки



## Множественные изображения сильно увеличенной сверхновой в гравитационной линзе кластера галактик в ранней Вселенной

Multiple images of a highly magnified supernova formed by an early-type cluster galaxy lens. Patrick L. Kelly, Steven A. Rodney, Tommaso Treu, et al. Science. 2015. Vol. 347. No 6226. P. 1123–1126.

Гипотеза о том, что свет от взрыва сверхновой звезды может прийти к наблюдателю по нескольким траекториям вблизи сильной гравитационной линзы, была выдвинута около 50 лет назад. По таким изображениям можно измерить скорость расширения Вселенной. Несколько десятилетий делались безуспешные попытки обнаружения кратных изображений сверхновых вокруг гравитационных линз. В данной работе сообщается об открытии 11 ноября 2014 г. четырехкратного изображения сверхновой (так называемого креста Эйнштейна) вокруг эллиптической галактики (с красным смещением  $z = 0,54$ ), принадлежащей к кластеру галактик MACS J1149.6+2223, образовавшемуся при гравитационном линзировании света. Гравитационный потенциал кластера может приводить также к эффекту линзирования излучения сверхновых из более далекой спиральной галактики с красным смещением  $z = 1,49$ , имеющей угловое смещение  $3,3''$  относительно центра эллиптической галактики, поэтому в будущем можно ожидать и такие события. Несмотря на то, что данные о расположении галактик, свет от которых испытывает гравитационное линзирование, в настоящее время уже широко используются для построения распределения вещества в гравитационных линзах, обнаружение фоновых источников с хорошо известной формой кривой блеска, таких как у сверхновых, позволяет выполнить значительно более точные космологические измерения, поскольку временная задержка между каждой парой множественных изображений измеряется с высокой точностью. В качестве объектов, свет которых также подвергается линзированию, подходят и квазары, но для них линзирование в гравитационном потенциале кластеров галактик является очень редким событием, и требуется длительный набор наблюдательной информации, так как кривые блеска квазаров имеют сложный характер. В отличие от этого, все сверхновые имеют значительно более простые кривые блеска. Наблюдения выполнялись в ближнем инфракрасном диапазоне с помощью телескопа Хаббла по программе GO-13459 (Grism Lens-Amplified Survey). Проект первоначально был ориентирован на поиск удаленных галактик с красным смещением  $z > 6$  и близких к ним пространственно разделенных галактик. Полученное изображение линзы красной эллиптической галактики окружено четырьмя изображениями сверхновой (крест Эйнштейна). Максимальная временная задержка между временем регистрации соседних изображений составляет всего 0,2 с. Для интерпретации результатов наблюдений было построено несколько моделей кластерного потенциала, включая потенциал эллиптической галактики. Результаты моделирования и анализ архивных изображений позволили отвергнуть предположение о том, что источником четырех изображений является активное ядро удаленной галактики, а не сверхновая. Полученные результаты свидетельствуют о мощном потенциале метода гравитационного линзирования сверхновых для построения геометрии и распределения материи во Вселенной.

Г. В. Дедков

## Самая быстрая несвязанная звезда Галактики, выброшенная термоядерным взрывом сверхновой

The fastest unbound star in our Galaxy ejected by a thermonuclear supernova. S. Geier, F. Fürst, E. Ziegerer, et al. Science. 2015. Vol. 347. No 6226. P. 1126–1128.

Звезды с гипервысокими скоростями собственного движения способны покинуть нашу Галактику. Несколько ускорительных механизмов было предложено для объяснения этого факта. Согласно наиболее распространенной теории, тесные двойные системы могут разрываться притяжением сверхмассивной черной дыры в центре Галактики, и в результате один из компонентов может получить гипервысокую скорость. Только одна из звезд этого типа (US 708, HVS 2) является компактной гелиевой звездой. Она имеет peculiarную скорость  $\sim 1200$  км/с и является самой быстрой звездой Галактики. В альтернативном эволюционном сценарии US 708 была выброшена из ультракомпактной двойной системы при взрыве сверхновой звезды типа Ia. Прежние наблюдения, однако, не давали возможность проследить ее дальнейшую эволюцию более определенно. В работе получены убедительные доказательства в пользу второго сценария. В отличие от всех других звезд с большими peculiarными скоростями, US 708 классифицируется как субкарликовая звезда типа sdO/B. Такие звезды быстро вращаются, излучают за счет гелиевых термоядерных реакций и имеют массу порядка 0,5 от массы Солнца. Примерно половина звезд типа sdO/B находится в тесных двойных системах с периодами орбитального вращения от 0,1 до 30 сут. Горячие субкарлики считаются ядрами звезд-предшественниц — красных гигантов, лишившихся водородной оболочки в результате взаимодействия с близкой звездой-компаньоном. Однако известны также и одиночные звезды типа US 708. В рассматриваемом случае ситуация усложняется еще тем обстоятельством, что звезда US 708 находится в фазе сгорания гелия, которая длится всего лишь несколько десятков миллионов лет, тогда как другие звезды с большими собственными скоростями относятся к звездному населению главной последовательности. В рассмотренном авторами модельном сценарии массивный белый карлик (БК) находился в тесной паре с гелиевой звездой-компаньоном. В результате критической аккреции части гелия с этой звезды на БК возникла волна детонации, в результате которой произошел термоядерный взрыв углеродно-кислородной массы БК. Подобная ультракомпактная двойная система, включающая sdB и БК (двойная система CD-30°11223), была идентифицирована недавно и рассматривается как кандидат на аналогичный сценарий. Спектроскопический и кинематический анализ звезды US 708 основывается на данных наблюдений, выполненных на спектрографе обсерватории Кеск (Гавайские острова). Использовались также архивные данные обзора PanSTARRS и результаты наблюдений на телескопе Паломарской обсерватории. Текущее расстояние звезды US 708 составляет  $8,5 \pm 1$  кпс, она пересекла галактический диск примерно  $14 \pm 4,1$  млн лет назад и движется из галактической плоскости в область гало. Образование US 708 в результате выброса из центра галактики отвергается по кинематическим соображениям. Таким образом, сценарий выброса при взрыве сверхновой представляется наиболее вероятным. В то же время этот механизм не объясняет происхождение других звезд Галактики с гипервысокими скоростями.

Г. В. Дедков

## Исследование шума Джонсона и баллистического транспорта в нормальных металлах с помощью односпиновых кубитов

Probing Johnson noise and ballistic transport in normal metals with a single spin qubit. S. Kolkowitz, A. Safira, A. A. High, et al. Science. 2015. Vol. 347. No 6226. P. 1129–1132.

Термически индуцированные случайные электрические токи (шумы Джонсона со спектром  $1/f$ ) создают флуктуационные электромагнитные поля вблизи поверхности проводников, зависящие от проводимости (диэлектрических характеристик) материалов. Исследование электромагнитных флуктуаций, процессов диссипации и транспорта электронов на субмикрометровых масштабах имеет первостепенное значение для дальнейшей миниатюризации электронных и оптоэлектронных приборов, создания атомных и ионных ловушек, а также электрического контроля твердотельных квантовых цепей. В работе выполнено исследование флуктуационного электромагнитного поля, создаваемого шумом Джонсона вблизи проводящих пленок серебра, с использованием односпиновых кубитов на основе азотных вакансионных центров (АВЦ) в алмазе. Пленки серебра имели толщину от 20 до 200 нм, а их температура варьировалась в пределах от 10 до 300 К. Электроперенос в образцах малого размера характеризуется наличием квантовых эффектов, отсутствующих в макроскопических цепях, однако в большинстве экспериментов, связанных с изучением баллистического транспорта электронов, имеются омические контакты с макроскопическими проводниками, обладающие конечным сопротивлением. Это затрудняет изучение квантовых эффектов прохождения тока. В данной работе авторы применили неинвазивный метод исследования электронного транспорта в металлической пленке, детектируя спектральные, пространственные и термические характеристики шума Джонсона по воздействию флуктуационного магнитного поля (генерируемого шумом) на спиновое состояние одиночных АВЦ в алмазе. АВЦ создавались путем имплантации на глубине  $\sim 15$  нм от поверхности алмазного образца с толщиной 30 мкм. Пленка серебра напылялась или закреплялась на поверхности алмаза. В отсутствие внешнего поля спиновые состояния АВЦ  $\zeta m_s = 0$  и  $\zeta m_s = \pm 1$  имеют энергетическое расщепление  $D = 2\pi \cdot 2,88$  ГГц. Начальное спин-поляризованное состояние  $\zeta m_s = 0$  АВЦ создавалось накачкой лазерным излучением с длиной волны 532 нм. Флуктуационное магнитное поле уменьшает время спиновой релаксации состояний  $\zeta m_s = 0$ . Измерение скорости переходов в состояния  $\zeta m_s = \pm 1$  позволяет зондировать магнитный шум на частотах  $\omega_{\pm} = D \pm 2g\mu_B V_{\zeta\zeta}$ , где  $g = 2$  есть  $g$ -фактор электрона,  $\mu_B$  – магнетон Бора,  $V_{\zeta\zeta}$  – проекция магнитного поля на ось АВЦ. Спектральная плотность магнитного шума  $S_B$  вблизи пленки зависит от температуры  $T$ , проводимости  $s$  (в модели Друде) и расстояния  $d$  от поверхности по закону  $S_B \propto sT/d$ , а скорость релаксации спиновых состояний  $G$  зависит от  $S_B$  как  $G \propto S_B(1+0,5\sin^2(q))$ , где  $q$  – угол между осью магнитного диполя и направлением нормали к поверхности пленки. Расстояние  $d$  варьировалось путем контролируемого изменения толщины окисла  $\text{SiO}_2$  между пленкой серебра и алмазной подложкой. Результаты измерений показывают, что шум  $1/f$  подавляется на расстояниях менее длины свободного пробега электронов, в полном соответствии с моделью баллистического транспорта электронов.

Г. В. Дедков

## Дважды вырожденное ядро планетарной туманности Henize 2-428, масса которого превышает предел Чандрасекара

The double-degenerate, super-Chandrasekhar nucleus of the planetary nebula Henize 2-428. M. Santander-Garcia, P. Rodriguez-Gil, R. L. M. Corradi, D. Jones, B. Miszalski, H. M. J. Boffin, M. M. Rubio-Diez, M. M. Kotze. Nature. 2015. Vol. 519. No 7541. P. 63–65.

Звезды, имеющие массу в пределах  $1-8 M_{\odot}$  ( $M_{\odot}$  – масса Солнца), в конце эволюционного пути проходят стадию, в которой сброшенная оболочка образует планетарную туманность, а ядро коллапсирует. В последнее время было открыто много новых биполярных планетарных туманностей с двойными ядрами, в связи с чем была выдвинута гипотеза о том, что образование планетарных туманностей со сложной морфологией (с кольцами или выбросами) связано с наличием двойных карликовых звезд в центре, общая масса которых превышает предел Чандрасекара  $1,4 M_{\odot}$ . Природа этой сложной морфологии до конца не ясна, хотя и было предложено несколько альтернативных механизмов для ее объяснения (в том числе наличие тесных двойных ядер в центре). В работе сообщается об открытии двойного ядра в планетарной туманности Henize 2-428, общая масса которого, примерно равная  $1,76 M_{\odot}$ , превышает предел Чандрасекара. Этот результат представляется удивительным и не имеет аналога в настоящее время. Авторами была выполнена обширная программа фотометрического мониторинга центральных звезд планетарных туманностей, имеющих особенности структуры. Henize 2-428 является одной из них и обладает одним из самых коротких орбитальных периодов (4,2 часа) среди подобных объектов. Кинематический возраст оболочки показывает, что Henize 2-428 является эволюционирующей планетарной туманностью, однако наличие плотного ядра указывает на то, в центре тесной двойной системы продолжается выброс вещества. Этот выброс обусловлен тем, что из-за близости центральных звезд их внешние оболочки попадают в зону Роша и интенсивно разрушаются приливными силами. Основные данные были получены в четырех сериях наблюдений на телескопе Mercator (Лас-Пальмас) в период 28–30 августа 2009 г., когда была зарегистрирована переменность центрального источника туманности с амплитудой 0,36 зв. величины, связанная с орбитальным движением. Использовался метод фотометрии с временным разрешением в  $i$ -полосе (фильтр 0,78 мкм). Аналогичные наблюдения выполнялись также в полосе Johnson-B (фильтр 0,44 мкм) в июле и августе 2013 г. на других телескопах. Биполярная туманность находится на расстоянии  $1,4 \pm 0,4$  кпс от Солнца и состоит из двух открытых долей, выходящих из кольцевой области, наклоненной под углом  $68^\circ$  к плоскости небесной сферы, а угол между плоскостью орбиты двойной пары и плоскостью небесной сферы составляет  $63-66^\circ$ . Суммарная светимость двойной системы оценивается величиной  $845 L_{\odot}$  ( $L_{\odot}$  – светимость Солнца), а эффективная яркостная температура звезд составляет  $(20-40) \cdot 10^4$  град. Массы обеих карликовых звезд практически одинаковы, величина радиусов близка к  $0,7R_{\odot}$  ( $R_{\odot}$  – радиус Солнца), а орбитальное расстояние составляет  $(1,59 \pm 0,06) R_{\odot}$ . По совокупности данных авторы делают вывод о том, что обе звезды сольются примерно через 700 млн лет, в результате чего произойдет вспышка сверхновой звезды типа Ia.

Г. В. Дедков



## Новый тип полуквантовой циркуляции в макроскопическом конденсате поляритонного спиринового кольца

A new type of half-quantum circulation in a macroscopic polariton spinor ring condensate Gangqiang Liu, David W. Snoke, Andrew Daley, Loren N. Pfeiffer, Ken West. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2676–2681.

Рассматривается когерентная циркуляция в имеющем кольцевую форму макроскопическом конденсате Бозе-Энштейна, состоящем из поляритонов. Кольцевая форма конденсатов, по аналогии со сверхпроводящими кольцами, с недавних пор привлекает к себе внимание. Кольцевой конденсат дает возможность макроскопической суперпозиции состояний с различными направлениями циркуляции. Поляритоны, движущиеся под воздействием градиента резонанса, имеют преимущественно линейную поляризацию, ортогональную к их направлению движения. Когда эти поляритоны меняют свое состояние на другое с той же энергией, то они расщепляются на суперпозицию поляризаций, соответствующих новому направлению. Для противоположных направлений рассеяния направление вращения этой поляризации будет также противоположным. Хотя оптический эффект Холла может быть малым, но он дает составляющую, которая нарушает симметрию и обладает круговой поляризацией. Ниже порога конденсации нет значительной составляющей круговой поляризации фотолюминесценции кольца. Выше порога конденсации конденсат усиливает процессы рассеяния так, что любая малая асимметрия может привести конденсат к установлению новой симметрии. Поскольку одна и та же поляризация может удовлетворять граничным условиям кольца для любого направления вращения потока, то на-

блюдается случайная смена направления циркуляции. Недавние исследования с ловушкой для кольца, сгенерированного лазером, показали стоячую волну, образованную двумя противоположно распространяющимися поляритонными волнами, то есть суперпозицию двух волн. В данной работе время жизни поляритонов на порядок выше. Длительное время жизни позволяет поляритонам остыть и термализоваться, а конденсату в пределах кольца — оставаться в своем основном состоянии. Направление поляризации в этой системе зафиксировано, тогда как направление циркуляции потока в пределах кольца остается свободным. Лазер, сфокусированный в центр кольца, не вызывает никакой циркуляции. В результате мы наблюдаем случайную левую или правую циркуляцию, даже если поляризация фиксирована. Этот экспериментальный результат можно рассматривать как пример спонтанной перемены симметрии. При этом время когерентности фазы потока по меньшей мере в 100 000 раз больше времени жизни любой частицы конденсата. В рассматриваемой макроскопической кольцевой геометрии возможна различная топология циркуляции. Спин частиц может меняться по всему кольцу, тогда как сами частицы остаются одной макроскопической волной. Это состояние с меняющимся спином и квантованным потоком не может трансформироваться в состояние полуквантовой циркуляции без смены спина. Наблюдаемая здесь квантованная циркуляция представляет собой новый тип, поскольку возможна только в спиновом конденсате, имеющем форму кольца. Поскольку поляритонные конденсаты можно сравнительно легко получить в твердотельных системах, существующих при температурах вплоть до комнатной, то открывается возможность применения всевозможных эффектов сверхтекучести к оптическим видам связи.

*И. Ю. Лещанский*

## Независимый от личиночной фазы сигнальный путь инсулин/IGF-1 связан с перестройкой коллагена и долголетием

Dauer-independent insulin/IGF-1-signalling implicates collagen remodelling in longevity. Collin Y. Ewald, Jess N. Landis, Jess Porter Abate, Coleen T. Murphy, T. Keith Blackwell. Nature. 2015. Vol. 519. No 7541. P. 97–101.

Вмешательства, направленные против старения, стимулируют процессы, защищающие и восстанавливающие клетки, но их влияние на стабилизацию внеклеточного матрикса изучено мало. Сигнальный путь инсулин/IGF-1 (rIIS) связан с долголетием у эволюционно далеких организмов и вызывает отсрочку старения у *Coenorabditis elegans*, активируя характерные для «спящей» личинки процессы во взрослом организме и другие регуляторные механизмы с участием регуляторов Nrf (ортолога SKN-1) и DAF-16. В данном исследовании с использованием мутантных форм *C. elegans* было изучено значение SKN-1 для продления жизни нематод. Мутации второго класса в рецепторе инсулина/IGF-1 DAF-2 приводят к формированию личиночных черт у взрослых нематод при температуре более 20°C, что не характерно для мутаций первого класса. SKN-1 не участвует в формировании личиночных черт у взрослого организма и не принципиален для увеличения продолжительности жизни у мутантов *daf-2* второго класса при 20°C. При 15°C SKN-1 необходим для увеличения срока жизни мутантов *daf-2* второго класса, у которых низкая температура останавливает формирование спящей личинки. При РНК-интерференции *daf-2* SKN-1 важен для продолжительности жизни при любой температуре, поскольку личиночных черт у взрослых нематод не наблюдается. Зависимость определяемого rIIS долголетия от SKN-1 обратно пропорциональна присутствию личиночных черт. Напротив, SKN-1 важен для повышения продолжительности жизни с участием rIIS без активации процессов, характерных для спящей личинки. Таким образом, rIIS продлевает жизнь с участием двух взаимодействующих сигнальных путей. На микроципах было найдено 429 генов, стимулирующихся SKN-1, и 477 генов, подавляемых этим регулятором. Многие из них связаны с долголетием. Перекрытие этого набора генов с набором генов, активных у личинок невелико. Важную долю в этом наборе занимают коллагены. С участием SKN-1 повышается содержание коллагенов, формирующих кутикулу, многие из которых утрачиваются с возрастом. Эти коллагены активно экспрессируются у *C. elegans* и ассоциированы с долгожительством. Нокаут генов этой группы не влияет на продолжительность жизни нематод дикого типа, но значительно снижает ее у мутантных нематод, для которых характерны только противозрастные механизмы, регулируемые SKN-1. Повышенная выработка коллагенов выявленной группы сама по себе ассоциирована с долголетием. РНК-интерференция коллагенов у взрослых нематод снижает эффективность противозрастных воздействий. При стимуляции личиночных черт у взрослых нематод в перестройке внеклеточного матрикса задействованы другие регуляторы, и изменения, происходящие в нем отличны от стимулируемых SKN-1. РНК-интерференция коллагенов блокировала экспрессионную регуляцию SKN-1. Таким образом, сам по себе клеточный матрикс может быть регулятором, способствующим долголетию. Можно предположить, что воздействия, поддерживающие функциональное состояние внеклеточного матрикса могут использоваться для борьбы с хроническими заболеваниями и старением.

А. Н. Ваганова

## Сдвиг баланса меди у *Chlamydomonas* от процесса фотосинтеза к процессу дыхания связан с дефицитом меди

Copper economy in *Chlamydomonas*: Prioritized allocation and reallocation of copper to respiration vs. photosynthesis. Janette Kropat, Sean D. Gallaher, Eugen I. Urzica, Stacie S. Nakamoto, Daniela Strenkert, Stephen Tottey, Andrew Z. Mason, Sabeeha S. Merchant. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2644–2651.

Многие неорганические элементы жизненно необходимы организмам, поскольку они входят в структуру биомолекул и участвуют в каталитических реакциях. Несмотря на то, что организмам требуются очень небольшие количества примесных металлов, у каждого организма есть минимальные требования, определяемые составом внутриклеточных белков, используемых неорганических кофакторов. В случае дефицита того или иного элемента, организм может включить «режим экономии», выбирая альтернативные химические реакции. В частности, известен пример, когда у микроводорослей и цианобактерий в условиях дефицита Cu на смену богатому медью пластоцианину приходит гем-содержащий заменитель — цитохром (Cyt) <sub>c6</sub>. Медь встречается в биологических системах в двух стабильных валентных состояниях Cu<sup>I</sup> и Cu<sup>II</sup>, что позволяет ей играть роль катализатора в различных окислительно-восстановительных реакциях. Окислительно-восстановительный потенциал пары Cu<sup>II</sup>/Cu<sup>I</sup> схож с потенциалом пары Fe<sup>III</sup>/Fe<sup>II</sup>, хотя и немного выше последнего. Cu-содержащие белки возникли на определенном этапе эволюционной истории живых существ на Земле, когда в период кембрийского кислородного взрыва стали резко доступны ионы Cu, а доступность ионов Fe понизилась. Непосредственное биохимическое последствие дефицита меди — потеря функции ферментов, содержащих Cu, и следовательно, снижение эффективности каскада реакций, основанных на этих ферментах. Авторы изучили ответные реакции *Chlamydomonas* на дефицит Cu в среде. В среде с достаточным содержанием меди эти фототрофы, потребляющие кислород, обычно используют голубой белок на основе меди (пластоцианин) для фотосинтеза с переносом электрона, причем пластоцианин заключает в себе существенную часть доли меди. В средах с ограниченной доступностью меди функция основного резервуара Cu переходит от пластоцианина к другим ферментам, например к оксидазе цитохрома и ферроксидазе цитохрома. Ген *PCY1*, кодирующий пластоцианин, постоянно подавлен, и белок накапливается только в клетках, не испытывающих дефицита меди, а в Cu-дефицитных клетках белок быстро разрушается. Ген *CYC6*, кодирующий (Cyt) <sub>c6</sub>, копируется исключительно в клетках с дефицитом Cu, компенсируя дисфункцию пластоцианина. Транскрипция гена *CYC6* зависит от регулятора чувствительности к меди CRR1, который в свою очередь, связан с промотором *CYC6*. Анализ генома *Chlamydomonas* открыл десятки белков, содержащих Cu, но анализ транскриптома и протеома этих организмов показывает, что содержание меди зависит от нескольких генов. Наиболее существенную роль играет ген *PCY1*, обеспечивающий избыток пластоцианина. Количество пластоцианина в клетке может в 100 раз превышать количество всех других белков, содержащих Cu. Геномы водорослей и цианобактерий сохраняют возможность кодировать пластоцианин наряду с (Cyt) <sub>c6</sub>. Скорее всего, объясняется это тем, что пластоцианин обеспечивает конкурентное преимущество в средах с дефицитом Cu, поскольку сам является готовым источником меди.

В. В. Стрекопытов

## Клетки как живые двигатели: коллективная динамика молекул актомиозина проявляет механочувствительность

Cells as liquid motors: Mechanosensitivity emerges from collective dynamics of actomyosin cortex. Jocelyn Etienne, Jonathan Fouchard, Demosthene Mitrossilis, Nathalie Bui, Pauline Durand-Smet, Atef Asnacios. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2740-2745.

Живые клетки реагируют на свойства внешней среды и активно адаптируются к ним. Внешняя сила, приложенная к клетке, порождает клеточные сигналы (механотрансдукцию), а затем — и ответную реакцию клетки. Клетки содержат белки миозин и актин. Внутри клетки эти два белка образуют эластичную трехмерную сеть, имеющую перекрестные связи. Основу сети составляют полимеризованные молекулы актина, имеющие вид нитей. Миозин эластично связывает нити актина между собой. Эта сеть располагается во внутриклеточном пространстве, образуя своего рода молекулярный скелет. Она обладает упругостью, поэтому внешняя сила давления уравнивается давлением актомиозина, благодаря чему клетка сохраняет свою форму. При изменении формы клетки и, следовательно, деформации структуры актомиозина некоторые перекрестные связи, образованные миозином, деформируются, а некоторые — разрываются. Миозин образует новые связи, таким образом сохраняя пространственную конструкцию из тонких нитей актина, одновременно понижая накопленную в эластичной конструкции энергию. В свою очередь актин заполняет образующееся пространство, полимеризуясь в виде нитей и образуя там новый фрагмент пространственной сети с помощью миозина. Внешнее усилие может вызвать переход актина в жидкое состояние и разрушение фрагмента пространственного скелета. Этот переход характеризуется временем релаксации, то есть происходит не мгновенно. Таким образом, приложенная извне сила формирует поток актина, направленный противоположно усилию. Этот поток жидкого актина существует в периферийной части клетки (кортексе), и представляет собой неупорядоченную сеть из молекул актина, которые имеют между собой временные слабые связи. Эти связи осуществляются альфа-актинином, взаимодействием с которым описывается уравнением Максвелла для вязкой жидкости. В статье рассматривается математическая модель сети актомиозина, которая позволяет моделировать механическое взаимодействие целой клетки с внешней средой. Модель имеет четыре параметра: давление миозина, скорость тредмлинга актина, модуль упругости и время вязкой релаксации кортекса клетки. Относительное количество молекул миозина зависит от внешнего приложенного к клетке усилия: чем больше усилие, тем больше миозина, упруго связывающего каркас из актина. В местах контакта клетки с субстратом при деформации клетки возникает сила трения, которую следует учитывать при расчете затрат энергии клеткой наряду с затратами на процессы полимеризации актина и эластичной деформации миозина. Общая мощность, затрачиваемая миозином в масштабе одной клетки, составляет порядка 10 фВт, что на три порядка меньше общей мощности метаболизма клетки. Затраты энергии не оптимизированы в клетках, не принадлежащих мускулам, поскольку с точки зрения эволюции эти затраты очень невелики. Клетки имеют мускульный тонус выше, чем необходимо. Обслуживание такого мускульного тонуса требует затрат энергии, но возможность сопротивляться давлению извне намного превосходит эту цену.

И. Ю. Лещанский

## Причины и следствия инвариантности высокопорядковой дисперсии роста популяции животных под влиянием окружающей среды

Evidence and implications of higher-order scaling in the environmental variation of animal population growth. Jake M. Ferguson, José M. Ponciano. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2782–2787.

Стохастические модели динамики популяций рассматривают экологические колебания как временные возмущения по отношению к среднему коэффициенту рождаемости и смертности особей в популяции. Этот подход способствует пониманию влияния внешних воздействий на дисперсию популяции (отклонения пространственного распределения особей от константного соотношения между плотностью и площадью). Предварительные исследования привели к предположению о высшем порядке инвариантности дисперсии численности популяций при климатических изменениях. Проверка стохастической динамики популяции проводилась путем имитационного моделирования. Было изучено 165 временных рядов высшего порядка из Глобальной Базы Динамики Популяций (Global Population Dynamics Database, GPDD). Проверка инвариантности дисперсии популяции по отношению к общей численности на примере двух хорошо изученных популяций копытных: альпийских коз и сойских овец. Также рассчитывалась величина средней дисперсии (доля дисперсии, указывающая на различия, вызванные у особей популяции экзогенным влиянием) и емкость среды (максимальная плотность популяции, способная поддерживаться в стабильном состоянии средой обитания). Эмпирические исследования включали пошаговый анализ временных рядов, а для обработки показателей использовалось 4 основных модели: модель ограниченного роста Гомперца, мультипликативная модель дисперсии, аддитивно-мультипликативная модель и модель неограниченного (независимого от плотности) роста популяции. Исследования показали, что мультипликативный характер дисперсии при изменениях окружающей среды свойственен популяциям животных и может привести к большему ограничению роста популяций, чем прогнозировалось. Анализ временных рядов популяций копытных выявил высокую степень соответствия мультипликативной модели дисперсии под влиянием внешней среды по сравнению со стандартной моделью. Это подтверждает первоначальную гипотезу об инвариантности дисперсии, которая была основана на исследованиях, связывающих колебания в популяциях копытных с климатическими факторами. Инвариантность высокого порядка дисперсии может быть связана с неблагоприятным прогнозом популяции, т. к. поддержание равновесия динамики численности приводит со временем популяцию к более низкому уровню дисперсии, чем предсказывает стандартная модель. Таким образом, исследования показали, что описанные модели дисперсии могут использоваться для изучения взаимодействия популяции со средой обитания и не требуют специфических данных о состоянии окружающей среды. Поскольку колебания условий окружающей среды влияют на дисперсию роста популяции в зависимости от плотности, инвариантность высшего порядка дисперсии должна приниматься во внимание при оценке жизнеспособности популяции. Такой подход способствует прояснению прогнозов численности популяции и улучшению понимания процессов взаимодействия популяции с окружающей средой.

Е. М. Степанова



## Широко распространенное присутствие биоактивных хиноновых пигментов у морских лилий в период постпалеозойской диверсификации

Persistent and widespread occurrence of bioactive quinone pigments during post-Paleozoic crinoid diversification. Klaus Wolkenstein. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2794–2799.

Морские организмы, вырабатывающие разнообразные биоактивные продукты (вторичные метаболиты), представляют собой крайне перспективный источник веществ для создания лекарств нового поколения. Часто вторичные метаболиты появляются у организмов в процессе эволюции как результат адаптации к условиям среды и естественной селекции. Однако мало что известно о роли вторичных метаболитов в эволюционной истории древних организмов. Причина заключается в том, что эти вещества, как правило, не сохраняются в ископаемых останках. Ранее сообщалось только о находке фрингелита (пигмента из группы полициклических хинонов) в образцах окрашенных в фиолетовый цвет юрских стельчатых криноидей *Liliocrinus* (вымерший отряд Millericrinida) из местечка Фрингели в Швейцарии. Детальная ревизия образцов ископаемых морских лилий показала, что фиолетовая окраска присутствует не только у юрских иглокожих из Швейцарии, но и у других, самых разнообразных криноидей, начиная со средне-триасового возраста, распространенных на огромной территории Европы, Среднего Востока и Восточной Африки. Авторам исследования предоставился уникальный случай провести анализ прекрасно сохранившихся окрашенных (от серого до фиолетового цвета) ископаемых морских лилий, сравнив их состав с составом современных глубоководных криноидей. Для тонкого химического анализа использовался метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (HPLC), совмещенный с диодной лазерной масс-спектрометрией (DAD-MS). И у ископаемых и у современных представителей отряда Isocrinida и других криноидей были обнаружены биоактивные полициклические хиноны из группы гиперидина. Делается вывод о том, что гиперидиновые пигменты присутствовали повсеместно (как в географическом, так и в таксонометрическом плане) у самых разных представителей постпалеозойских Crinoidea, вплоть до современных, а состав пигментов не менялся с начала мезозоя (240 млн лет назад). Это позволяет предположить, что древние криноидеи, содержащие гиперидин, были того же цвета, что и их современные сородичи. Повсеместное распространение хиноновых метаболитов у представителей как минимум четырех из восьми отрядов постпалеозойских Crinoidea (Enocrinida, Isocrinida, Comatulida, и Millericrinida) в течение длительного периода их истории, несмотря на то, что класс за это время претерпел серьезнейшую диверсификацию и адаптивную радиацию, пережив рубеж массового вымирания на рубеже пермского и триасового периодов, говорит, скорее всего, о том, что биоактивные метаболиты играли важную роль в обеспечении эволюционного успеха морских лилий. Интересно то, что у дотриасовых представителей класса Crinoidea гиперидиновые пигменты не обнаружены. Древнейшими из известных на сегодняшний день ископаемых морских лилий, содержащих полициклические хиноны, являются представители отряда Enocrinida триасового возраста.

В. В. Стрекопытов

## Гибридогенное происхождение распространенного полиплоидного вида цветковых растений — пастушьей сумки (*Capsella bursa-pastoris*)

Hybrid origins and the earliest stages of diploidization in the highly successful recent polyploid *Capsella bursa-pastoris*. Gavin M. Douglas, Gesseca Gos, Kim A. Steige, Adriana Salcedo, Karl Holm, Emily B. Josephs, Ramesh Arunkumar, J. Arvid Ågren, Khaled M. Hazzouri, Wei Wang, Adrian E. Platts, Robert J. Williamson, Barbara Neuffer, Martin Lascoux, Tanja Slotte, Stephen I. Wright. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2806–2811.

В эволюции цветковых растений много раз происходили события полногеномной дупликации (whole-genome duplication, WGD). Само по себе это давно установлено, однако ближайшие микроэволюционные последствия таких событий до сих пор мало изучены. В данной работе было проведено полногеномное ресеквенирование пастушьей сумки (*Capsella bursa-pastoris*) — относительно недавно возникшего тетраплоидного вида, имеющего огромный для сосудистых растений ареал, — его распространение сейчас является практически всемирным (правда, оно сложилось, скорее всего, не без участия человека). Полученные генетические данные поддерживают гипотезу о возникновении *C. bursa-pastoris* в интервале времени от 100 до 300 тысяч лет назад в результате скрещивания двух других видов рода *Capsella*, сопровождавшегося аллополиплоидизацией. Современный вид *C. bursa-pastoris* имеет число хромосом  $2n = 32$ . Его вероятными предками были два вида с  $2n = 16$ , вероятнее всего — *C. orientalis* и *C. grandiflora/C. rubella*. Виды *C. grandiflora* и *C. rubella* дивергировали всего 50–100 тысяч лет назад, то есть уже после того, как их общий предок дал начало виду *C. bursa-pastoris*. Современный ареал *C. orientalis* находится в Восточной Европе и Центральной Азии, а *C. grandiflora* — в Греции и Албании. Ареал *C. rubella* охватывает Восточное Средиземноморье и Центральную Европу. Существовавшую до последнего время гипотезу, согласно которой происхождение *C. bursa-pastoris* было автополиплоидным, можно считать опровергнутой после появления новых данных о структуре генома растения. Крупномасштабной потери генов при этом не произошло, однако обнаружены свидетельства снижения эффективности естественного отбора, коснувшейся всего генома целиком. В особенности это касается очищающего отбора. Помимо факторов, связанных с популяционной динамикой, таких как частый после крупных генетических изменений эффект бутылочного горлышка, на интенсивность отбора, безусловно, влияет избыточность генотипа, вызванная недавней (в эволюционном масштабе времени) полногеномной дупликацией. Вероятно, существует правило, согласно которому реакцией на недавнюю полиплоидизацию является не столько быстрая потеря «лишних» генов, сколько общее временное ослабление силы и эффективности очищающего отбора. Это должно постепенно приводить к потере функциональности части генов, а уже затем — к вторичной диплоидизации, за которой может вновь последовать полиплоидизация. В истории некоторых эволюционных линий цветковых растений такие циклы повторялись несколько раз.

С. А. Ястребов

## Отростки задних крыльев мотыльков отвлекают атаку летучей мыши: эволюция акустического уклонения

Moth tails divert bat attack: Evolution of acoustic deflection. Jesse R. Barber, Brian C. Leavell, Adam L. Keener, Jesse W. Breinholt, Brad A. Chadwell, Christopher J. W. McClure, Geena M. Hill, Akito Y. Kawahara. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2812–2816.

Многие хищники ориентируются на визуальные сигналы в поисках жертв. Жертвы, в свою очередь, используют камуфляжную раскраску или зрительные образы для отражения атаки хищника или перенацеливания атаки хищника на менее существенные части тела. Хорошо известны ложные образы — пятна раскраски в виде глаз, а ярко окрашенные хвосты ящериц направляют атаку хищника на эту периферийную часть тела. Летучие мыши и ночные бабочки как пара «хищник–жертва» сосуществуют на протяжении 60 миллионов лет. Камуфляжная окраска не годится против летучих мышей, так как они для поиска жертвы пользуются эхолокацией. Большинство летучих мышей полагается на эхо своих акустических сигналов для нахождения жертв и других предметов в окружающей среде. Поэтому эффективной стратегией потенциальной жертвы было бы создание ложных акустических сигналов. Есть предположение, что отростки на задних крыльях ночных бабочек сатурний служат цели предотвратить атаку летучих мышей на важные части тела. Эти отростки, отражающие сигналы сонара, либо имитируют контрастную составную часть цели, либо представляют собой отдельную ложную цель. В экспериментах летучие мыши (*Eptesicus fuscus*) преследовали ночных бабочек (*Actias luna*), имеющих отростки задних крыльев или не имеющих их. Пойманы были 34% бабочек, имеющих отростки, и 81% бабочек, не имеющих их. При преследовании жертвы в экспериментах 55% атак были направлены в область крыльев бабочки, что приводило к повреждению и откусыванию отростков или части задних крыльев. В другом эксперименте использовались бабочки с искусственно удаленными отростками задних крыльев. Летучим мышам оказалось проще обнаружить бабочку с неповрежденными крыльями, поскольку размер их крыльев больше. Эксперимент с крупными бабочками показал, что размер крыльев имеет значение, крупные бабочки чаще становились жертвами. Летучие мыши используют эхолокацию на постоянной частоте, улавливая в отраженном эхе малую амплитудную и незначительную частотную модуляцию. Модуляцию вносят движущиеся крылья потенциальной жертвы. Неподвижные препятствия не вносят модуляции в эхосигнал. Самки многих видов сатурний не летают до периода спаривания и проводят много времени в защищенных местах, преодолевая лишь короткие расстояния. Самцы же заняты поисками партнерши для спаривания, поэтому ведут активный образ жизни и подвергаются опасности нападения. Самцы имеют более длинные отростки, чем самки. Больше половины из 140000 видов мотыльков, ведущих ночной образ жизни, обладают слухом и реагируют на сонар. Однако более 65000 видов лишены такой акустической защиты и используют разнообразные альтернативные способы. Описанный эксперимент расширяет наши представления о стратегиях уклонения от хищника и ограничениях, свойственных сонару летучих мышей. Также он показывает важные особенности поведения животных в длительном эволюционном соревновании хищника и жертвы.

И. Ю. Лещанский

## Пальцевидный протеин 121 домена, кодируемого RING геном, способствует деградации и мембранной локализации потенциал-зависимых натриевых каналов

RING finger protein 121 facilitates the degradation and membrane localization of voltage-gated sodium channels. Kazutoyo Ogino, Sean E. Low, Kenta Yamada, Louis Saint-Amant, Weibin Zhou, Akira Muto, Kazuhide Asakawa, Junichi Nakai, Koichi Kawakami, John Y. Kuwada, Hiromi Hirata. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2859–2864.

В данной работе авторы показали, что одна из мутантных форм аквариумной рыбки *Danio rerio* (называемая «аллигатор») возникает из-за мутаций в гене, кодирующем пальцевидный белок 121 (RNF121) RING-домена (домена, кодируемого действительно интересным новым геном, encoding really interesting new gene) E3-убиквитинлигазы, локализуемой в эндоплазматическом ретикулуме (ЭПР) и цис-сети аппарата Гольджи. Данный фермент необходим для нормального функционирования потенциал-зависимых натриевых каналов мембраны возбуждаемых клеток. Если быть конкретнее, то мутантная форма «аллигатора» возникает вследствие нонсенс- и миссенс-мутаций в гене RNF121. Поскольку мутация в аллеле гена «аллигатора» усекает RNF121 до первого охватывающего мембрану домена, этот аллель, вероятно, является нулевым. Некоторые результаты показывают, что такая мутация исключает ферментативную активность RNF121. Во-первых, миссенс-мутация была найдена в полностью консервативном остатке валина ферментативного RING-домена. Во-вторых, экспрессия рекомбинантного (валин был замещен на аланин) RNF121 в клетках почки человеческого эмбриона HEK293T указывает на то, что замена не влияет на экспрессию белка. В-третьих, совместная экспрессия рекомбинантного RNF121 и шестого члена семейства потенциал-зависимых натриевых каналов ( $Na_v1.6$ ) в клетках HEK293T была недостаточной, чтобы увеличить количество убиквитинированных  $Na_v1.6$ . Анализ экспрессии показал, что рекомбинантный RNF121 способствует поддержанию уровня белков  $Na_v1.6$ . В своем исследовании авторы отметили парадоксальное влияние RNF121 на  $Na_v1.6$ -каналы, а именно наблюдение того, что, хотя совместная экспрессия RNF121 дикого типа и  $Na_v1.6$  вызывала снижение общего количества белков  $Na_v1.6$  в HEK293T-клетках, в то же время это и привело к увеличению количества белков  $Na_v1.6$  на поверхности клетки. Эти данные привели к выводу, что RNF121 усиливает процесс транспортировки  $Na_v1.6$  к мембране. Авторы обнаружили, что сенсорный отклик личинок данео уменьшился одновременно с уровнем белков RNF121. Неожиданным было обнаружение явного взаимодействия между уровнями белков  $Na_v1.6$  и комплексом натриевых каналов с бета-субъединицей 1 ( $Na_v\beta1$ ). У личинок, лишенных активности RNF121, избыточная экспрессия  $Na_v\beta1$  восстанавливала некоторую транспортировку  $Na_v$ -каналов к мембране в сенсорных нейронах, но не удалось восстановить сенсорный отклик у мутантных личинок. Предложена следующая модель.  $Na_v$ -каналы, состоящие из 24 трансмембранных сегментов, от природы восприимчивы к неправильному фолдингу в процессе синтеза в ЭПР. В клетках дикого типа RNF121 облегчает убиквитинирование неправильно уложенных  $Na_v$ -белков, что указывает на их опосредованную протеасомами деградацию, являясь тем самым качественно контролируемым процессом. Предложенная авторами модель предполагает, что одно лишь снижение уровня белка  $Na_v\beta$  может нарушать транспортировку правильно уложенных  $Na_v$ -каналов — результат, который можно было бы ожидать при уменьшении активности  $Na_v$ -каналов в возбуждаемых клетках.

Н. В. Карпов

## Исследование аллостерических и гиперэплектических мутантных фенотипов посредством изучения структуры трансмембранного домена $\alpha_1$ -субъединицы глицинового рецептора

Allosteric and hyperplexic mutant phenotypes investigated on an  $\alpha_1$  glycine receptor transmembrane structure. Gustavo Moraga-Cid, Ludovic Sauguet, Christile Huon, Laurie Malherbe, Christine Girard-Blanc, Stephane Petres, Samuel Murail, Antoine Taly, Marc Baaden, Marc Delarue, Pierre-Jean Corringer. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2865–2870.

Глициновые рецепторы (GlyR) принадлежат к суперсемейству пентамерных лиганд-управляемых ионных каналов (pLGICs). pLGICs — это пентамеры, в которых каждая субъединица состоит из внеклеточного (ECD) и трансмембранного (TMD) домена. Путем экстенсивных мутаций в области данных доменов можно получить правильно уложенные и/или функциональные химеры. С помощью рентгеновского структурного анализа в настоящее время установлена модульная архитектура pLGICs организмов от бактерий до человека. Интересно, что два домена Лили (функциональной химеры, полученной от слияния альфа1-субъединицы глицинового рецептора ( $\alpha_1$ GlyR) и аналогового ацетилхолинового рецептора из бактерии *Gloeobacter violaceus* (GLIC)), способны самособираются, когда экспрессируются по отдельности. Эти данные свидетельствуют о пути созревания Лили, что могло бы объяснить поразительную совместимость ECD и TMD из разных pLGICs даже в том случае, когда они разделены миллиардами лет эволюции. Авторы показывают, что фенотипы для ключевых аллостерических мутаций, расположенных в различных местах в пределах TMD, похожи на  $\alpha_1$ GlyR и Лили. Кроме того, эти фенотипы включают все аспекты аллостерического перехода, в том числе повышение или уменьшение константы изомеризации между спокойным и активным состоянием, изменение кинетики активации и одноканальную проводимость. Это означает, что они испытывают аналогичные изменения в процессе активации как Лили, так и  $\alpha_1$ GlyR. В данном исследовании Лили экспрессируется в виде функционального канала и оформляется в локально закрытую (LC) конформацию. Для GLIC LC-форма соответствует открытой форме, но согласованный изгиб верхней части всех вторых (M2) спиралей TMD заслоняет пору формированием плотно упакованного пучка вместе с поворотным движением в области M2–M3. Наблюдаемые явления сходны с тем, что наблюдается при конформации в условиях покоя (при pH = 7). Поэтому конформация TMD в виде LC аналогична конформации в условиях покоя за исключением спирали M1. Для Лили электрофизиологические данные указывают на электростатическое взаимодействие между определенными фрагментами TMD в верхней части канала, которое необходимо для стабилизации открытого состояния. Кроме того, интересен участок из спиралей M2–M3 (в середине TMD), который подвергается ключевому повороту при воротном механизме. Данный фрагмент взаимодействует с участком из верхней (M1) части, непосредственно связанной с ECD и вовлеченной в передачу сигнала. Что касается открытого состояния pLGICs, имеющиеся структурные данные показывают сходство с TMD-структурой GLIC и GluCl (глутамат-управляемого рецептора из нематоды *Caenorhabditis elegans*). GLIC и GluCl филогенетически близки к  $\alpha_1$ GlyR, поддерживая идею о том, что они являются хорошими моделями для открытой формы  $\alpha_1$ GlyR TMD. Предполагая общий воротный механизм у GLIC и  $\alpha_1$ GlyR, мы можем использовать рентгеновскую структуру и гомологичную открытую модель в качестве эталонов для исследования аллостерического перехода  $\alpha_1$ GlyR TMD.

Н. В. Карпов

## Диверсификация потенциалзависимых калиевых каналов у ранних Parahoxozoa

Major diversification of voltage-gated K<sup>+</sup> channels occurred in ancestral parahoxozoans. Xiaofan Li, Hansi Liu, Jose Chu Luo, Sarah A. Rhodes, Liana M. Trigg, Damian B. van Rossum, Andriy Anishkin, Fortunay H. Diatta, Jessica K. Sassic, David K. Simmons, Bishoy Kamel, Monica Medina, Mark Q. Martindale, Timothy Jegla. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. E1010–E1019.

В работе рассмотрена ранняя эволюция двух семейств потенциалзависимых ионных каналов: Shaker и KCNQ. У двусторонне-симметричных животных Shaker, в свою очередь, состоит из четырех функционально различных генных семейств (Shaker, Shab, Shal и Shaw). Общим для них всех является наличие субъединицы, связанной со специфическим для потенциалзависимых калиевых каналов цитоплазматическим доменом. Происхождение этой субъединицы удалось проследить до общего предка гребневиков (Ctenophora) и группы Parahoxozoa, в которую входят стрекающие, двусторонне-симметричные и пластинчатые. Таким образом, семейство Shaker специфично для многоклеточных животных в целом (Metazoa), и есть вероятность, что оно возникло у их общего предка. Главная функция каналов группы Shaker (в широком смысле) состоит в реполяризации нейрона после возбуждения, однако расположение разных каналов на нейронах и особенности токов через них различаются. Судя по результатам филогенетического анализа, семейство Shaker (в узком смысле) появилось до расхождения Ctenophora и Parahoxozoa, а семейства Shab, Shal и Shaw — только у группы Parahoxozoa. При анализе было уделено специальное внимание сравнению Shaker-каналов гребневиков, с одной стороны, и стрекающих и двусторонне-симметричных — с другой, так что этот вывод следует считать подтвержденным надежно. С другой стороны, потенциалзависимые калиевые каналы грибов, растений и прокариот полностью лишены гомологий с семейством Shaker, свойственной этому семейству уникальной субъединицы там нет. Что касается губок, то в транскриптомах их изученных представителей последовательности, сходные с кодирующими Shaker-каналы, или не найдены вовсе, или их наличие там не имеет надежных подтверждений. Семейство KCNQ имеет другую субъединичную структуру и принадлежит, по-видимому, только эволюционной линии Parahoxozoa. Эти каналы обеспечивают особый тип тока, регулирующий подпороговую возбудимость нейронов. Функциональный анализ показывает, что физические особенности, отличающие друг от друга токи через каналы Shaker, Shab, Shal, Shaw и KCNQ, сложились до дивергенции стрекающих кишечнополостных и двусторонне-симметричных животных. Это означает, что главная диверсификация потенциалзависимых калиевых каналов произошла у предковых Parahoxozoa. Именно тогда, скорее всего, и сложились основные механизмы, обеспечивающие на молекулярном уровне потенциал действия нейрона. С другой стороны, этот результат означает, что между способами нервного возбуждения у гребневиков и у остальных животных с нервной системой (стрекающих и двусторонне-симметричных) должны быть заметные различия.

С. А. Ястребов



## Системная интеграция ради глобальной устойчивости окружающей среды

Systems integration for global sustainability. Jianguo Liu, Harold Mooney, Vanessa Hull, Steven J. Davis, Joanne Gaskell, Thomas Hertel, Jane Lubchenco, Karen C. Seto, Peter Gleick, Claire Kremen, Shuxin Li. Science. 2015. Vol. 347. No 6225. P. 1258832-1-9.

Устойчивость окружающей среды (ОС) (sustainability) – способность экосистем сохранять внутреннюю среду в существующем виде, несмотря на все возрастающее воздействие на нее со стороны человека. Сохранение этой устойчивости является залогом долгосрочного существования человека на планете Земля. Главной задачей в этом вопросе является нахождение компромисса между использованием природными ресурсами планеты и сохранением природной среды для жизни будущих поколений. Несмотря на то, что все составляющие природных систем взаимосвязаны, чаще всего проблемы устойчивости ОС – будь то поддержание биоразнообразия или сохранение чистоты воздуха и воды – рассматриваются отдельно друг от друга и в отрыве от оценки процессов, происходящих в системах человеческого общества (социальных, экономических, политических и др.). Авторы исследования предлагают комплексный подход системной интеграции – совместного рассмотрения процессов, происходящих в «человеческих» и природных системах в их взаимосвязи, подразумевающей совместное рассмотрение факторов этих систем с целью выработки стратегий сохранения глобальной устойчивости ОС. За последнее время был разработан целый ряд интегральных количественных моделей оценки глобальной устойчивости. Основой для построения этих моделей послужили следующие концепции глобальной устойчивости: 1) «экосистемного сервиса» (ecosystem services); 2) «экологического следа» (environmental footprints); 3) «планетарных границ» (planetary boundaries); 4) «связей человек-природа» (human-nature nexuses) и 5) концепция telecoupling («удаленных взаимодействий»). Концепция telecoupling, разработанная совсем недавно в Мичиганском университете, описывает территориально удаленные и косвенные, с точки зрения причинно-следственных связей, взаимодействия между социально-экономическими и экологическими системами, рассматривая все социальные и экономические процессы, такие как миграция народов или мировая торговля, оценивая их влияния на устойчивость ОС в глобальном масштабе. Вместо разобщенных концепций авторы предлагают принять единый системно-интеграционный подход, основой которого является понимание того, что все в мире взаимосвязано, и песчаные бури в Сахаре могут вызвать упадок коралловых рифов в Карибском море или обострение астмы у людей, проживающих за тысячи километров от Северной Африки, а добытый в Австралии и проданный в Европу, Японию или Бразилию каменный уголь в месте потребления станет источником выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу, которые, в свою очередь, повлияют на глобальный климат и жизнь всего человечества не только сегодня, но и в будущем. Авторы вводят также понятие эффекта глобального равномерного распространения (spillover effect) на обе группы систем («человеческих» и природных) последствий любого события, произошедшего в одной из них. Авторы считают, что системно-интеграционный подход должен стать основой для принятия политических и управленческих решений на любом уровне.

*В. В. Стрекопытов*

## Искусственные питательные добавки ускоряют высвобождение терригенного углерода из экосистем пресноводных потоков

Experimental nutrient additions accelerate terrestrial carbon loss from stream ecosystems. Amy D. Rosemond, Jonathan P. Benstead, Phillip M. Bumpers, Vladislav Gulis, John S. Kominoski, David W. P. Manning, Keller Suberkropp, J. Bruce Wallace. Science. 2015. Vol. 347. No 6226. P. 1142-1145.

Одна из важнейших проблем загрязнения пресноводных водоемов связана с обогащением их питательными веществами, сопровождаемым массовым развитием водорослей, увеличением продуктивности воды и другими нежелательными биологическими изменениями. Подобное прогрессивное ухудшение качества воды относят за счет трофикации. Загрязнение пресноводных водоемов питательными веществами является важным фактором, влияющим на геохимический цикл углерода. Активное развитие водной растительности приводит к росту объемов естественной секвестрации углерода водорослями. Результатом этого процесса, с одной стороны, может быть накопление обогащенной углеродом питательной биомассы, с другой стороны, он может вести к формированию органогенной минерализации. При этом, в первом случае происходит фиксация С на высших трофических уровнях экосистемы, а во втором – высвобождение С из экосистемы в форме CO<sub>2</sub>. Помимо биогеохимического цикла углерода, базирующегося на его переработке озерными водорослями, есть еще процесс углеродного питания пресноводных потоковых (речных) экосистем. И здесь ключевую роль играет поступающий в питательные сети пресноводных потоков терригенный органический углерод, находящийся в составе мертвого растительного и животного детрита, прежде всего – опавших листьев. Однако сам процесс переработки терригенного углерода и его результат (выделение CO<sub>2</sub>) изучены пока слабо. Экспериментальным путем авторы исследования выяснили, что при длительном (в течение нескольких лет) использовании искусственных питательных добавок (азота и фосфора) на всем протяжении водного потока время нахождения углерода в пресноводной потоковой экосистеме сокращается примерно на 50% по сравнению с временем его высвобождения в процессе переработки водорослями. Питательные добавки N и P резко увеличивают объем потребления углерода в пищевых сетях с участием животных, употребляющих в пищу растительный детрит. Авторы также провели сравнительную оценку роли микробов-биоредукторов, потребляющих углерод в процессе дыхания, и животных, питающихся детритом, в экспорте из экосистемы частиц органики, содержащей углерод, и выяснили, что при добавках N и P активизируются оба эти процесса. В среднем автотрофный ответ по С увеличивается при постоянном введении N и P в 3 раза для пресноводных систем, и в 2 раза – для морских. Предлагается применять искусственные питательные добавки N и P в экосистемном сервисе по очистке пресноводных потоков от органического углерода. Эффективность этого подхода может превзойти предлагавшийся до этого метод связывания углерода в пищевых сетях водоемов с помощью водорослей.

*В. В. Стрекопытов*

## Влияние засухи на динамику потоков углерода в Амазонии

Drought impact on forest carbon dynamics and fluxes in Amazonia. Christopher E. Doughty, D. B. Metcalfe, C. A. J. Girardin, F. Farfán Amézquita, D. Galiano Cabrera, W. Huaraca Huasco, J. E. Silva-Espejo, A. Araujo-Murakami, M. C. da Costa, W. Rocha, T. R. Feldpausch, A. L. M. Mendoza, A. C. L. da Costa, P. Meir, O. L. Phillips, Y. Malhi. Nature. 2015. Vol. 519. No 7541. P. 78–82.

В 2005 и 2010 гг. регион бассейна Амазонки пережил две сильнейшие засухи, связанные со сменой гидрологического режима в тропической зоне. Эти явления были обусловлены глобальными экологическими изменениями, заложенными во многих климатических моделях. Начавшаяся после засухи 2005 г. массовая гибель деревьев, а также региональные атмосферные инверсии привели к общему снижению поглощения CO<sub>2</sub> в масштабах всего бассейна. Обычный поток поглощенного биомассой углерода, оцениваемый примерно в  $0,71 \times 10^6$  г/га в год, уменьшился вдвое, что выразилось в общем дополнительном выбросе в атмосферу  $1,2–1,6 \times 10^{15}$  г углерода. Однако до конца не было ясно, как в связи с засухой изменился цикл углерода в зоне тропических лесов. Не проводились ранее и детальные наблюдения *in situ*. Авторы работы в течение нескольких лет до и после засухи 2010 г. собирали данные наблюдений с 13 участков (каждый площадью 1 га), расположенных в различных частях Амазонии. Для лучшего понимания механизмов влияния засухи на экосистему тропических лесов проводился отдельный замер таких параметров как объем автотрофного и гетеротрофного дыхания, а также — чистая первичная продукция (NPP). Было обнаружено, что объем автотрофного дыхания, особенно в корневой и стволовой частях растений, к концу засушливого 2010 года сократился существенно по сравнению с обычным 2009 годом. Значение же NPP в течение всего периода наблюдений оставалось примерно одинаковым, однако наблюдалось перераспределение углерода от корней к листовому покрову. Замеры, проведенные как на уровне земли, так и на уровне крон деревьев, показали, что сильная засуха подавляет процесс фотосинтеза. Экстраполируя полученные данные на весь бассейн Амазонки и сопоставляя их с данными выпадения осадков, авторы вычислили, что за счет снижения интенсивности автотрофного дыхания (фотосинтеза) в течение засушливого 2010 года растениями региона было переработано на  $0,23–0,53 \times 10^{15}$  г меньше углерода, чем в 2009 году. Кроме того, было выявлено, что в период засухи растения, вместо того, чтобы снижать NPP, продолжали свой рост за счет сокращения объема автотрофного дыхания, не связанного непосредственно с ростом. Эти наблюдения служат подтверждением экзволюционных теорий, утверждающих, что темпы роста являются главным конкурентным фактором выживания в плотных растительных системах, и для растений таких систем этот фактор является приоритетным. И действительно, деревья продолжали расти и в период засухи, несмотря на истощения своих тканей и ослабления защитных свойств. Исследование показало, что в течение непродолжительных (до 1 года) периодов низкого поступления углерода, вызванного подавлением фотосинтеза, растения могут использовать для активного роста накопленный ранее углерод, присутствующий в их тканях, главным образом, в виде неструктурных углеводов. Авторы предполагают, что именно это и явилось причиной массовой гибели деревьев, наступившей непосредственно после окончания засушливого периода.

В. В. Стрекопытов

## Метаболическая теория экологии предсказывает общие свойства экосистем

Metabolic theory predicts whole-ecosystem properties. John R. Schramski, Anthony I. Dell, John M. Grady, Richard M. Sibby, James H. Brown. PNAS. 2015. Vol. 112. No 8. P. 2617–2622.

Международная группа ученых под руководством Джемса Брауна, одного из авторов так называемой метаболической теории экологии, предлагает использовать данную теорию для оценки последствий воздействия человека на экологические системы любого уровня — от локальных экосистем до биосферы в целом. В основе метаболической теории экологии лежит оценка влияния каждого индивидуального организма на циклы вещества (в данном случае — углерода) и потоки энергии во всей экосистеме. Отдельные организмы усваивают углерод извне, трансформируют и накапливают его в своем теле для того, чтобы, в конце концов, отдать его обратно в окружающую их среду. К примеру, углерод, первично содержащийся в углекислом газе атмосферы, в процессе фотосинтеза при участии воды и солнечной энергии переходит в состав обладающих макроэргическими связями органических соединений растений-продуцентов. При разрушении органических связей в процессе дыхания растения, а затем и следующие за ними в трофической цепочке животные и редуцирующие бактерии, получают в форме ATP (аденозинтрифосфата) необходимую для жизни клеток энергию. В работе авторы используют синтетический подход, объединяя в единые закономерности параметры метаболизма отдельных организмов и параметры экосистемы в целом, выстраивая при этом алгоритмы как от общего к частному, так и наоборот. Они показывают, как общие параметры экосистемы (среднее время жизни молекул углерода в системе, суммарный сквозной поток (total system throughflow, TST) и объем рециклинга углерода) зависят от размеров и температуры тела организмов, а также — от их трофической организации. На основе эмпирических данных реальных природных сообществ были построены цифровые модели, описывающие различные типы экосистем. Несмотря на то, что среднее время жизни молекул углерода в различных системах отличалось в разы, — от нескольких недель в теплой пелагической океанской среде с мельчайшими продуцентами в виде фитопланктона до столетий в лесных системах умеренного климата, где в роли продуцентов выступают крупные деревья, — все результаты разложились вдоль одной четкой прямой с углом наклона 45°. Это указывает на наличие простой линейной зависимости между средним временем жизни молекулы углерода (R) и отношением общей биомассы экосистемы (B) к первичной продуктивности (P):  $R = B/P$ . Данный подход дает мощную теоретическую основу для количественной оценки потоков и накопленных объемов энергии и вещества (углерода) в наземных, морских и пресноводных экосистемах любого уровня, а также может стать весьма эффективным инструментом для адресной оценки влияния человека на природные системы через понимание количественного участия в реакциях на изменения, вызванные антропогенным фактором, каждого из типов организмов экосистемы.

В. В. Стрекопытов

## Тенденции изменения климата и урожайности в Европе

The fingerprint of climate trends on European crop yields. Frances C. Moore, David B. Lobell. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2670–2675.

Из всех отраслей экономики сельское хозяйство наиболее тонко реагирует на климатические изменения. При этом практически отсутствует статистика, связывающая долгосрочные тренды изменений температур воздуха и количества осадков с показателями урожайности. С начала 1990-х гг. европейское сельское хозяйство испытывает стагнацию. С этого же времени в Европе отмечается существенное потепление, выразившееся в повышении температур воздуха в период роста растений. Эти две тенденции принято связывать между собой, хотя достоверные доказательства до последнего времени отсутствовали. Авторы провели совместную статистическую обработку данных по климатическим параметрам и показателям урожайности пшеницы, кукурузы, ячменя и сахарной свеклы в Европе за период 1989–2009 гг. Для оценки авторы использовали две независимые цифровые модели, различающиеся характером пространственно-статистической обработки данных при различных уровнях значений связанных параметров климатических изменений и адаптации растений. Результаты моделирования показали, что за изученный период с климатическими изменениями связано лишь 2,5% снижения урожайности пшеницы в среднем по европейскому континенту. Для ячменя этот показатель составляет 3,8%. Урожайность же кукурузы и сахарной свеклы за тот же период даже выросла (на 0,3 и 0,2% соответственно). В то же время, нельзя ориентироваться только на средние показатели, так как в географическом отношении ситуация выглядит крайне неоднородно. Если урожайность в североевропейских странах за рассматриваемый период практически не изменилась, то страны Средиземноморья от климатических изменений пострадали в большей степени. Во Франции и Италии, к примеру, падение урожайности пшеницы и ячменя составило 20–40%, а в некоторых областях — и до 60%. Делается вывод о том, что, несмотря на наличие определенной корреляции между трендами изменений климата и урожайности, действием климатических факторов в целом для Европы можно объяснить не более 10% понижения тренда урожайности. Оставшиеся 90%, скорее всего, связаны с изменениями в сельскохозяйственной и экологической политике, а также — с рыночной конъюнктурой. Авторы признают, что тема исследования является очень сложной, а выводы неоднозначными в связи с невозможностью четко разделить действие природного и человеческого факторов. Так, не понятно, снижение урожайности в условиях глобального потепления связано с недостаточной адаптационной способностью растений или с неумением фермеров приспособиться к новым условиям их выращивания. Кроме того, основываясь на данных для такого короткого отрезка времени, можно судить только об оценке потенциала краткосрочной адаптации сельскохозяйственных культур. Устойчивая трансгенерационная адаптация возникает у растений в течение более длительных периодов.

*В. В. Стрекопытов*

## Фенология и физиология растений совместно определяют уровень валовой первичной продуктивности CO<sub>2</sub> наземных биосистем

Joint control of terrestrial gross primary productivity by plant phenology and physiology. Jianyang Xia, Shuli Niu, Philippe Ciais, et. al. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2788–2793.

Валовая первичная продуктивность наземных биосистем (GPP) — общее количество CO<sub>2</sub>, фиксирующееся на разных уровнях систем. Двуокись углерода, осаждаемая растениями из атмосферы в процессе фотосинтеза, является топливом, дающим энергию всем формам жизни на поверхности Земли. Тем не менее, до конца не понятно, какими факторами определяются особенности пространственного и временного распределения объемов GPP. Понимание этих особенностей крайне важно для предсказания последствий климатических изменений в системе «климат–цикл углерода». Значение GPP, вычисленное на основе климатических моделей, разработанных для 5-ой фазы Всемирной программы исследования климата CMIP5, варьирует от 105 до 177 × 10<sup>15</sup> г/день. Авторы исследования выдвинули гипотезу о том, что объем GPP зависит от большого набора биотических и абиотических факторов, связанных прежде всего с фенологией и физиологической активностью растений. В результате анализа большого количества данных, полученных со спутников, а также в процессе наземных наблюдений методом микрометеорологической турбулентной ковариации, были предложены два интегральных показателя сезонной вариабельности GPP: 1) период поглощения CO<sub>2</sub> из атмосферы (CO<sub>2</sub> uptake period, CUP) и 2) сезонный максимум возможного поглощения CO<sub>2</sub> (GPP<sub>max</sub>), т. е. сезонный максимум фотосинтеза. Годовой объем GPP, выраженный в граммах С на м<sup>2</sup>/год, отражает темп осаднения CO<sub>2</sub> из атмосферы наземными биосистемами и исчисляется по формуле:  $GPP = \alpha \times CUP \times GPP_{max}$ , где  $\alpha$  — эмпирический показатель, рассчитываемый как отношение годового GPP к произведению GPP<sub>max</sub> и CUP. С помощью двух введенных показателей удалось объяснить более 90% временной вариабельности GPP в большинстве районов Северной Америки за период с 2000 по 2010 гг., а также — характер пространственной изменчивости GPP между микрометеорологическими башнями системы FLUXNET, расположенными по всему миру. Используя предложенные показатели, удалось также описать последствия европейской тепловой волны 2003 г. ( $r^2 = 0,90$ ) и процесс восстановления GPP после пожаров в Южной Дакоте ( $r^2 = 0,88$ ). Дополнительный анализ микрометеорологических данных турбулентной ковариации выявил, что интербиомные сезонные вариации GPP лучше описываются параметром GPP<sub>max</sub>, чем CUP. Результаты исследования показывают, что валовая наземная первичная продуктивность CO<sub>2</sub> определяется на уровне экосистем и контролируется сезонным циклом растений и потенциалом фотосинтеза системы. Авторы считают, что использование предложенных показателей GPP<sub>max</sub> и CUP позволит прогнозировать пространственные и временные изменения GPP в ответ на климатические аномалии, вызывающие экологические и биологические сдвиги в системе, а также — оценивать время, необходимое экосистеме для восстановления.

*В. В. Стрекопытов*



## Реконструкция *Homo habilis* типа OH 7 предполагает глубокое видовое разнообразие ранних *Homo*

Reconstructed *Homo habilis* type OH 7 suggests deep-rooted species diversity in early *Homo*. Fred Spoor, Philipp Gunz, Simon Neubauer, Stefanie Stelzer, Nadia Scott, Amandus Kwekason, M. Christopher Dean. Nature. 2015. Vol. 519. No 7541. P. 83–86.

В статье рассматриваются новые, более точные реконструкции типового экземпляра *Homo habilis* OH7 (возраст 1,8 млн лет), найденного в 1960 г. в Олдувайском ущелье в Танзании. Изученный материал включает слегка деформированную нижнюю челюсть с зубами и два обломка теменных костей. Авторы изучили находки при помощи рентгеновской компьютерной томографии. Разобравшись в структуре всех трещин и деформаций, ученые реконструировали форму челюсти и теменной части черепной коробки с максимально возможной точностью. Сравнение реконструированной челюсти с другими известными челюстями ранних *Homo* и австралопитеков, а также современных людей, шимпанзе и горилл показало, что челюсть OH7 «примитивна», то есть имеет ряд архаичных признаков, сближающих ее с австралопитеками. Это относится, в первую очередь, к форме зубной дуги. Для челюсти OH7 характерны длинные, почти параллельные ряды премоляров и моляров, что говорит о сильном прогнатизме (челюсти у OH7 выступали вперед как у обезьян). Между тем, известны находки ранних *Homo*, в том числе и более древние, чем OH7, у которых челюсти имели более «человеческий» облик. Например, у верхней челюсти AL 666-1 возрастом 2,33 млн лет, которая до сих пор считалась древнейшей находкой *Homo*, зубная дуга короче и шире, а зубные ряды идут не параллельно, а расходятся, как у более продвинутых представителей человеческого рода. Статистический анализ изменчивости формы зубной дуги у разных представителей человекообразных показал, что у ранних *Homo* размах изменчивости по этому признаку существенно превышает все, что можно наблюдать в пределах одного и того же вида у современных человекообразных, включая людей. Например, челюсть KNM-ER 1482, традиционно относимая к виду *Homo rudolfensis*, отличается от OH7 почти так же сильно, как челюсть современного человека от челюсти шимпанзе. Проанализировав попарные внутри- и межвидовые различия формы зубной дуги у разных гоминид, авторы пришли к выводу, что по данному признаку ранние *Homo* довольно четко разделяются на три кластера, которые ученые склонны интерпретировать как три разных вида: *Homo habilis*, *Homo rudolfensis* и ранние *Homo erectus* (к последним относятся, помимо африканских находок, также и люди из Дманиси). При этом у *H. habilis* форма зубной дуги скорее «обезьянья» (чуть ли не в большей степени, чем у афарских австралопитеков), а у *H. rudolfensis* и *H. erectus* — более «человеческая». К тому же OH7 имел весьма объемистый мозг, который, как ни странно, сочетался с мощными, сильно выступающими «обезьянними» челюстями. Такая комбинация признаков не очень согласуется с известной гипотезой о том, что ослабление челюстей и жевательной мускулатуры у ранних *Homo* было важной предпосылкой роста мозга. Так или иначе, новые данные показывают, что род *Homo* появился и начал дивергировать раньше, чем считалось до сих пор, и ни один из его ранних видов не является очевидным предком современного человека.

В. В. Стрекопытов

## Археологический контекст и возраст черепной кости позднеплейстоценового гоминида из Лукения-Хилл (Кения)

Late Pleistocene age and archaeological context for the hominin calvaria from GvJm-22 (Lukenya Hill, Kenya). Christian A. Tryon, Isabelle Crevecoeur, J. Tyler Faith, Ravid Ekshtain, Joelle Nivens, David Patterson, Emma N. Mbua, Fred Spoor. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2682–2687.

Период конца среднего–начала позднего палеолита (70–20 тыс. лет назад) является очень важным для понимания процесса биологического и поведенческого становления современного человека (*Homo sapiens*), а также для отслеживания маршрутов его расселения. Однако ископаемые свидетельства этого периода крайне скудны. Авторы провели хронологический, археологический и палеонтологический анализы находок, сделанных на пещерной стоянке GvJm-22 в районе Лукения-Хилл (Кения), а также определили возраст фрагмента кости свода черепа гоминида KNM-LH 1 из Кенийского национального музея, обнаруженной на том же сайте. Результаты исследования имеют особый интерес, так как все находки относятся к переломному в истории раннего человека периоду смены образа жизни и технологий (переход африканских собирателей к технологиям позднего палеолита), а также относятся к региону, игравшему в позднем палеолите роль одного из центров расселения *Homo sapiens*. KNM-LH 1 уверенно датируется поздним плейстоценом. Определение возраста основывается на данных радиоуглеродного анализа, выполненного методом ускоренной масс-спектропии на 26 образцах скорлупы страусиных яиц, обнаруженных на стоянке GvJm-22. Результаты этого анализа указывают на то, что возраст KNM-LH 1 составляет 23576–22887 лет. Это подтверждает более раннее предположение о том, что гоминид из Лукения-Хилл жил в период последнего ледникового максимума. Геохронологическое изучение других находок со стоянки GvJm-22 расширяет возрастной диапазон сайта вглубь до 46000 лет от наших дней. Это относится к многочисленным предметам (микролитам), обладающим признаками обработки, характерными для технологий как среднего, так и позднего палеолита, что делает сайт GvJm-22 уникальным местом рекордного по длительности пребывания раннего человека. Уникальность заключается еще и в том, что здесь в пределах одного сайта можно проследить все этапы смены образа жизни и характера поведения ранних людей в течение всего позднего плейстоцена. Сравнительный морфометрический анализ особенностей черепной кости гоминида KNM-LH 1 свидетельствует о сложном морфологическом разнообразии ранних *Homo sapiens* как в пространственном (географическом), так и во временном разрезе. На его примере видны морфологические отличия черепа позднеплейстоценовых африканских представителей *Hominini* по сравнению с их голоценовыми африканскими или позднеплейстоценовыми европейскими представителями той же трибы. Этот факт подтверждает мнение тех ученых, которые считают, что ранняя история развития *Homo sapiens* была не такой уж простой и однозначной. Результаты исследования имеют важное значение для понимания происхождения и диверсификации ранних людей в одном из интереснейших с точки зрения эволюции *Homo sapiens* регионе.

В. В. Стрекопытов

## Типы клеток в коре головного мозга и гиппокампе мышей, выявленные с помощью РНК-секвенирования

Cell types in the mouse cortex and hippocampus revealed by single-cell RNA-seq. Amit Zeisel, Ana B. Munoz-Manchado, Simone Codeluppi, Peter Lonnerberg, Gioele La Manno, Anna Jureus, Sueli Marques, Hermany Munguba, Liqun He, Christer Betshtoltz, Charlotte Rolny, Goncalo Castelo-Branco, Jens Hjerling-Leffler, Sten Linnarsson. Science. 2015. Vol. 347. No 6226. P. 1138–1142.

Мозг состоит из большого количества специализированных типов клеток. Функциональная специализация обеспечивает согласованность работы нейронов, а также разделение таких важных функций, как обеспечение энергией, удаление продуктов метаболизма и иммунная защита. Чтобы на молекулярно-генетическом уровне обнаружить различные классы клеток, авторы разработали и применили метод бикластерного анализа, основанный на сортировке точек в соседних районах, который выявил 9 основных классов клеток: пирамидные клетки первичной соматосенсорной коры (S1) и первого поля гиппокампа (CA1), интернейроны, олигодендроциты, астроциты, микроглия, васкулярные эндотелиальные клетки, муральные клетки (перициты и сосудистые гладкомышечные клетки) и эпендимоциты. Определенный набор данных позволил выявить наиболее специфические маркеры для каждого класса клеток, многие из которых выполняют в них жизненно важные функции. Повторяя процедуру бикластеризации для каждого из основных классов, авторы определили в общей сложности 47 подклассов клеток. Были определены 7 подклассов S1-пирамидных клеток, которые в значительной степени были характерны для конкретного слоя коры. Найдено 2 типа CA1-глутаматэргических клеток, а также дополнительные клетки, полученные из соседней CA2-области и основания гиппокампа. Обнаружено 16 подклассов интернейронов, но, скорее всего, их больше, потому что авторы располагали небольшой выборкой клеток, экспрессирующих 2 специфических для них маркерных гена. CA1- и S1-регионы тоже содержали интернейроны почти каждого подкласса, показывая тем самым, что эти клетки, находящиеся в функционально различных корковых структурах транскрипционно тесно связаны. Астроциты включают 2 подкласса, отличающихся дифференциальной экспрессией специфических маркерных генов. Также были определены 2 типа иммунных клеток: микроглия и периваскулярные макрофаги. Выявлено 6 субпопуляций олигодендроцитов, вероятно, представляющих этапы их созревания: незрелые, премиелиновые, миелиновые, и окончательно дифференцированные постмиелиновые. Посредством этого разнообразия типов клеток авторы нашли много факторов транскрипции с очень ограниченными паттернами экспрессии. Распространяя проведенный анализ на все гены, они выявили широкую функциональную специализацию между клеточными подклассами. Таким образом, полученные результаты показывают разнообразие типов клеток головного мозга и транскриптомов. С учетом многообразия типов клеток факторы транскрипции образовали комплекс, регуляторной системы кодирования, предполагающий возможный механизм для поддержания взрослых дифференцированных типов клеток. В более широком смысле эти результаты демонстрируют мощь исследовательского РНК-секвенирования и указывают путь к открытию и характеристике типов клеток всего головного мозга и даже целого организма. Такие данные будут углублять наше понимание регуляторной основы клеточной идентичности, развития организма, нейродегенеративных заболеваний и регенеративной медицины.

Н. В. Карпов

## Структура левозакрученного G-квадруплекса ДНК

Structure of a left-handed DNA G-quadruplex. Wan Jun Chung, Brahim Heddi, Emmanuelle Schmitt, Kah Wai Lim, Yves Mechulam, Anh Tuân Phan. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2729–2733.

Кроме хорошо известной двойной спирали, ДНК может образовывать альтернативную пространственную структуру из четырех нитей, известную как G-квадруплекс. Исследованы участие такой структуры ДНК в клеточных процессах, а также ее терапевтические и диагностические применения. Здесь представлены результаты ЯМР-исследований и кристаллические структуры G-квадруплекса ДНК, полученные рентгеноскопией. Структура обладает уникальными особенностями, по которым можно безошибочно распознать ее. Известные в природе структуры ДНК могут принимать различные пространственные формы, начиная с двойных спиральных A-, B- и Z-форм и до тройных и четверных, и даже — до разветвленных конфигураций. Разные конфигурации ДНК связаны с разными биологическими функциями. В то время как хорошо известная двойная спираль ДНК (также называемая формой B) и большинство других спиральных форм закручены по часовой стрелке, форма Z является единственной известной в настоящее время формой левозакрученной ДНК. Интерес биологов вызывает G-квадруплекс, то есть структура из четырех нитей, состоящая из ряда слоев G-тетрад хромосом. Каждый слой состоит из четырех гуанинов, спаренных по Хугстону, связанных водородными связями в плоскую структуру. Эта спиральная структура с различной возможной ориентацией составных частей очень полиморфна. Однако до настоящего времени были известны только ее правозакрученные формы. Последовательности генов, образующие G-тетрады, обнаружены во многих частях человеческого генома. Недавние исследования показали их присутствие в клетках человека. Также выявлено их участие в клеточной регуляции, включая рекомбинацию, копирование, перенос и трансляцию генов. В работе представлены ядерно-магнитные и рентгеновские анализы структуры G-тетрад олигонуклеотида, которые содержатся в последовательности  $d[T(GGT)_4TG(TGG)_3TGT]$ , далее называемой Z-G4. С помощью строгого присвоения изотопных меток и метода сквозной корреляции выяснена структура Z-G4. В структуру входят два протяженных блока G4, каждый из которых содержит 2 слоя G-тетрад. Два из них ориентированы водородными связями к верху блока, два других — к низу. Все фрагменты гуанина имеют противоположную гликозидную конформацию, за исключением G2, которая имеет синхронную конформацию. Левозакрученная спиральная основа Z-G4 является уникальным образцом семейства G4. Природные или искусственно полученные структуры всего семейства G4 обладают несколькими уникальными пространственными последовательностями белков, которые и могут служить индикаторами присутствия G4. Пространственная конфигурация Z-G4 открывает новые принципы построения разветвленных олигонуклеотидов, которые можно использовать для предсказания свойств структур, подобных G4. Компактная структура Z-G4 может облегчить ее возможное использование в качестве аптамера для целей терапии и диагностики.

И. Ю. Лещанский

## Мутантная форма IDH является достаточным условием для развития эндохондроматоза у мышей

Mutant IDH is sufficient to initiate enchondromatosis in mice. Makoto Hirata, Masato Sasaki, Rob A. Cairns, Satoshi Inoue, Vijitha Puviiindran, Wanda Y. Li, Bryan E. Snow, Lisa D. Jones, Qingxia Wei, Shingo Sato, Yuning J. Tang, Puviiindran Nadesan, Jason Rockel, Heather Whetstone, Raymond Poon, Angela Weng, Stefan Gross, Kimberly Straley, Camelia Gliser, Yingxia Xu, Jay Wunder, Tak W. Mak, Benjamin A. Alman. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2829–2834.

Энхондрома – доброкачественная опухоль хряща, предшественник злокачественной хондросаркомы. Подобные опухоли поражают до 3% популяции. Соматические мутации генов изоцитратдегидрогеназы IDH1 и IDH2 часто встречаются в опухолях данного типа. Мутации IDH также находят при глиомах, глиобластомах, остром миелоидном лейкозе, ангиоиммунобластной Т-клеточной лимфоме и внутривенечной холангиокарциноме. Мутантные варианты IDH превращают α-кетоглутарат в D-2-гидроксиглутарат, ингибируя работу ферментов, зависящих от присутствия α-кетоглутарата, блокируя тем самым ряд клеточных процессов: метилирование ДНК, метилирование гистонов, и активность регулятора HIF1α. 43 хондросаркомы и 13 энхондром были исследованы путем секвенирования по Сенгеру на предмет мутации IDH. В 20 хондросаркомах и 8 энхондромах были обнаружены мутации данного гена, во всех случаях эти мутации были соматическими. Наиболее частым вариантом была аминокислотная замена R132C, реже выявлялись R132G, R132L, R132H и R132Q, впервые описанная в данном исследовании. Аберрантная ферментативная активность этого варианта была сопоставима с другими мутантными формами. При скрещивании мышей с кнокином *ldh1* потомство нежизнеспособно. Установлено, что в конечностях плодов мышей накапливался D-2-гидроксиглутарат, также наблюдались снижение минерализации хряща и нарушения структуры зоны роста хряща, дисплазия длинных костей, ребер и хряща трахеи. В конечностях плода найдены клетки, синтезирующие коллаген X типа, сходные с гипертрофическими хондроцитами по профилю экспрессии. Пролиферация этих клеток в культуре была повышена относительно нормы. Они также характеризовались повышением экспрессии генов, контролируемых сигнальным путем hedgehog (Hh). Известно, что этот сигнальный путь важен как для формирования хряща, так и для развития энхондром и хондросарком, где он активируется конститутивно. Он участвует в дифференцировке клеток хряща, совместно с паратириоидным гормонсвязывающим белком, стимулирующим рост и блокирующим дифференцировку. 5% энхондром содержат мутации рецептора паратириоидного гормонсвязывающего белка, что нарушает баланс этих двух сигнальных путей и активирует сигнальный путь Hh. Обработка нормальных хондроцитов D-2-гидроксиглутаратом приводила к развитию фенотипа, сходного с мутантным. Поскольку мыши с мутантной формой фермента оказались нежизнеспособны, чтобы исследовать патогенез заболевания были взяты мыши с индуцируемой в зоне роста хряща после рождения экспрессией мутантного *ldh1*. После стимуляции экспрессии мутантного белка началось развитие энхондром. Таким образом, нарушения данного гена достаточно для возникновения заболевания. Персистенция гипертрофических хондроцитов нарушает структуру зоны роста, и препятствуют замещению хряща костью. Однако гипертрофические хондроциты не формируют активно растущих повреждений, и для перерождения в хондросаркому, по-видимому, необходимы дополнительные мутации. Тем не менее, IDH может рассматриваться в качестве потенциальной мишени для терапии.

А. Н. Ваганова

## Клеточный стресс стимулирует высвобождение АТФ в аутоиммунных воспалительных процессах, зависящих от NLRP3-инфламмасом, что нарушает баланс цитокинов

Cell stress increases ATP release in NLRP3 inflammasome-mediated autoinflammatory diseases, resulting in cytokine imbalance. Sonia Carta, Federica Penco, Rosa Lavieri, Alberto Martini, Charles Anthony Dinarello, Marco Gattorno, Anna Rubartelli. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2835–2840.

Известно, что клеточный стресс вносит вклад в индукцию системного воспаления при аутоиммунных заболеваниях. При ряде таких заболеваний – NLRP3-зависимых криопирин-ассоциированных периодических синдромах – моноциты из крови больных вырабатывают больше интерлейкина IL-1β, чем моноциты здоровых людей. В данном исследовании было показано, что стресс снижает активационный порог: моноциты поддерживают повышенный уровень секреции IL-1β (в 5 раз выше нормы) и интерлейкина IL-18 (в 10 раз выше нормы) при стимуляции липополисахаридами в концентрации в 1000 раз ниже, чем необходимо для индукции выработки IL-1β в контроле. Примечательно, что уровень секреции IL-1α повышен в 10 раз. Это говорит о том, что этот интерлейкин, вероятно, также участвует в воспалительных процессах при криопирин-ассоциированных периодических синдромах. В моноцитах больных также в 10 раз повышен уровень секреции АТФ. В свою очередь, АТФ активирует 7 пуринорецептор P2X, что индуцирует секрецию IL-1α, IL-1β и IL-18. Секреция АТФ, вызванная липополисахаридами, предотвращалась ингибитором АФК (активных форм кислорода) DPI. Таким образом, секреция АТФ индуцируется именно АФК. Предотвращение выработки АФК моноцитами также предотвратило секрецию IL-1β, не повлияв на биосинтез цитокинов-предшественников. Содержание эктонуклеотидаз CD39 и CD73, гидролизующих АТФ до аденозина, в моноцитах больных и здоровых людей сопоставимо. Таким образом, повышенное содержание АТФ вне клетки объясняется именно его усиленной секрецией, вероятно, являющейся связующим звеном между клеточным стрессом и усиленной секрецией цитокинов при криопирин-ассоциированных периодических синдромах. При стимуляции липополисахаридами моноциты подвергались окислительному стрессу, так как в них удавалось обнаружить большие количества свободного цистеина, чем в нестимулированных клетках. В этих условиях затрудняется выработка противовоспалительного антагониста рецептора IL-1 (IL-1Ra). Примечательно, что секреция IL-1Ra полностью восстанавливалась при обработке клеток антиоксидантом – восстанавливающим агентом дитиотреитолом. Для определения роли антиоксидантов в этом механизме сравнивали реакции моноцитов на окислительный стресс у двух больных с заменой T348M в NLRP3, но разной степенью тяжести заболевания. Моноциты пациента с более легкой формой заболевания более эффективно реагировали на окислительный стресс (судя по повышенному уровню маркеров-антиоксидантов), секретировали меньше АТФ и в большей степени сохраняли баланс цитокинов. Моноциты его дочери (с более тяжелой формой) усиленно секретировали IL-1β даже при стимуляции пониженными дозами липополисахаридов. Таким образом, индивидуальная реакция на окислительный стресс определяет тяжесть заболевания. Блокирование 7 пуринорецептора P2X фармакологическими агентами и повышение устойчивости клеток к стрессовым воздействиям представляют собой перспективные стратегии лечения воспаления, связанного со стрессом.

А. Л. Братцева



## Пищевые эмульгаторы воздействуют на микробиоту кишечника мышей, способствуя развитию колита и метаболического синдрома

Dietary emulsifiers impact the mouse gut microbiota promoting colitis and metabolic syndrome. Benoit Chassaing, Omry Koren, Julia K. Goodrich, Angela C. Poole, Shanthi Srinivasan, Ruth E. Ley, Andrew T. Gewirtz. Nature. 2015. Vol. 519. No 7541. P. 92–96.

Микробиота кишечника – многообразное микробное сообщество, задействованное в метаболизме и развитии иммунной системы хозяина. Она заселяет слой слизи у поверхности эпителия, которая удерживает это сообщество на некотором расстоянии от клеток, выстилающих кишечник. Нарушение этого слоя слизи негативно влияет на сообщество и может стать причиной воспалительных заболеваний. Подобным эффектом обладают эмульгаторы, присутствующие в пище. В данном исследовании изучено влияние на лабораторных животных двух эмульгаторов, карбоксиметилцеллюлозы и полисорбата-80. Первое вещество считается безвредным, применение второго в пищевой промышленности ограничено из-за его канцерогенности. Мыши, выбранные для работы, относились к штаммам со склонностью к нарушениям микробиоты и воспалениям (IL10<sup>-/-</sup> и Tlr5<sup>-/-</sup>). Методом конфокальной микроскопии было установлено, что в норме бактерии находятся в слое слизи в среднем 25 мкм от поверхности эпителия, но уже в 10 мкм от нее они отсутствуют. Под действием эмульгаторов из-за повреждения слоя слизи среднее расстояние между микробиотой и эпителием кишечника снижается, и часть микроорганизмов вступает в контакт с клетками эпителия. Путем секвенирования 16S рНК было установлено, что под действием эмульгаторов перестраивается видовой состав сообщества. У мышей падает содержание представителей порядка Bacteroidales и повышается доля мукослитических организмов, таких как *Ruminococcus gnavus*. У штамма IL10<sup>-/-</sup> оба эмульгатора вызывали повышение содержания флоры Verrucosomicrobia и протеобактерий, стимулирующих воспаление. В целом, изменения, вызванные эмульгаторами, были во многом схожи у мышей разных генотипов, сообщество микроорганизмов кишечника становилось нестабильным, изменчивым. Под действием эмульгаторов росла частота колитов у IL10<sup>-/-</sup> и Tlr5<sup>-/-</sup> мышей. У мышей дикого типа при вскрытии выявлялось воспаление с поражением эпителия и укорочением кишечника. Через 4 недели получения эмульгаторов содержание маркера воспаления кишечника, липокалина 2, в фекалиях животных возрастало. У мышей IL10<sup>-/-</sup> и Tlr5<sup>-/-</sup> частота колитов коррелировала с обогащением микрофлоры представителями *Bilophila sp.* и *Helicobacter sp.* и сокращением расстояния между микробиотой и эпителием. Получавшие эмульгаторы мыши прибавляли в весе и потребляли больше пищи, нарушался контроль метаболизма глюкозы. К подобным эффектам приводило добавление эмульгаторов как в воду, так и в корм. Содержание всего 0,1% карбоксиметилцеллюлозы в корме приводило к повышению веса и увеличению глюкозы в крови, а 0,5% – к слабовыраженному воспалению кишечника и накоплению жира. Полисорбат-80 приводил к воспалению и накоплению жира уже при концентрации 0,1%, а при 0,5% начиналась дисгликемия. Все эти эффекты были обусловлены неблагоприятным воздействием эмульгаторов на микрофлору. У мышей, лишенных микробиоты, подобных нарушений не наблюдалось, хотя нельзя полностью исключать и прямого воздействия эмульгаторов на хозяина. Возможно, активное применение эмульгаторов в пищевой промышленности стало одной из причин роста заболеваемости метаболическим синдромом в настоящее время.

А. Н. Ваганова

## Химерный eCD4-Ig, экспрессируемый с помощью вектора на основе аденоассоциированного вируса, обеспечивает длительную защиту против вирусов иммунодефицита обезьяны и человека

AAV-expressed eCD4-Ig provides durable protection from multiple SHIV challenges. Matthew R. Gardner, Lisa M. Kattenhorn, Hema R. Kondur, et. al. Nature. 2015. Vol. 519. No 7541. P. 87–91.

Возможная альтернатива вакцине против ВИЧ-1 – продолжительная экспрессия *in vivo* эффективного ингибитора вхождения вируса в клетку. Векторы на основе аденоассоциированного вируса способны обеспечивать стабильный синтез нейтрализующих антител против ВИЧ-1. Тем не менее, 10-50% изолятов нейтрализуются неэффективно (с 80% ингибирующей концентрации (IC<sub>80</sub>) более 5 мкг/мл). Таким образом, для эффективной защиты от вируса необходимы высокие концентрации антител. В данном исследовании было показано, что химерный белок eCD4-Ig, состоящий из иммуноадгезиновой формы корцептора CD4–CD4-Ig и короткого сульфопептида, имитирующего CCR5, активно и кооперативно связывается с гликопротеином Env оболочки ВИЧ-1 и обладает большими возможностями, чем лучшие нейтрализующие антитела против широкого спектра штаммов. Ранее было показано, что такие сульфопептиды способны связываться с Env, но аффинность связывания в отсутствие CD4 снижена, поэтому была предложена гипотеза о совместном действии этих двух молекул. Действительно, с помощью eCD4-Ig и двух его мутантных форм удалось нейтрализовать все устойчивые к нейтрализации антителами изоляты ВИЧ-1 и ВИЧ-2, а также изоляты вируса иммунодефицита обезьян. Химерный eCD4-Ig и его мутантные формы обладали в 20-200 раз большим потенциалом нейтрализации, чем CD4-Ig, причем, чем устойчивее к нейтрализации антителами был штамм вируса, тем сильнее проявлялась эффективность eCD4-Ig. Таким образом, eCD4-Ig нейтрализует широкий спектр разновидностей вируса. Это объясняется тем, что в отличие от нейтрализующих антител, он связывается только с консервативными участками Env. В отличие от CD4-Ig, eCD4-Ig в концентрации всего 125 нг/мл успешно препятствовал размножению вируса в периферических мононуклеарных клетках крови человека. Это наблюдение проверили и на иммунодефицитных мышях: перед инфицированием ВИЧ-1 им вводили eCD4-Ig в количестве, необходимом для поддержания концентрации в сыворотке 2-4 мкг/мл. В отличие от контрольных, мыши, получившие eCD4-Ig, проявили устойчивость к инфекции, причем не только при первом инфицировании, но и при повторном – через 5 недель. Эффективность eCD4-Ig подтвердилась и в эксперименте на макаках-резусах. В CD4-домен eCD4-Ig были внесены мутации, повышающие сродство CD4 резусов к изолятам ВИЧ-1. Ген результирующей конструкции клонировали в одноцепочечный вектор на основе аденоассоциированного вируса. При введении 2,5×10<sup>13</sup> вирусных частиц макакам-резусам в течение 40 недель и более у животных сохранялась стабильная экспрессия eCD4-Ig, что обеспечило им стабильную защиту от вируса иммунодефицита обезьян при множественных инфицированиях. Кроме того, eCD4-Ig резусов обладает меньшей иммуногенностью, чем полученные из этих организмов широко используемые нейтрализующие антитела. Полученные результаты позволяют предположить возможность использования eCD4-Ig, переносимого с помощью вектора на основе аденоассоциированного вируса, в качестве эффективной вакцины против ВИЧ-1.

А. Л. Братцева

## Подавление рецептора LRH-1 в популяции раковых клеток толстой кишки ухудшает их пролиферацию и изменяет программу экспрессии

Silencing LRH-1 in colon cancer cell lines impairs proliferation and alters gene expression programs. James R. Bayrer, Sridevi Mukkamala, Elena P. Sablin, Paul Webb, Robert J. Fletterick. PNAS. 2015. Vol. 112. No 8. P. 2467–2472

Колоректальный рак является причиной около 10% всех смертей от рака в промышленно развитых странах. Последние данные свидетельствуют о центральной роли ядерного рецептора LRH-1 (гомолог печеночного рецептора-1) в онкогенезе. Рецептор LRH-1 жизненно важен для поддержания гомеостаза у человека. Он находится в желудочно-кишечном тракте, включая печень и поджелудочную железу, а также — в яичниках, где контролирует стероидогенез. Действие LRH-1 выражено и в кишечных криптах, где он регулирует обновление эпителиальных кишечных клеток. Известно, что рецептор LRH-1 фигурирует в Wnt/ $\beta$ -катениновом сигнальном пути, определяющем дифференцировку клеток и развитие злокачественных опухолей, что нашло яркое выражение в субпопуляции раковых клеток, изученной авторами в ходе исследования. Важность роли рецептора LRH-1 была подтверждена экспериментально, когда выяснилось, что сокращение количества LRH-1 у лабораторных мышей уменьшает опухолевый рост. Так или иначе, пока не ясно, влияет ли LRH-1 только на онкогенез, или только на пролиферацию, или на оба процесса одновременно. Было проведено исследование путем подавления LRH-1 в раковых клетках за счет малых РНК, образующих шпильки (short-hairpin mRNA). Для исследования было взято 2 линии клеток: клетки карциномы кишечника Caco-2, в которых экспрессия LRH-1 была вчетверо выше, чем во второй колонии аденокарциноматозных клеток под названием HT29. Результат подавления LRH-1 в линиях раковых клеток Caco2c сильной его экспрессией привел к существенному снижению пролиферации, а в колониях HT29c умеренной экспрессией — к более сдержанному ослаблению пролиферации. Анализ клеточного цикла показал увеличение времени стадии G0/G1, сравнимое со временем цикла деления здоровых тканей в присутствии LRH-1, то есть был продемонстрирован эффект ареста клеточного цикла. Кластерный анализ биочипа гена экспрессии демонстрирует значительные изменения генома с выраженным эффектом в регуляции клеточного цикла, передачи сигнала, метаболизма желчной кислоты и холестерина, а также — в контроле апоптоза. Но, несмотря на это, результаты поточной цитометрии показали, что ингибирование LRH-1 не приводит к апоптозу раковых клеток. Также в ходе работы была выяснена роль LRH-1 в лекарственной резистентности опухолей. При отсутствии LRH-1 активность трех ферментов из семейства глутатион S-трансферазы, и пяти ферментов из суперсемейства глюконозилтрансферазы была существенно подавлена. Эти семейства связаны с лекарственным метаболизмом, что создает защиту для опухоли от химиотерапии. Данное исследование продемонстрировало важную предпролиферативную роль LRH-1 в изучаемых линиях клеток рака толстой кишки. Было показано, что его супрессия уменьшает пролиферацию раковых клеток, что подчеркивает важность дальнейшего изучения ингибиторов LRH-1.

В. В. Стрекопытов

## Сахарные амфифильные наночастицы препятствуют атеросклерозу *in vivo*

Sugar-based amphiphilic nanoparticles arrest atherosclerosis *in vivo*. Daniel R. Lewis, Latrisha K. Petersen, Adam W. York, Kyle R. Zablocki, Laurie B. Joseph, Vladyslav Kholodovych, Robert K. Prud'homme, Kathryn E. Uhrich, Prabhas V. Moghe. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2693–2698.

Атеросклероз — накопление жирных бляшек на стенках сосудов — основная причина хронических заболеваний сердечно-сосудистой системы, являющихся одной из основных причин смерти в мире. Хотя методы направленного уничтожения бляшек до сих пор не разработаны, перспективным подходом представляется воздействие на макрофаги. Макрофаги привлекаются в области скопления липидов, поглощают их и превращаются в пенные клетки с характерным фенотипом. В данном исследовании предложена наносистема, предотвращающая формирование атеросклеротических бляшек и состоящая из двух компонентов. Во-первых, на уровне макрофагов, сахарные амфифильные макромолекулы конкурентно ингибируют поглощение окисленных жиров через фагоцитарные рецепторы макрофагов. Во-вторых, на уровне бляшек, эти макромолекулы заключаются в стабильные в сыворотке наночастицы, связывающиеся с бляшками, размером около 160 нм или на их поверхность. Был разработан набор таких комплексов амфифильных молекул и наночастиц. Их протекторный эффект был исследован *in vitro* на макрофагах человека. Они эффективно связывались с фагоцитарными рецепторами MSR1 и CD36 и подавляли их функции, что минимизировало захват окисленных липидов и формирование пенных клеток. Эффективность частиц зависела от стехиометрического соотношения сахаров на их поверхности. Самые эффективные частицы сохраняли свои свойства в течение 300 дней и более. При еженедельном внутривенном введении в концентрации от  $10^{-7}$  М мышам с липидными бляшками в аорте амфифильные макромолекулы на наночастицах связывались с бляшками более эффективно, чем контрольные частицы. Как показали обработка красителем жиров Oil Red O и окрашивание по маркеру воспаления COX-2 и гладкомышечному актину, это приводило к подавлению гиперплазии неоинтимы, уменьшению груза жиров и холестериновых пространств, что снизило степень закупорки сосудов на 37%, как и уровень воспаления. Методом конфокальной микроскопии было показано накопление наночастиц в некротических ядрах бляшек. Время их полужизни *in vivo* составляло 28 часов, что значительно выше показателя для стандартных мицеллярных систем, используемых в лечении атеросклероза. В конечный момент наблюдения в органах наночастицы накопились лишь в небольшом количестве. Большая часть наночастиц, не связавшихся с бляшками, находилась в печени, что говорит об их включении в метаболизм. Минимальное накопление наночастиц в селезенке говорит об отсутствии опасности для фильтрации эритроцитов и активации лимфоцитов. Одним из преимуществ описанных наночастиц является их способность к связыванию с бляшками за счет притяжения зарядов, что не требует конъюгации с антителами или специфическими пептидами. Таким образом, использованные наночастицы с макромолекулами не только действуют на скопления жиров, но и могут быть использованы против воспалительных процессов в сосудах, что подтверждает перспективность нанопрепаратов для лечения гиперлипидемических и метаболических синдромов.

А. Л. Братцева

## Редактор аберрантного сплайсинга мРНК восстанавливает модификации тРНК при семейной дисавтономии

Rectifier of aberrant mRNA splicing recovers tRNA modification in familial dysautonomia. Mayumi Yoshida, Naoyuki Kataoka, Kenryo Miyauchi, Kenji Ohe, Kei Iida, Suguru Yoshida, Takayuki Nojima, Yukiko Okuno, Hiroshi Onogi, Tomomi Usui, Akihide Takeuchi, Takamitsu Hosoya, Tsutomu Suzuki, Masatoshi Hagiwara. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2764–2769.

Семейная дисавтономия — врожденная нейропатия, связанная с заменой в интроне 20 гена *IKVKAP* в положении +6T > C в гомозиготе, результатом чего является потеря экзона 20 в мРНК при сплайсинге, сдвиг рамки считывания и возникновение стоп-кодона в экзоне 21. Выраженность нарушения сплайсинга тканеспецифична, поражаются сенсорные нервы и нервы вегетативной нервной системы. Нарушение работы *IKVKAP* у млекопитающих приводит к снижению содержания модифицированных нуклеозидов, 5-метоксикарбонилметил-уридина, 5-карбонилметилуридина и 5-метоксикарбонилметил-2-тиоуридина в тРНК. Эти модификации тРНК важны для точной трансляции и их отсутствие приводит к нарушению синтеза ряда белков. С целью поиска веществ, восстанавливающих сплайсинг *IKVKAP*, было исследовано 638 низкомолекулярных соединений воздействующих на сплайсинг, в качестве положительного контроля использовался кинетин, активность которого относительно *IKVKAP* выражена слабо. Для выявления восстановления сплайсинга была сконструирована репортерная структура, включавшая фрагменты гена *IKVKAP* и последовательности, кодирующие флуоресцентные белки. Нормальный процесс сплайсинга этой последовательности приводил к накоплению зеленого флуоресцентного белка, а при его нарушении накапливался красный флуоресцентный белок. В результате скрининга было найдено соединение, эффективно восстанавливавшее сплайсинг *IKVKAP*, которое было названо редактор аберрантного сплайсинга (RECTAS). Действие RECTAS основано на повышении сродства мутантной РНК к малому ядерному нуклеопротеину U1 и стимуляции сборки комплекса сплайсосомы, которая нарушается в результате мутации. За счет этого RECTAS восстанавливал сплайсинг в линии фибробластов от пациента с нарушением включения экзона 20 *IKAP* в мРНК и повышал экспрессию конечного продукта, его эффект зависел от дозы. При оральном назначении мышам RECTAS показана большая концентрация соединения в плазме по сравнению с кинетином, при этом содержание в мозге достигала концентрации 0,4 мкмоль, необходимой для воздействия на сплайсинг. При оценке влияния RECTAS на сплайсинг других мРНК методом высокопроизводительного секвенирования, в клетках больного, обработанных этим соединением было показано изменение сплайсинга с включением в РНК 51 экзона и потерей 199 экзонов. Экзоны, включавшиеся в цепь, характеризовались присутствием сайтов распознавания ядерных рибонуклеопротеинов H1 и H2, что указывает на значение RECTAS для сплайсинга с участием этих молекулярных комплексов. Каких-либо закономерностей для утрачиваемых экзонов обнаружить не удалось. Анализ модификаций тРНК с помощью жидкостной хроматографии показал снижение содержания модифицированных нуклеотидов в тРНК пациентов с семейной дисавтономией. RECTAS восстанавливал уровень модификаций тРНК и повышал скорость роста клеток пациента в культуре. Эффективность RECTAS была в 25 раз выше по сравнению с кинетином. Поскольку RECTAS быстро абсорбируется при оральном приеме, более стабилен, чем кинетин и проникает в мозг в достаточном количестве, он, в перспективе, может быть использован в качестве лекарственного препарата.

А. Н. Ваганова

## Ингибирование деацетилаз гистонов препятствует повреждению белого вещества мозга, модулируя поляризацию микроглии/макрофагов через GSK3β/PTEN/Akt сигнальный путь

HDAC inhibition prevents white matter injury by modulating microglia/macrophage polarization through the GSK3β/PTEN/Akt axis. Guohua Wang, Yejie Shi, Xiaoyan Jiang, Rehana K. Leak, Xiaoming Hu, Yun Wu, Hongjian Pu, Wei-Wei Li, Bo Tang, Yun Wang, Yanqin Gao, Ping Zheng, Michael V. L. Bennett, Jun Chen. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2853–2858.

При черепно-мозговых травмах происходит повреждение серого и белого вещества мозга и нарушение нервной передачи сигнала. К месту травмы мигрируют микроглия и макрофаги. Среди них выделяют два поляризованных фенотипа: M1 и M2. Проинфламаторный фенотип M1 синтезирует и выделяет цитокины, а второй фенотип способствует выделению нейротрофических факторов. Известно, что ингибирование гистоновых деацетилаз приводит к антиинфламаторному влиянию. В этой работе авторы использовали ингибитор гистоновых деацетилаз классов I и II — Scriptaid, в качестве потенциального протектора при травматическом повреждении мозга. В мышинной модели черепно-мозговой травмы, инъекции Scriptaid улучшили восстановление моторных функций после травмы. Было показано, что Scriptaid способствовал сохранению (или ремиелинизации) миелинизированных аксонов в *corpus callosum* и *striatum* и частично защитил нервную проводимость. В модели кислородно-глюкозного голодания на культуре олигодендроцитов протекторный эффект Scriptaid был опосредован микроглией. Были индуцированы M1 и M2 фенотипы микроглии. Факторы, производимые M1 микроглией, снижали выживание олигодендроцитов, а факторы M2 микроглии увеличивали. При использовании Scriptaid происходило смещение в сторону M2 фенотипа. Экспрессия генов M1 фенотипа, кодирующих CD16 и индуцируемую NO-синтазу, снижалась в ипсилатеральном *striatum*, а экспрессия генов M2 фенотипа, кодирующих CD206 и интерлейкин 10, увеличивалась. Ранее было показано, что Scriptaid активирует сигнальный фосфоинозитид-3-киназы/протеинкиназы B (PI3K/Akt) в нейронах, инактивируя фосфотазу PTEN. В микроглии, активированной липополисахаридами, наблюдалось значительное снижение фосфо-PTEN и фосфо-Akt. Дефосфорелированный PTEN является активной формой, ингибирующей передачу сигнала PI3K/Akt. Предобработка с Scriptaid (30 мин) ослабила снижение уровней фосфо-PTEN и фосфо-Akt в микроглии, активированной липополисахаридами. В дополнение, Scriptaid предотвратил вызванное липополисахаридами снижение уровня фосфо-mTOR, фосфо-гликоген синтазы киназы 3β (фосфо-GSK3β) и общую экспрессию GSK3β в микроглии. Использование блокатора PI3K (LY294002) отменило ингибирование Scriptaid продукции TNF-α и NO и частичную защиту уровня фосфо-Akt в микроглии. Нокадаун GSK3β с помощью РНК-интерференции снизил опосредованную Scriptaid защиту уровня фосфо-Akt при липополисахаридной обработке. На уровне мРНК, обработка липополисахаридами немного снизила уровень экспрессии GSK3β, тогда как Scriptaid вызвал значительное увеличение GSK3β экспрессии. Использование Scriptaid оказало протекторный эффект при травме *in vivo*, что было оценено с помощью иммуноокрашивания на основной белок миелина и SMI-32. Таким образом, ингибирование деацетилаз гистонов увеличивает экспрессию микроглиальной GSK3β, что служит инактивации PTEN. PTEN инактивация способствует сигнальному PI3K/Akt и поляризует микроглию к M2 фенотипу, что помогает защитить олигодендроциты.

Н. Б. Илларионова



## НАД-анализ *in vivo* показывает внутриклеточное содержание и окислительно-восстановительный потенциал НАД в мозге здоровых людей в зависимости от возраста

In vivo NAD assay reveals the intracellular NAD contents and redox state in healthy human brain and their age dependences. Xiao-Hong Zhu, Ming Lu, Byeong-Yeul Lee, Kamil Ugurbil, Wei Chen. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2876–2881.

В данном исследовании авторы показали целесообразность применения сверхвысокопольной (в 7 Тесла) магнитно-резонансной (MR) спектроскопии на ядрах изотопа фосфора  $^{31}\text{P}$  в качестве неинвазивного анализа содержания никотинамидадениндинуклеотида (НАД) *in vivo*. Рассмотрено несколько методологических аспектов. Во-первых, для успешного анализа необходимо высокое качество  $^{31}\text{P}$  MR-спектра, особенно с высоким отношением сигнал/шум (SNR) и узкой резонансной линией. Во-вторых, для моделирования и спектральной подгонки  $^{31}\text{P}$  MR-данных требуется знание специфического НАД-спектрального паттерна в данной области MR-томографа. В-третьих, чтобы сохранить время сканирования и получить SNR в единицу выбранного времени, большинство  $^{31}\text{P}$  MR-спектроскопических измерений не предусматриваются в полностью облегченных условиях. Применяя данное MR-измерение НАД, авторы смогли определить внутриклеточную концентрацию НАД<sup>+</sup> (окисленного НАД) и НАДН (восстановленного НАД), а также окислительно-восстановительный (ОВ) потенциал НАД<sup>+</sup>/НАДН в мозге здоровых добровольцев, когда они находились в спокойном состоянии внутри MR-томографа. Известно, что функции НАД заключаются в регуляции клеточного метаболизма и сигналинга. В данном исследовании авторы обнаружили постепенное, но значительное снижение в мозге человека

ОВ-потенциала НАД<sup>+</sup>/НАДН, связанное с уменьшением уровня НАД<sup>+</sup> и повышением уровня НАДН в процессе старения. Снижение в мозге данного ОВ-потенциала предполагает значительное изменение метаболического баланса глюкозы и кислорода в сторону замедления метаболизма кислорода и окислительного фосфорилирования в митохондриях, что приводит к снижению скорости производства АТФ в стареющем головном мозге. В дополнение к основному энергетическому гомеостазу посредством регуляции ОВ-потенциала НАД<sup>+</sup>/НАДН, биосинтез и катаболизм НАД<sup>+</sup> могут влиять на активность различных ферментов, которые опосредуют метаболические процессы в клетке. Помимо снижения внутриклеточного уровня НАД<sup>+</sup> и ОВ-потенциала авторы также наблюдали более медленное снижение общего внутриклеточного содержания НАД в процессе старения, что в совокупности отражает наличие пониженного уровня НАД<sup>+</sup> у пожилых людей. Потенциальное применение вышеизложенного анализа содержания НАД в качестве ценного инструмента для биомедицинских и клинических исследований можно ожидать в нескольких направлениях. Данный подход можно легко распространить на визуализацию пространственного распределения внутриклеточных концентраций НАД и ОВ-потенциала НАД<sup>+</sup>/НАДН не только в мозге, но и других органах и тканях. Это позволит оценить содержание НАД в патологических областях и сравнить их с соответствующими нормальными тканями. Данный анализ представляет собой новое средство для оценки эффективности лечения или терапевтического вмешательства посредством мониторинга изменения внутриклеточного содержания НАД и ОВ-потенциала в дополнение к информации по другим фосфорным метаболитам. Таким образом, вышеизложенное открывает новые горизонты для изучения центральных ролей НАД-метаболизма у здоровых людей и при нейродегенеративных заболеваниях.

Н. В. Карпов

## Выводы относительно динамики сезонного и эпидемического распространения гриппа

Inference of seasonal and pandemic influenza transmission dynamics. Wan Yang, Marc Lipsitch, Jeffrey Shaman. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2723–2728.

Грипп остается основной проблемой здоровья общества. По всему миру ежегодно он вызывает 3-5 миллионов случаев заболевания и 250-500 тысяч смертей. Несколько раз в течение века появляется новый подтип вируса гриппа, способный эффективно распространяться от человека к человеку, вызывая пандемию. Между пандемиями ежегодно случаются эпидемии гриппа. Человеческий иммунитет мало влияет на вирус гриппа типа А, поскольку всегда есть часть населения, восприимчивая к вирусу. В общем случае эпидемии происходят зимой, но в тропиках сезонная зависимость менее заметна. Во многих странах система контроля эпидемий отслеживает не только подтвержденные случаи гриппа, но и заболевания, похожие на грипп. Центры контроля заболеваемости собрали еженедельные данные более чем за 30 лет. Данные Google по гриппу доступны для 29 стран мира в реальном времени. Данные могут не отражать истинного масштаба заражения вирусом, поскольку фиксируют число диагнозов, а не число заболевших. Случаи заболевания без проявления симптомов тоже не входят в статистику. Подобные отклонения и ошибки наблюдения искажают наблюдаемую картину эпидемиологии гриппа. Однако к искаженным данным можно применить байесовский анализ. На динамических моделях он может корректно оперировать неточными данными наблюдений и годится как для пандемий, так и для сезонных

вспышек. Обработаны данные по вспышкам гриппа в 115 городах США с 2003 по 2013 гг. Исследовалась математическая модель вида «восприимчивый–инфицированный–выздоровевший–восприимчивый», которая включала в себя также фильтр Кальмана или фракционный фильтр. Модель содержала две переменные (количество восприимчивых и количество инфицированных), а также пять параметров: период иммунитета, период инфекции, репродуктивные числа (максимальное –  $R_{0max}$  и минимальное –  $R_{0min}$ ), и масштабный множитель, используемый для сравнения выходных данных модели с наблюдаемыми. Результаты хорошо коррелируют с фактическими данными. Для понимания динамики передачи инфекции основным является репродуктивное число  $R_0$ , представляющее собой среднее число вторичных инфекций, порожденных первичным случаем в среде полностью восприимчивого населения. Оценку  $R_0$  обычно производят для пандемий, и лишь изредка – для сезонных вспышек.  $R_0$  зависит от абсолютной влажности окружающей среды.  $R_0$  является критическим параметром для описания процесса распространения инфекции среди населения и сдерживании вспышек. Для эпидемий характерно значение  $R_0$  от 1,3 до 3,0. Конкретное значение сильно зависит от местных условий, в основном от восприимчивости и сезона. Распространение эпидемии можно сдерживать, если  $R_0$  меньше 2. Оценки часто базируются на данных, полученных в течение первых недель вспышки, то есть в период экспоненциального роста числа инфицированных. Анализ большого объема данных из социальных сетей может предоставить важную информацию о раннем предсказании эпидемических заболеваний, а также важную динамику распространения множества местных вспышек.

И. Ю. Лещанский

## Сохранение состояния путем повторяющегося детектирования ошибок в сверхпроводящей квантовой цепи

State preservation by repetitive error detection in a superconducting quantum circuit. J. Kelly, R. Barends, A. G. Fowler, A. Megrant, E. Jeffrey, T. C. White, D. Sank, J. Y. Mutus, B. Campbell, Yu Chen, Z. Chen, B. Chiaro, A. Dunsworth, I.-C. Hoi, C. Neill, P. J. J. O'Malley, C. Quintana, P. Roushan, A. Vainsencher, J. Wenner, A. N. Cleland & John M. Martinis. Nature. 2015. Vol. 519. No 7541. P. 66–69.

Жизнеспособность квантовых компьютеров напрямую зависит от возможности защитить квантовое состояние от наведенных окружающей средой ошибок. Если квантовые биты (кубиты) достаточно надежны, то ошибки редки и квантовая коррекция ошибок может их идентифицировать и исправить. Добавление большего количества кубитов улучшает сохранение квантовых состояний, так как гарантирует, что логический сбой не произойдет для все большего размера кластера ошибок. Использование квантовой коррекции ошибок для продления жизни кубита остается одной из актуальных экспериментальных задач в области квантовых вычислений. Сообщается о полученной защите классических состояний от вызванных воздействием окружающей среды ошибок инвертирования бита. Продemonстрировано подавление таких ошибок с ростом размера системы. Использовался линейный массив из девяти кубитов, что является упрощенной реализацией двумерного поверхностного кода квантовой коррекции ошибок. Ошибки отслеживались путем повторяющегося проективно неразрушающего измерения квантовой четности. Система была реализована как цепочка из девяти трансмонов ( $Xmon$ ): пяти — с данными, и четырех — считывающих, с индивидуальным контролем и считыванием. Физической основой послужила сверхпроводящая алюминиевая пленка на сапфировой подложке. В пересчете на один физический кубит количество сбоев после восьми циклов уменьшилось по сравнению с одиночным кубитом в 2,7 раза для системы из пяти кубитов и в 8,5 раз для системы из девяти кубитов. Показано отличное от экспоненциального снижение точности логических состояний с ростом количества циклов, связанное с ростом числа ошибок. Предполагается, что причиной роста числа ошибок является энергетическая релаксация кубитов и только в малой степени — утечка состояний. Также методом томографии было подтверждено сохранение после двух циклов неклассического состояния Гринбергера-Хорна-Зейлингера, при этом получила коррекция инвертирования бита, но не инвертирования фазы. Успешное подавление наведенных окружающей средой ошибок показывает принципиальную реализуемость физических процессов, необходимых для реализации двумерного поверхностного кода коррекции ошибок. Это обеспечивает возможность дальнейших исследований в области построения сверхпроводящего квантового компьютера большого масштаба, таких, как разработка двумерных массивов кубитов, измерение четности для системы из четырех кубитов, улучшение точности для измерений и вентилей, исследование поведения схем коррекции ошибок на большом количестве циклов.

А. В. Якименко

## Увеличение проводимости в графеновых пикоразмерных электрически выжженных наноконтактах

Conductance enlargement in picoscale electroburnt graphene nanojunctions. Hatef Sadeghi, Jan A. Mol, Chit Siong Lau, G. Andrew D. Briggs, Jamie Warner, and Colin J. Lambert. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2658-2663.

Продолжение закона Мура на размеры менее 10 нм требует разработки новых технологий формирования электродных нанозазоров для архитектур, предполагающих электростатический затвор. Потенциал электрически выжженных графеновых наноконтактов позволяет, при условии ясного понимания и контроля их электрических свойств, построить широкий диапазон таких устройств. Была теоретически и экспериментально исследована проводимость электрически выжженных графеновых наноконтактов на последних стадиях формирования нанозазоров. Экспериментально исследовались скачки проводимости при электрическом выжигании однослойного графена с контролем отклика. Графен был получен осаждением из газовой фазы и перенесен на приготовленный кремниевый чип. Были сформированы полосы графена с помощью электронно-лучевой литографии и кислородно-плазменной гравировки. Один цикл включал в себя подъем прикладываемого к графеновому устройству напряжения до момента, когда проводимость начинала падать, после чего напряжение спускалось обратно до нуля. Процесс повторялся до момента образования нанозазора между полосами. При уменьшении сечения контакта проводимость падала вплоть до квантового значения проводимости  $G_0 = 2e^2/h$ . С этого момента вольт-амперная характеристика перестает подчиняться закону Ома и демонстрирует случайное «телеграфное» поведение по мере того, как устройство переключается между разными атомными конфигурациями. В 138 из 279 исследованных образцов последний цикл демонстрирует резкий рост проводимости непосредственно перед образованием нанозазора. Для теоретического объяснения описанного неожиданного роста проводимости непосредственно перед формированием зазора были методами молекулярно-динамического моделирования исследованы транспортные характеристики графеновых контактов при их разрыве. Был смоделирован ряд контактов с кислородными, водородными и углеродными окончаниями, для каждой структуры рассчитывалась проводимость с помощью комбинации методов теории функционала плотности и неравновесной функции Грина. В общей сложности смоделировано 42 конфигурации контакта. Результаты расчетов говорят о том, что один атомный контакт показывает более высокую проводимость, чем два. Это явление трактовано, как результат квантовой интерференции при комнатной температуре. Интерференция возникает непосредственно перед разрывом контакта и образованием зазора, при переходе от многоканального квантового транспорта к одноканальному. Случаи отсутствия скачка проводимости трактованы как переход от двух и более путей непосредственно к разрыву. Таким образом, можно предположить, что рост проводимости перед разрывом является сигналом о формировании электрически выжженных графеновых наноконтактов с путем тока пикомасштаба, сформированным из одной связи  $sp^2$ .

А. В. Якименко



## Прочные самоочищающиеся покрытия, устойчивые в воздушной или масляной среде

Robust self-cleaning surfaces that function when exposed to either air or oil. Yao Lu, Sanjayan Sathasivam, Jinlong Song, Colin R. Crick, Claire J. Carmalt, Ivan P. Parkin. Science. 2015. Vol. 347. No 6226. P. 1132–1135.

Свойства существующих в настоящее время гидрофобных самоочищающихся покрытий основаны на их способности создавать на обрабатываемых ими поверхностях текстуру с особыми микро- или наноморфологическими характеристиками. Все эти покрытия крайне неустойчивы к механическому воздействию и, к тому же, разрушаются при контакте с маслянистыми жидкостями. Авторы сообщают о создании новой супергидрофобной краски на основе этаноловой суспензии с наночастицами диоксида титана, покрытыми пленкой перфторсилана. Краску можно наносить практически на любую поверхность — тканевую, бумажную, стеклянную или стальную. Метод нанесения также может быть любым, включая распыление в виде спрея или выдавливание с помощью шприца. Через 30 мин после нанесения суспензии этанол полностью испаряется, а покрытие, состоящее из наночастиц  $\text{TiO}_2$ , остается на поверхности, что было доказано в результате анализа покрытых новой краской мягких и твердых субстратов методом рентгеновской дифракции (XRD). В одном из опытов вата, покрытая таким веществом, погружалась в краситель синего цвета, и извлекалась из него снежно-белой. Для улучшения адгезии и придания прочности покрытию краску разбавляют специальным клеем. Слой краски, нанесенный на изделие, создает поверхность, устойчивую к

повседневному истиранию и износу. Капли воды и других жидкостей, попадая на такую поверхность, не впитываются, а скатываются по ней, собирая «по дороге» частицы пыли и грязи. Таким образом происходит самоочищение. Чтобы свойства краски имели наиболее выраженный характер, готовая поверхность должна быть, с одной стороны, шероховатой, а с другой — восковой. Целью всех экспериментов и являлось получение такой поверхности. Поэтому в ходе исследований краску смешивали с разными клеями для получения состава с нужными качествами. При этом использовались широкодоступные вещества для того, чтобы разработанные технологии могли быть затем легко внедрены в промышленное производство. Водоотталкивающие свойства полученной краски не теряются и после воздействия на покрытую ей поверхность наждачной бумагой (40 циклов истирания) или царапания ножом. Поверхность можно протирать влажной тряпкой. Не остается на ней и отпечатков пальцев. По мнению авторов, разработанное покрытие может иметь широчайшее применение и использоваться при окраске автомобилей, одежды, тканей и огромного количества других материалов для придания им водо- и грязеотталкивающих качеств. Вещество может быть использовано в больничных помещениях в целях предотвращения накопления микробов и бактерий, а также для покрытия корпусов судов, уменьшая их трение с водой, что позволит увеличить скорость при меньшем расходе топлива. Исключения составляют только детали механизмов, нуждающиеся в смазке, так как в случае покрытия их новой супергидрофобной краской масло также не будет удерживаться на их поверхности.

*В. В. Стрекопытов*

## Устойчивый к засорению жидкостный затворный механизм с перестраиваемой мультифазной селективностью

Liquid-based gating mechanism with tunable multiphase selectivity and antifouling behavior. Xu Hou, Yuhang Hu, Alison Grinthal, Mughees Khan and Joanna Aizenberg. Nature. 2015. Vol. 519. No 7541. P. 70–73.

В живых организмах встречается множество нанометровых пор, выполняющих затворную функцию и служащих для контроля движения жидкостей, паров и твердых частиц между средами сложного химического состава. В частности, микропоры между воздушными мешками в легких заполняются жидкостями и обладают способностью обратимо реагировать на внешнее давление, открывая поры для их транспорта. Способность таких пор координировать мультифазный транспорт веществ с высокой избирательностью без образования засоров вызвала рост интереса к созданию искусственных пористых структур для обработки жидкостей, 3D-печати и лабораторных систем на чипах. Хотя подбором поверхностных химических свойств и геометрии удалось реализовать затворные функции для транспорта жидкостей, создание системы, позволяющей контролировать сложный селективный многофазный транспорт веществ без засорения, представляется отдаленной перспективой. В работе описывается затворный механизм, в котором в качестве реконфигурируемого обратимого затвора используется капиллярно-стабилизированная жидкость, заполняющая и герметизирующая поры в закрытом состоянии и позволяющая внешней жидкости свободно проходить сквозь поры, не образуя засоров. Основная идея базируется на том, что жидкость, стабилизированная в микропорах, обладает уникальной комбинацией динамических и межфазных характеристик. Прохождение газов и жидкостей через поры, закрытые жидкими менисками, отличается тем, что их пропускание требует преодоления определенного критического давления, величина которого зависит от формы менисков, то есть — от условий смачивания поверхности пор, которые в свою очередь, зависят от химического состава контактирующих межфазных агентов. Для пропускания газа критическое давление, при котором открывается пора, равно давлению Лапласа  $4g_{12}/d$ , где  $g_{12}$  — поверхностное натяжение жидкости, а  $d$  — диаметр поры. Для внешней жидкости критическое давление зависит от  $d$  и от межфазного натяжения на границе внешней жидкости и жидкости, закрывающей пору. В случае искусственных мембран критическое давление  $DP$  зависит также от скорости массопереноса  $Q$ , вязкости транспортируемой жидкости  $m$  и пористости мембраны  $k$  ( $DP \propto Qm/k$ ). В работе исследовались характеристики мембран разного размера из полипропилена, поливинилденфторида и политетрафторэтилена, позволяющие регулировать критическое давление в пределах 20–200 кПа для прохождения различных газов, жидкостей (в том числе с примесями твердых частиц) и воздушно-водно-масляных смесей. Авторы экспериментально показали, что можно в одной системе реализовать условия их прохождения без загрязнения пор, а также разделять смеси по компонентам. Ожидается, что разработанная стратегия проектирования компонентов и характеристик жидких затворов найдет широкое применение в микро- и нанофлюидике.

Г. В. Дедков

## Эффективный метод производства биотоплива бактериями в гибридной каталитической системе на основе расщепления воды с помощью солнечной энергии

Efficient solar-to-fuels production from a hybrid microbial–water-splitting catalyst system. Joseph P. Torella, Christopher J. Gagliardi, Janice S. Chen, D. Kwabena Bediako, Brendan Colón, Jeffery C. Way, Pamela A. Silver, Daniel G. Nocera. PNAS. 2015. Vol. 112. No 8. P. 2337–2342.

Профессор Даниэль Носера из Гарвардского университета в 2011 г. изобрел так называемый «бионический лист» — искусственную структуру, созданную на основе зеленых пластид (хлоропластов) настоящих растений. На свету такой лист расщепляет воду на кислород и водород, а процесс фотосинтеза в нем происходит примерно в 10 раз эффективнее по сравнению с природным листом. В данной работе описывается гибридная технология, объединяющая в одном процессе преобразование солнечной энергии фотоэлементами с производством биотоплива бактериями. Группа ученых во главе с Даниэлем Носера сконструировала реакционный сосуд, в котором происходит расщепление воды методом «искусственного листа», а выделенный при этом водород используется *Ralstonia eutropha* для восстановления двуокиси углерода, постоянно подаваемой в систему. В основе метода лежит использование дешевых металлических катализаторов, обеспечивающих протекание процесса расщепления воды при низком перенапряжении. Результатом процесса являются остаточная биомасса и изопропиловый спирт. Бактерии *R. eutropha* как объект биотехнологии обладают уникальными биохимическими свойствами: они могут расти как гетеротрофы, то есть питаться готовой органикой, но могут быть и хемоавтотрофами, то есть синтезировать органику из углекислоты, используя для этого энергию окислительно-восстановительных реакций. В начале своих экспериментов авторы работали с диким типом *R. eutropha* — природной бактерией, которая за один день превращает в биомассу 18% предоставляемых ей энергетических ресурсов. Затем был взят генетически модифицированный штамм *R. eutropha* H16, который использовался как продуцент изопропанола, потенциального заменителя бензина. Эффективность этого штамма в превращении света в изопропанол — 3,2%, что даже выше показателей для биотоплива, получаемого из сельскохозяйственных культур. В планах исследовательской группы — повысить энергоэффективность системы до 5%. Продуктивность экспериментальной системы составила 216 мг/литр воды, что примерно на 300% превышает лучший из известных на сегодняшний день показателей продуктивности биоэлектрохимических методов получения биотоплива. Ученые считают, что гибридную бактериально-фотоэлектрическую систему можно сделать более эффективной, если оптимизировать реакцию расщепления воды и продолжить модификацию бактерии в сторону повышения продуктивности углеводорода. Результаты исследования расцениваются как доказательство того, что солнечную энергию можно преобразовать в вещество и собирать для дальнейшего хранения в виде жидкого топлива. Изопропиловый спирт в настоящее время практически не применяется, но в случае достижения определенных показателей экономической эффективности, он, вместе с водородом, производимым при помощи солнечной энергии, вполне сможет заменить в будущем нефтепродукты и прочие ископаемые виды топлива. Авторы особенно подчеркивают тот факт, что топливо на основе изопропилового спирта является экологически чистым.

В. В. Стрекопытов

## Контроль функции механической чувствительности пучка волосковых клеток с помощью механической нагрузки

Control of a hair bundle's mechanosensory function by its mechanical load. Joshua D. Salvi, Dáibhid Ó Maoiléidigh, Brian A. Fabella, Mélanie Tobin, A. J. Hudspeth. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. E1000-E1009.

Волосковые клетки — сенсорные рецепторы внутреннего уха, обслуживают различные функции в различных органах. Они детектируют колебательные раздражители в слуховой системе и преобразовывают постоянные и ступенчатые стимулы в вестибулярном аппарате и боковой линии. Экспериментально показано, что функцией волосковых клеток можно управлять путем корректировки их механической нагрузки. Была построена диаграмма состояний для пучка волосковых клеток. В качестве переменных параметров были выбраны сила и жесткость нагрузки (то есть сила в пересчете на единичное смещение). Полученные результаты сравнивались с теоретической моделью, в том числе с учетом теплового шума. Увеличение жесткости и силы воздействия переводит систему из колебательной области диаграммы состояний в неподвижную. На границе двух режимов наблюдается бифуркация. Так, на границе, соответствующей высоким значениям жесткости наблюдается бифуркация Хопфа, что согласуется с теоретическими предсказаниями. Характеристические частоты, измеренные в районе сверхкритической бифуркации соответствуют частотам центостремительных аксонов *in vivo*. Это позволяет предполагать, что в

нормальном режиме рабочая точка пучка волосковых клеток находится на диаграмме состояния вблизи дуги, соответствующей бифуркации при высокой жесткости. Упругая нагрузка, дававшаяся в эксперименте, соответствует, в соответствии с этой гипотезой, нагрузке отолитической мембраны *in vivo*. Полученные экспериментальные результаты в целом совпадают с предсказанными теоретически. Показано, что в отличие от типичного изготовленного чувствительного устройства, пучок волосковых клеток может работать в разных режимах в зависимости от характера нагрузки, а именно — в режиме спонтанного осциллятора, а также в режиме избирательного высокочастотного резонатора. Помимо этого, при ослаблении высокочастотного стимулирования, пучки могут работать в режиме фильтра нижних частот, гасящего сигналы выше определенной частоты отсечки. Наконец, пучок может работать в режиме детектора скачков, реагируя на разрывность сигнала. Работа одних и тех же пучков волосковых клеток в качестве каждого из четырех типов детектора сигналов, демонстрирует, как изменение всего лишь двух ключевых параметров может коренным образом изменить роль сенсорной ячейки. Показано, что, в зависимости от выбранной рабочей точки на диаграмме состояния, движения одного и того же пучка волосковых клеток могут напоминать характерные для вестибулярной системы амфибий, или слуховой системы рептилий рывки и колебания, или демонстрировать характерное для слуховой системы млекопитающих перерегулирование входящего сигнала. Продемонстрированный принцип может быть использован как для биологических, так и для искусственно созданных систем.

А. В. Якименко



## Частицы с отрицательной Гауссовой кривизной, полученные с помощью капиллярного мостика

Capillary-bridge-derived particles with negative Gaussian curvature.  
Liming Wang and Thomas J. McCarthy. PNAS. 2015. Vol. 112. No 8.  
P. 2367-2371.

Описано изготовление катеноидных частиц миллиметровых размеров с помощью термальной полимеризации капиллярных мостиков жидкого мономера. Полученные частицы демонстрируют отрицательную Гауссову кривизну. Форма капиллярных мостиков и получающихся частиц может быть тонко настроена с помощью нескольких управляемых параметров, а именно: а) формы, размера и ориентации литографически полученных заострений на раздвигаемых поверхностях, б) расстояния между противоположными опорными поверхностями и в) сдвига противоположащих элементов. Гидрофильные рисунки на раздвигаемых поверхностях получались методом фотолитографии на кремниевых пластинах толщиной 500 мкм. Маски печатались на полиэстере с помощью офисного принтера. В качестве жидкого мономера использовалась эпоксидная смола, смешанная в стехиометрическом соотношении с аминовым катализатором. Капли наносились шприцем на поверхность раздвигаемых пластин. Пластины помещали в оборудованный перемещающейся в трех измерениях платформой и блоком нагрева тензиометр. После формирования массива жидких капиллярных мостиков проводилась процедура термической полимеризации смолы. Катеноидные частицы демонстрируют контролируемые оптические свойства, как результат вогнуто-

сти получающихся линз, формой которых легко можно управлять. Для контроля этих свойств массив частиц облучался пучком лазера (длина волны  $\lambda = 650$  нм). Поведение света, облучающего такой массив позволяет говорить о катеноидной частице как отклоняющей линзе. В эксперименте, с уменьшением толщины шейки частицы от 1,2 до 0,9 мм угол отклонения рос от 31 до 52°. При толщине шейки 0,8 мм луч отклонялся перпендикулярно плоскости массива. Частицы самособираются в присутствии воды, формируя обратимые пары типа «перемычка к перемычке» и менее обратимые агрегаты типа «основание к основанию». Самосборка частиц проводилась в плавающей в ультразвуковой ванне чашке Петри под воздействием ультразвука в течение 15 минут. Показано, что при более продолжительном воздействии ультразвука частицы имеют тенденцию к сборке «основание к основанию». Обоснована возможность масштабирования предложенного подхода от миллиметров до микрометров, изготавливая массив частиц соответствующего размера. В частности, отмечено, что наблюдавшаяся упаковка катеноидных зерен не зависит от размера. Описан необычный характер жидкости, формирующейся на катеноидных частицах границы, а также отмечено влияние формы таких частиц на реологические свойства взвесей, структуру и стабильность эмульсии Пикеринга. Продемонстрировано, с обсуждением динамического смачивания, что эти частицы могут демонстрировать интересные анизотропные адгезивные свойства. Предположена возможность прикладного применения частиц с отрицательной Гауссовой кривизной в приложениях, требующих контроля света, самосборки, или управления смачиваемостью.

А. В. Якименко

## Чувство голода способствует приобретению непищевых продуктов

Hunger promotes acquisition of nonfood objects. Alison Jing Xu, Norbert Schwarz, Robert S. Wyer Jr. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2688–2692.

Голод считается одним из базовых и примитивных стимулов человеческого поведения. Несмотря на то, что многие исследования подробно изучали влияние голода на питание и потребление пищи, мало что известно о влиянии голода на поведение в других сферах. Авторы предположили, что голод повышает доступность концептов, связанных с приобретением, и усиливает стремление покупать не только пищевые, но и непищевые продукты. Для проверки данной гипотезы было проведено 5 экспериментов. В первом эксперименте испытуемые (Ии) идентифицировали слова, связанные с концептами приобретения и голода, а так же контрольные слова, затем сообщили об уровне испытываемого ими голода. Во втором эксперименте Ии сообщали о своем настроении, испытывая голод и после принятия пищи, а также сообщали о своем желании приобрести каждый из 10 предложенных продуктов или услуг. По результатам экспериментов авторы сделали вывод о том, что голод сделал концепты, связанные с приобретением, более доступными (в дополнение к концептам, связанным с голодом), а также усилил желание приобрести непищевые объекты, не повлияв при этом на степень их привлекательности. Третий эксперимент, целью которого было проверить, трансформируются ли намерения в действительное поведение приобретения, предлагал Ии посмотреть на зажимы для бумаг и сказать, сколько они хотят получить для пробного использования бесплатно, затем им предлагалось оценить степень испытываемого ими голода и степень привлекательности зажимов. Оказалось, что голод не повлиял на оценку зажимов, но повлиял на количество желаемых зажимов. Четвертый эксперимент повторял предыдущие, однако голод в нем не оценивался, а подвергался экспериментальному манипулированию. Ии, предварительно не евшие в течение 4-х часов, были поделены на две группы. Первой группе (насыщения) предлагалось сразу оценить вкус пирога, затем после 25 минут выполнения заданий, Ии оценивали зажимы, как в эксперименте 3. Вторая группа (голода) выполняла те же самые задания, но оценка вкуса пирога проводилась после 25-минутного выполнения заданий и оценки зажимов. Выяснилось, что голод не повлиял на оценку зажимов, но голодные Ии взяли больше зажимов, чем сытые. Цель пятого эксперимента состояла в том, чтобы выяснить, будет ли эффект приобретения, вызванный голодом, также выражен, если за объекты приобретения придется платить. Эксперимент проводился в магазине непродовольственных товаров. Случайные покупатели стали Ии, позволив отсканировать свои чеки и заполнив анкету с вопросами о настроении, испытываемом чувстве голода, времени, проведенном в магазине. Анализ чеков и анкет показал, что голодные покупатели купили больше непищевых продуктов, чем сытые покупатели, таким образом, голод увеличил количество потраченных денег. Данными экспериментами авторы подтвердили гипотезу о влиянии голода на приобретение непищевых продуктов. Дальнейшие исследования могут выяснить, как незапланированные покупки непищевых товаров зависят от влияния постоянной диеты, ожирения и других переменных, способных повлиять на частоту мыслей о еде.

*Н. Ю. Колесникова*

## Переопределение роли зоны Брока в процессе речи

Redefining the role of Broca's area in speech. Adeen Flinker, Anna Korzeniewska, Avgusta Y. Shestiyuk, Piotr J. Franaszczuk, Nina F. Dronker, Robert T. Knight, Nathan E. Crone. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2871–2875.

Процесс устной речи является фундаментальным для человеческого общения. Поль Брока первым связал произношение слов с областью левой нижней фронтальной извилины мозга, которая с тех пор известна как зона Брока. Эта зона интенсивно изучалась с разной сложностью, от произнесения отдельных слов до сложных рассуждений. Хотя широко принята точка зрения о том, что зона Брока в левой нижней фронтальной извилине играет важную роль в процессе речи, до недавних пор было невозможно узнать подробности ни о периодах ее активности, ни о ее взаимодействии с другими областями мозга, вовлеченными в артикуляцию. Используя прямую запись с поверхности коры мозга у пациентов нейрохирургии, авторами была изучена активность множества нейронов коры, а также взаимодействие по Грэнджеру между ними. Обнаружено, что во время произношения слов движением губ активность нейронов возбуждается сенсорным представлением слов в височной области коры с последующим артикуляционным возбуждением моторной области. Зона Брока осуществляет обратную связь между височными и фронтальными моторными областями. Вопреки классическому пониманию роли зоны Брока, пока моторная область активна в течение речи, зона Брока молчит. Более того, когда в ответ на невербальные стимулы нужно произвести новую артикуляцию, то возрастает активность зоны Брока, а не моторной зоны. Эти уникальные данные представляют собой доказательство того, что зона Брока координирует передачу информации между крупными сетями коры головного мозга, вовлеченными в процесс произношения слов. В этой роли зона Брока создает удобный артикуляторный код, выполняемый моторной зоной. Авторы использовали записи высокочастотных электроэнцефалографических (ЭЭГ) сигналов, полученных непосредственно с электродов на поверхности коры головного мозга, что обеспечивает большую амплитуду сигнала, повышает точность временного и пространственного определения зоны активности. Исследовались семь пациентов с электродами, вживленными в перисильвиарные области, включая и зону Брока. Пациенты выполняли задания по произношению слов, включая повторение услышанных односложных и многосложных слов, а также чтение слов. Полученные данные показывают, что во время выполнения задачи повторения слова мозговая интерпретация выговариваемого слова передается из сенсорных зон в префронтальную кору, где зона Брока превращает ее в код артикуляции, который затем последовательно обрабатывается моторными зонами, ответственными за координацию артикуляции. В случае афазии зона Брока не вовлечена в процесс артикуляции. Однако повреждения коры, ограниченные зоной Брока, вызывают не афазию, а временную задержку речи. С другой стороны с координацией самих артикуляторов ассоциируется центральная область коры. На основе результатов авторы предполагают, что зона Брока сама по себе является не областью артикуляции, а ключевым узлом управления и передачи информации между крупными сетями коры головного мозга, ответственными за основные составляющие процесса речи.

*И. Ю. Лещанский*

## Внимание к чужому успеху ведет к эгоистичному поведению

Focus on the success of others leads to selfish behavior. Pieter van den Berg, Lucas Molleman, Franz J. Weissing. PNAS. 2015. Vol. 112. No 9. P. 2912–2917.

Существует мнение о том, что впечатляющие когнитивные способности человека основываются на его способности собирать, обрабатывать и использовать информацию о других людях. Последние исследования показали, что люди существенным образом отличаются по типу интересующей их социальной информации. В то время как одни в основном обращают внимание на то, что делает большинство (научение у большинства), другие фокусируются на успехе, которого добились их товарищи, и на поведении, приведшему к успеху (научение у успешных). Авторы исследуют последствия индивидуальных отличий в стратегиях приобретения социальных знаний и использовании их для дальнейшей кооперации. Проведенный авторами эксперимент состоял из двух частей, разделенных временным промежутком в 1 месяц. В первой части эксперимента субъекты были поделены на группы с различными параметрами взаимодействия. В каждой интерактивной сессии испытуемым разрешалось просмотреть ограниченное количество информации о предыдущем поведении и заработке их партнеров по группе. Во второй части эксперимента авторы распределили тех же участников по группам, основываясь на стратегиях социального научения, которые они использовали в первой части эксперимента. Так были созданы группы научения у большинства и научения у успешных. Этим группам было дано задание по кооперации, в котором каждый участник должен был вы-

брать между опцией, выгодной для себя и опцией, выгодной для группы. Результаты взаимодействия в этих группах были проанализированы, чтобы понять, могут ли различия в кооперации быть объяснены различиями в стиле социального научения. Выяснилось, что во-первых, индивиды системно отличаются в стратегиях социального научения. Во-вторых, различия в стратегиях научения стабильны в течение длительного периода времени, как и аспекты личности. В-третьих, индивидуальные различия стратегий социального научения могут оказывать большое влияние на исход социальных взаимодействий. Вывод о том, что уровень кооперации, достигнутый в группах, основанных на научении у успешных, значительно ниже уровня кооперации в группах, основанных на научении у большинства, является главным результатом данного исследования. Участники, придерживающиеся стратегии научения у большинства, не так сфокусированы на информации о выгоде и поэтому менее склонны использовать более выгодные индивидуальные опции. Кроме того, высокий уровень кооперации можно поддерживать позитивной обратной связью в группах с научением у большинства — чем больше наблюдается кооперирующих членов группы, тем больше у самих членов группы желания кооперировать. Тот факт, что индивиды разнятся в стратегиях научения, имеет большое значение для организации и интерпретаций эмпирических исследований. Интересным представляется развитие моделей культурного группового отбора, включая индивидуальные отличия стратегий социального научения и более точные версии научения у большинства. Такие модели могут объяснить и эволюционную стабильность кооперации и распространенность этой модели, несмотря на то, что изначально кооперация редко присутствует в социальных группах.

*Н. Ю. Колесникова*



## Об эндогенности политических предпочтений: проявление индивидуального опыта демократии

On the endogeneity of political preferences: Evidence from individual experience with democracy. Nicola Fuchs-Schündeln, Matthias Schündeln. Science. 2015. Vol. 347. No 6226. P. 1145–1148.

Стабильность демократических режимов зависит от того, поддерживает ли их масса населения. Однако глубинные механизмы возникновения этой поддержки не до конца известны. Задачей исследования было выяснить, возрастает ли поддержка демократии с годами, проведенными в рамках этого режима, и зависят ли предпочтения населения от государственного строя, т. е. существует ли зависимость между сроком существования демократии в стране и степенью поддержки ее населением. С этой целью авторы провели исследование, основанное на 380 тыс. индивидуальных наблюдений в 104 странах в период с 1994 по 2013 гг. В ходе изысканий проводился анализ мировых ценностей в развитых и развивающихся странах, а также изучилась политическая ситуация на африканском континенте, где многие государства еще только находятся на пути к демократии. Изначально было выдвинуто предположение, что чем дольше народ живет при демократическом режиме, тем сильнее либеральные настроения среди его представителей. В ходе исследования было доказано, что с годами тяга к демократии действительно увеличивается. В случае же молодых демократий необходимо время, чтобы население начало их поддерживать. Например, только через несколько лет после объединения ФРГ и ГДР восточные немцы перестали рассматри-

вать государство как единственную политическую и экономическую силу. Исследователи сравнили изменение демократических предпочтений народов с переходом от начального к среднему образованию и поняли, что необходимо около 8,5 лет для того, чтобы в обществе воцарились стабильные либеральные настроения. Кроме того, ученые показали, что большой демократический опыт снижает вероятность выхода из демократии и увеличивает вероятность выхода из монархии. Однако на основе этих соотношений нельзя проследить влияние демократического опыта на поддержку демократии, означавшее бы эндогенность предпочтений. Частично это объясняется обратной причинно-следственной связью. Иногда государства имеют демократическую историю именно потому, что электорат всегда поддерживал демократические ценности. Или же поддержка демократии отдельными гражданами может быть обусловлена историческими событиями или экономическими условиями. Например, если демократические институты или параметры жизни со временем, проведенным в условиях демократии, улучшаются, это может увеличить поддержку демократии напрямую, а не посредством внутренних предпочтений. Для государственной политики это означает, что реализация крупных политических реформ может быть трудной задачей, несмотря на то, что люди будут все активнее поддерживать демократический режим. Полученные результаты свидетельствуют в пользу того, что политические предпочтения формируются прежде всего самой политической системой и проявляются посредством положительного влияния личного демократического опыта граждан, т. е. подтверждают гипотезу об эндогенности возникновения демократических взглядов среди населения.

*В. В. Стрекопытов*

Еженедельный журнал Российской ассоциации содействия науке

# НАУКА В мире