

Еженедельный журнал Российской ассоциации содействия науке

НАУКА **В мире**

Обзор журналов
Nature, PNAS, Science

Номер 36 (2)
7 июля 2015 года

Супервулкан в Йеллоустоне
становится предсказуемым

стр. 9

Ученые ДВФУ заглянут в недра
нейтронных звезд

стр. 8

Позитивные воспоминания
излечивают от депрессии

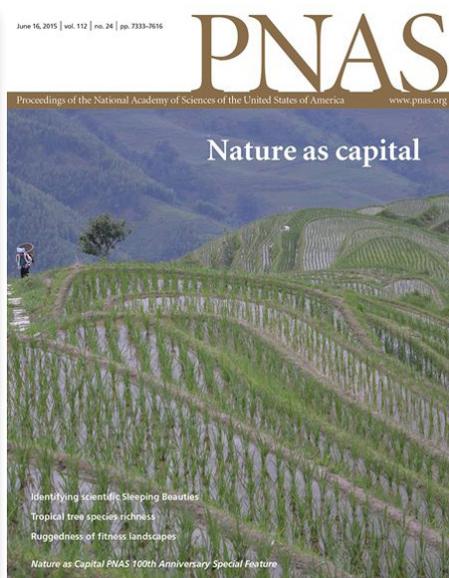
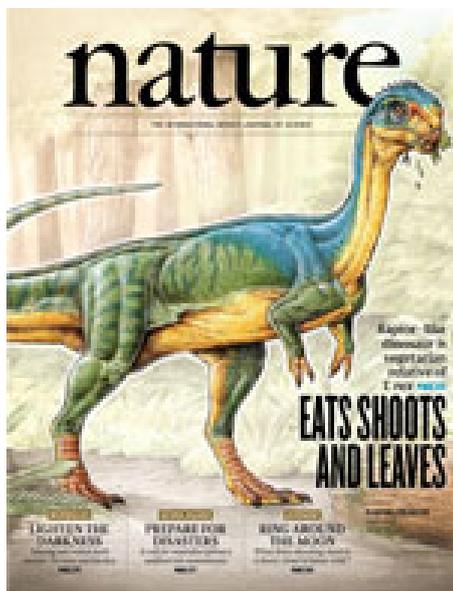
стр. 46

Ученые нашли
13 тысяч новых видов
тропических деревьев

стр. 24

Стаи бабуинов
принимают решения
демократическим путем

стр. 37



Стратегические партнеры



ОАО «РЖД»



www.microgen.ru

ЖУРНАЛ «НАУКА В МИРЕ» № 36 (2)

07 июля 2015 года

Издается еженедельно

УЧРЕДИТЕЛЬ

Общероссийская общественная организация
«Российская ассоциация содействия науке»

Свидетельство о регистрации СМИ:

Эл № ФС77-59570 от 10 октября 2014 года



РАСЧН

Российская ассоциация
содействия науке

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ПРЕЗИДИУМА РАСЧН

Евгений Павлович ВЕЛИХОВ,

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

ПЛЕНУМ РАСЧН

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 РАСЧН, почетный
председатель Правления
Санкт-Петербургского союза ученых

Надежда Дмитриевна ВАВИЛИНА,

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

Валерий Александрович ЧЕРЕШНЕВ,

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

Татьяна Владимировна ЧЕРНИГОВСКАЯ

член Президиума РАСЧН, 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 РАСЧН

Административный директор

Светлана Александровна ХОЗИНСКАЯ

РЕДАКЦИЯ

Старший научный редактор

Владислав Владимирович СТРЕКОПЫТОВ

Редактор

Ирина Александровна БАННОВА

Редакторы-референты

Братцева А. Л., Дедков Г. В., Драгункин Д. Ю.,
Завалишина С. А., Зворыкина С. В., Лещанский И. Ю.,
Карпов Н. В., Мохосоев И. М., Низин Д. Р., Сварник О.
Е., Степанова Е.М., Стрекопытов В. В., Ходосевич А. Э.,
Якименко А. В.

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.

A woman with blonde hair and a young boy are looking out of a train window. The boy is leaning on the window frame, and the woman is standing behind him, smiling. The train is moving quickly, as indicated by the blurred background.

Россия живет скоростями

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

ОАО «РЖД» Россия живет дорогами

Читайте в этом номере:

Информационное поле

5 От редакции

Самое интересное в рефератах
Топ-10 статей текущего номера

8 Новости • В России

Ученые ДВФУ заглянут в недра нейтронных звезд
Спутники ГЛОНАСС получают сверхточные атомные часы

9 Технология получения внутривенного
иммуноглобулина человека нового поколения
разработана российскими биотехнологами

9 Новости • За рубежом

Активность супервулкана в Йеллоустоне предсказуема

10 Физики нашли новые аргументы в пользу
«Большого Разрыва» Вселенной
В США нашли древнейшую ящерицу Иисуса

11 In Advance

Среднетриасовый предок черепах и эволюция
общего строения тела черепахи

12 Главным компонентом железистых кварцитов является
биологически переработанное континентальное железо
Микроигльчатый пластырь с чувствительными
к гипоксии везикулами обеспечивает быструю
доставку инсулина в организм

13 Трансплантабельность циркадных часов
в нециркадный организм

Nature • PNAS • Science: рефераты статей

15 Астрономия

27 Биология

18 Физика

39 Медицина

19 Химия

42 Нейронауки и психология

20 Науки о Земле и экология

47 Социальные науки

26 Антропология и история

48 Технологии и материалы

Самое интересное в рефератах

Топ-10 статей текущего номера

1. Обнаружено пылевое облако, окружающее Луну. Астрономы обнаружили гигантское облако пыли, парящее на высоте несколько десятков километров над поверхностью «утренних» регионов Луны. Его существование частично объясняет загадочное «сияние на горизонте», которое астронавты миссий Apollo видели во время лунных закатов и восходов. По мнению авторов, это облако возникло и существует благодаря постоянной бомбардировке поверхности Луны кометной пылью, которая врежется в лунный грунт на большой скорости, выбрасывая в космос значительное количество твердых частиц. За время наблюдений специальный детектор на борту космического зонда LADEE действительно зарегистрировал более 140 тыс. столкновений межпланетных частиц с поверхностью Луны. *Реферат на с. 15.*



Зонд LADEE, наблюдающий за лунным пылевым облаком, в представлении художника / NASA



Система Kepler-138 в представлении художника / SETI Institute/ Danielle Futselaar

2. Планетологи научились измерять размеры малых экзопланет. Астрономы из Пенсильванского и Чикагского университетов, NASA и института SETI (США) с помощью орбитального телескопа Kepler впервые смогли измерить массу и плотность экзопланеты, имеющей размеры меньше, чем Земля. Речь идет о планете Kepler-138 b, которая является внутренней планетой системы красного карлика Kepler-138, расположенного на расстоянии 200 световых лет от Земли, в созвездии Лиры. Радиус орбиты экзопланеты Kepler-138 b очень маленький: она совершает полный оборот вокруг своей звезды всего за 10,3 земных дня. Измерения были сделаны на основе оценки времени прохождения экзопланеты по диску звезды, вокруг которой она вращается. В это время снижается видимая светимость звезды, что и регистрируется сенсорами телескопа. *С. 16.*

3. Мета-штрихкодирование ДНК позволило выявить отдельные пищевые ниши крупных африканских травоядных. Группа американских биологов из Принстонского университета и Смитсоновского института попыталась ответить на вопрос, как на одной и той же ограниченной территории могут сосуществовать разные виды травоядных животных — казалось бы, у них должна быть интенсивная конкуренция за пищу. Прямые наблюдения за процессом питания не могли дать нужной информации. Решить проблему помог метод мета-штрихкодирования ДНК — технология, позволяющая по фрагментам ДНК из помета животных, сопоставив их с базой данных ДНК растений, определить, что именно употребляло в пищу животное. Ученые пришли к выводу, что травоядные напрямую не конкурируют за ресурсы, поскольку даже диета разных видов зебр или антилоп отличается набором видов растений или их частей. *С. 23.*

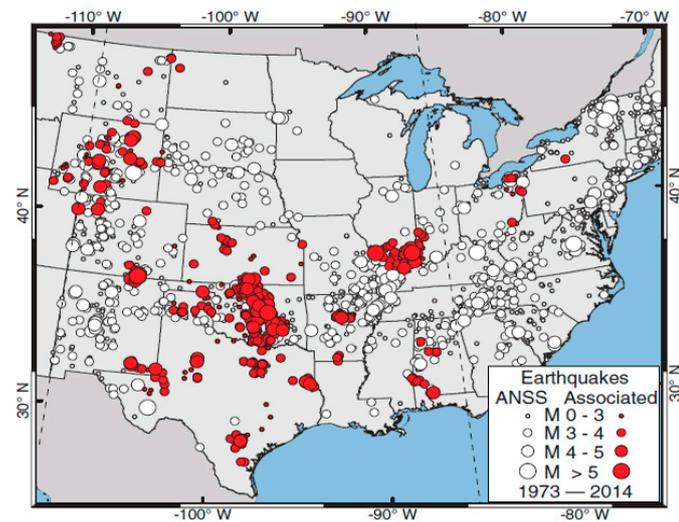


Зебры в кенийской саванне / В.В. Стрекопытов

4. Ученые нашли 13 тысяч новых видов тропических деревьев. Международная группа из 170 специалистов, представляющих 126 научных учреждений, под руководством ученых из Смитсоновского института провела масштабный анализ исследований, касающихся различных видов произрастающих в разных регионах земного шара тропических деревьев. Используя статистические методы биометрии Фишера, авторы оценили количество видов современных тропических деревьев на уровне 53 тыс., что на 13 тыс. видов больше, чем считалось ранее. Древесная флора континентальной Африки оказалась неожиданно бедной (4,5-6 тыс. видов), а биоразнообразию Индо-Тихоокеанского региона, вопреки всеобщему убеждению, нисколько не уступает Неотропике. В обоих регионах присутствуют минимум 19-25 тыс. видов деревьев. С. 24.



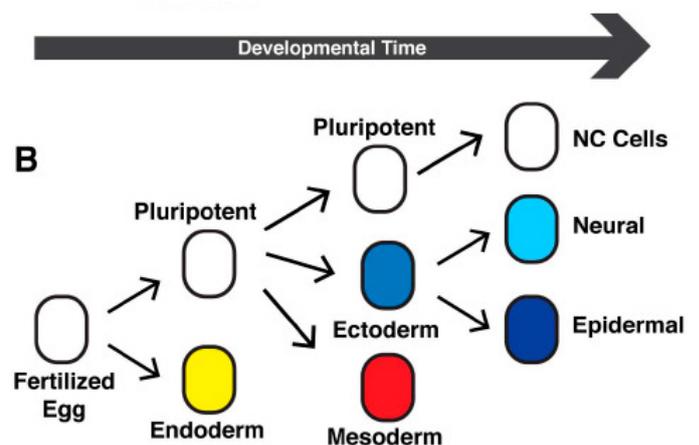
Тропический лес Южной Америки (Перу) / В.В. Стрекопытов



Карта связанных с нефте- и газодобычей землетрясений в США за период 1973–2014 гг. / M. Weingarten et al.

5. Землетрясения в США связаны с нефте- и газодобычей. Ученые из Университета Колорадо (США) исследовали почти 200 тыс. скважин для нефте- и газодобычи, пробуренных за последние 40 лет, и пришли к выводу, что рост числа землетрясений в центральных районах США связан с закачкой нефтяными и газовыми компаниями соленых вод под землю в процессе добычи полезных ископаемых. При использовании новых технологий добычи нефти и газа, таких как гидроразрыв пласта, остатки сточных вод закачиваются в грунт. Прежде всего влияют на возникновение землетрясений высокопроизводительные скважины, при эксплуатации которых под землю закачивается более 45 млн литров соленой воды ежемесячно. Из всех обследованных скважин примерно десятая часть оказалась связанной с возникновением землетрясений. Авторы делают выводы о том, что именно высокая нагрузка при большем объеме и скорости закачки является главным фактором риска. С. 24.

6. Клетки нервного гребня наследуют плюрипотентность напрямую от клеток раннего эмбриона. Нервный гребень — загадочная эмбриональная структура, имеющаяся только у позвоночных. Его часто называют «четвертым зародышевым листком», помещая в один ряд с классическими экто-, эндо- и мезодермой, хотя формально он является производным эктодермы. До сих пор оставалось не вполне ясным, как удается клеткам нервного гребня, располагаясь по эмбриону, давать начало различным тканям и типам клеток, которые у всех животных, кроме позвоночных, формируются из мезодермы. Американские ученые приблизились к решению этой эмбриологической загадки, показав, что плюрипотентность (способность превращаться в разные типы клеток) поддерживается в клетках нервного гребня благодаря работе тех же регуляторных генов, что и в эмбриональных стволовых клетках. С. 27.



Новая схема дифференцировки клеток в ходе развития зародыша шпорцевой лягушки / Elsy Buitrago-Delgado et al.

7. Стаи бабуинов принимают решения демократическим путем. Наблюдения за группами бабуинов (павианов) в Кении показали, что эти обезьяны принимают большинство решений о поиске пищи и маршрутах миграции коллективным образом, что говорит о наличии своеобразной «демократии» среди животных, даже при наличии строгой иерархии в стае. Для получения данных исследователи оснастили 25 обезьян устройствами с GPS-сигналом. Оказалось, что некоторые бабуины периодически берут на себя роль лидеров — они начинают задавать направление движения. Если остальным нравится маршрут, то они следуют за ним, и к ним постепенно присоединяется вся стая. Когда приматов по каким-то причинам не устраивает идея «лидера», то они просто стоят на месте, и тогда «лидер» возвращается назад, присоединяясь к большинству. С. 37.



Семья бабуинов / В.В. Стрекопытов



CORBIS

8. Амфетамин улучшает деятельность головного мозга у пожилых людей. Новое исследование группы ученых из Института Макса Планка в Берлине показало, что амфетамин может частично восстановить функции головного мозга у пожилых людей. Полученные данные подтверждают гипотезу о том, что различия в проявлениях функционирования мозга у разных возрастных групп свидетельствуют об изменениях в выработке дофамина, характерных для старения. У пожилых людей меньше дофамина, чем у молодых, что и приводит к ухудшению памяти. Результаты показали, что у пожилых людей, которые принимали дозы D-амфетамина, значительно улучшилась память. С. 44.

9. Позитивные воспоминания излечивают от депрессии. Группа нейрофизиологов из Массачусетского технологического института под руководством нобелевского лауреата Сусуму Тонегавы (Susumu Tonegawa) научилась посредством методов оптогенетики вызывать у мышей воспоминания, связанные с удовольствием и лечить с их помощью последствия хронического стресса и депрессию. Работа стала результатом серии исследований, целью которых было обнаружение физической основы памяти. Метод оптогенетики заключается в трансформации клеток генами светочувствительных рецепторов, которые встраиваются во внешнюю мембрану нейронов. Облучение тканей светом определенной длины волны активирует рецепторы, которые пропускают в клетку ионы внешней среды и инициируют деполяризацию. С. 46.

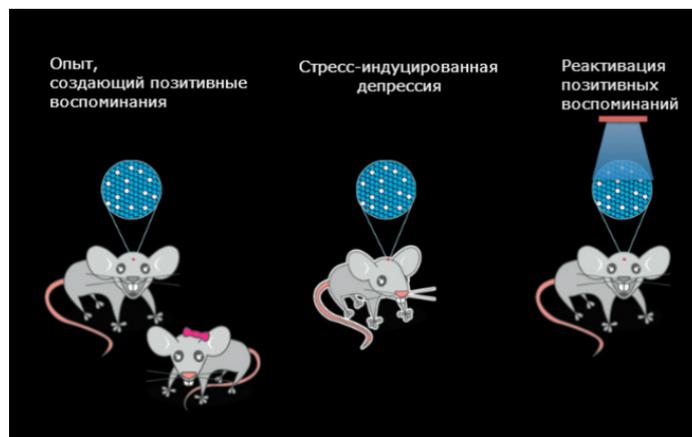


Схема эксперимента / Tonegawa Laboratory



New-wall.com

10. Новая технология производства авиационного биотоплива. Ученые из Калифорнийского университета в Беркли под руководством профессора Алексиса Белла (Alexis Bell) разработали новый способ синтеза авиационного биотоплива из сахаров, содержащихся в сахарном тростнике и жмыхе. Топливо, полученное по новой технологии, обладает целым рядом преимуществ. Во-первых, оно недорогое. Во-вторых, соответствует самым строгим требованиям, принятым в авиации. В-третьих, выращивать сырье для такого топлива можно на землях, непригодных для сельского хозяйства, а значит, производство пищи при этом не пострадает. С. 51.

Новости • В России

Ученые ДВФУ заглянут в недра нейтронных звезд

Ученые Дальневосточного федерального университета приступают к реализации проекта по изучению кварк-глюонной плазмы и свойств материи нейтронных звезд

Для проведения исследований будет использован метод суперкомпьютерного моделирования. Суперкомпьютер для проекта уже закуплен и вскоре будет запущен в работу. Возглавит фундаментальные исследования профессор Университета Осаки (Япония) Ацуси Накамура.

«Мы будем изучать материю в состоянии кварк-глюонной плазмы — это новое состояние материи, которое было открыто экспериментально всего 10 лет назад и исследуется сегодня на ускорительных установках в США и Швейцарии. Еще один объект нашего внимания — свойства материи нейтронных звезд. Это исследование — настоящий вызов науке», — рассказал о своем проекте Накамура. «Без некоторых теоретических, фундаментальных результатов, которые мы рассчитываем получить методом суперкомпьютерного моделирования квантовой хромодинамики, экспериментаторы просто не смогут объяснить, что они видят на ускорителях», — отметил ученый.



Космический взрыв N49 / NASA/Hubble Heritage Team (STScI / AURA), Y. Chu (UIUC)

Разработанные для проекта методики ученые намерены применить не только для фундаментальных исследований. Они планируют использовать их при изучении такого перспективного материала, как графен, или структуры и изменения белков в живых организмах. Проект «Исследование кварк-глюонной плазмы методами решеточной квантовой хромодинамики» будет осуществляться в течение трех лет на средства Российского научного фонда.

По материалам ДВФУ

Спутники ГЛОНАСС получат сверхточные атомные часы

Акционерное общество «Информационные спутниковые системы им. академика М.Ф. Решетнёва», разработчик космических аппаратов системы ГЛОНАСС, до 2020 года планирует начать использование водородных атомных часов в спутниках нового поколения «Глонасс-К»

Как отметили в компании-разработчике, точную дату старта первого спутника с водородным стандартом частоты сейчас назвать нельзя — график стартов спутников нового поколения ещё не утверждён. Однако предварительно речь идет о 2018–2019 годах. В составе спутников будут использованы водородные стандарты частоты, созданные нижегородской компанией «Время-Ч».

«У нас есть протокол о намерениях с ИСС имени Решетнёва, где записано, что на аппаратах с номерами 13 и 14 будет стоять водородный стандарт частоты. Сейчас идут стыковочные испытания между нашим стандартом частоты и остальной аппаратурой космического аппарата. Сам аппарат весит 25 кг. Импортных комплектующих в нём не более 2%», — по-



Точность навигационной системы планируется повысить в четыре раза / Пресс-служба Роскосмоса

яснил технический директор компании «Время-Ч» Борис Сахаров. Он также отметил, что разработанный для ГЛОНАСС аппарат по характеристикам превосходит атомные часы, установленные на спутниках Galileo.

По материалам СМИ

Технология получения внутривенного иммуноглобулина человека нового поколения разработана российскими биотехнологами

В НПО «Микроген» разработана российская технология получения внутривенного иммуноглобулина человека (IgG) с применением хроматографических и вирусинактивирующих методов

Как сообщили в пермском НПО «Биомед», внедрение новой хроматографической технологии в производственную практику обеспечит увеличение выхода препарата IgG в 1,5 раза, повысит степень очистки до 99% и более, а также в два раза сократит технологический цикл производства препаратов.

Особо отмечается, что в новой технологии используются сорбенты и оборудование отечественного производства. Разработанная технология универсальна и позволяет получать препараты как для внутривенного, так и для внутримышечного введения.

Сегодня, российский рынок препаратов IgG для внутривенного введения составляет более 1 млрд. рублей и обеспечен главным образом препаратами зарубежного производства, доля которых превышает 75%. Большинство выпускаемых отечественными производителями препаратов относятся к

иммуноглобулинам второго поколения и не выдерживают конкуренции с зарубежными аналогами третьего и четвертого поколений.

Проведенные в НПО «Вирион» сравнительные исследования нового иммуноглобулина с лучшими зарубежными аналогами подтвердили, что по показателям качества и безопасности разработанный препарат соответствует требованиям Европейской Фармакопеи.

«Внедрение новой технологии позволит производить отечественный препарат, не уступающий зарубежным аналогам. Мы планируем уже к 2020 году полностью обеспечить потребности отечественного рынка в препарате IgG» – прокомментировал советник генерального директора НПО «Микроген» О.О. Аверкин

По материалам пресс-службы НПО «Микроген»

Новости • За рубежом

Активность супервулкана в Йеллоустоне предсказуема

Американские геологи считают, что они смогут предсказать заблаговременно — не менее чем за 10 месяцев — следующее извержение и взрыв Йеллоустонского супервулкана, потенциально способного вызвать очередное массовое вымирание на Земле

Геологи из университета Аризоны заявили, что в ближайшем будущем они смогут достаточно точно и заблаговременно предсказать, когда произойдет очередное извержение и взрыв Йеллоустонского супервулкана, потенциально способного вызвать очередное массовое вымирание на Земле, говорится в статье, опубликованной в журнале *Geology*. «Полученные нами результаты показывают, что извержение супервулкана началось в последний раз через 10 месяцев после того, как новые потоки лавы проникли в его магматическую камеру и расплавили содержащиеся в ней породы, закончив тем самым 220 тысячелетнюю спячку Йеллоустона. Если камера прогреется сегодня аналогичным образом, то, скорее всего, произойдет новое извержение в схожие сроки», — заявила Кристи Тилл (Christy Till) из университета Аризоны в Тусоне (США). Тилл и ее коллеги нашли несколько геологических индикаторов того, что взрыв супервулкана в Йеллоустонском национальном парке можно предсказать даже за 10 лет до его пробуждения и начала нового мощнейшего извержения, изучая породы, извлеченные с разных глубин из его жерла. Используя особые ионные масс-спектрометры, геологи смогли определить ту скорость, с которой породы



«Windows into the Earth» / Robert B. Smith and Lee J. Siegel

магматической камеры — «хранилища» лавы — плавилась при появлении новой порции жидкой магмы, поднимавшейся к Йеллоустонскому супервулкану из недр Земли.

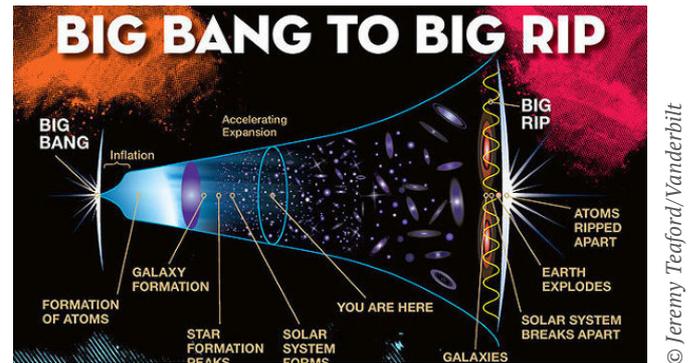
Йеллоустонский супервулкан находится на территории одноименного национального парка в штате Вайоминг. Это геологическое образование — кальдера, «воронка» от взорвавшегося в древности вулкана — имеет размеры 55 километров на 72. В середине 20 века ученые установили, что на глубине около 8 километров под кальдерой находится камера, заполненная магмой, и она является древним вулканом. В результате последнего извержения вулкана 600 тысяч лет назад в атмосферу было выброшено около 1 тысячи кубических километров пепла и обломков, при том, что самые катастрофические исторические извержения выбросили всего лишь 50 кубических километров (Тамбора, 1815 год) и 10 кубических километров (Кракатау, 1883 год).

Источник: журнал *Geology*

Физики нашли новые аргументы в пользу «Большого Разрыва» Вселенной

Американские ученые заявили, что им удалось найти новые аргументы в пользу того, что жизнь Вселенной закончится примерно через 22 миллиарда лет в ходе так называемого «Большого Разрыва» – уничтожения всей материи силами таинственной темной энергии

Новые методики расчетов так называемой «вязкости» Вселенной показывают, что мироздание, скорее всего, действительно закончит свое существование в ходе так называемого «Большого Разрыва» – уничтожения всей материи силами таинственной темной энергии, заявляют космологи в статье, опубликованной в журнале *Physical Review D*. «Возможно, но маловероятно, что феномен космологической вязкости отвечает за все те процессы, которые мы связываем с тем, что Вселенная расширяется с ускорением. Но более вероятно то, что она просто помогает темной энергии ускорять рост Вселенной. Если это так, то мы сможем использовать данные по вязкости для уточнения и изучения ее природы», — заявляет Марсело Дисконци (Marcelo Disconzi) из университета Вандербильт в Нэшвилле (США). Как объясняет Дисконци, речь идет не об обычной вязкости, характерной для зубной пасты и прочих обыденных жидкостей, а об ее особом космологическом «кузене», который описывает то, насколько тот или иной газ или жидкость сопротивляются сжатию или растягиванию. Это свойство материи почти не интересно нам в повседневной жизни, так как вода и прочие жидкости считаются физиками несжимаемыми для простоты расчетов. С другой стороны, эта форма вязкости представляет собой большую головную боль для космологов, так как она очень сильно мешает разработке моделей Вселенной и изучению процессов ее роста и эволюции. Дело в том, что если мы разгоним сжатую жидкость до околосветовых скоростей, то при определенных условиях часть ее может двигаться быстрее скорости света, что невозможно с точки зрения современной физики. По этой причине большинство космологов просто игнорируют данный феномен, считая его



несущественным. Подобное решение, как показали формулы вязкости и основанные на них расчеты Дисконци и его коллег, заметно исказили предсказания о том, что будет происходить с Вселенной по мере ее дальнейшего роста в результате существования загадочной темной энергии. Сегодня среди физиков популярны два предсказания — «Большой Разрыв» и его менее катастрофический собрат, «Большой Холодильник», вероятность исполнения которых зависит от того, как темная энергия реагирует на растягивание. В первом случае речь идет о полном уничтожении всей материи Вселенной, даже атомов и элементарных частиц, а во втором — о прекращении звездообразования и распаде галактик в результате снижения плотности межгалактической среды. До сих пор ученые считали, что Вселенная, скорее всего, превратится в «холодильник». Новые формулы авторов статьи показывают, что полный распад мироздания в ходе «Большого Разрыва» более вероятен, чем было принято ожидать, из-за того, что феномен космологической вязкости будет не тормозить, а помогать темной энергии расширять пределы Вселенной.

В результате этого через примерно 22 миллиарда лет даже атомы начнут распадаться на кварки и глюоны, а галактики, планеты и прочие небесные тела исчезнут еще раньше. Данный вывод, как подчеркивают Дисконци и его коллеги, был получен ими при помощи абстрактных математических расчетов, и их следует проверить при помощи моделей Вселенной на суперкомпьютерах. Как надеются физики, их формулы помогут уточнить свойства темной энергии и раскрыть ее сущность.

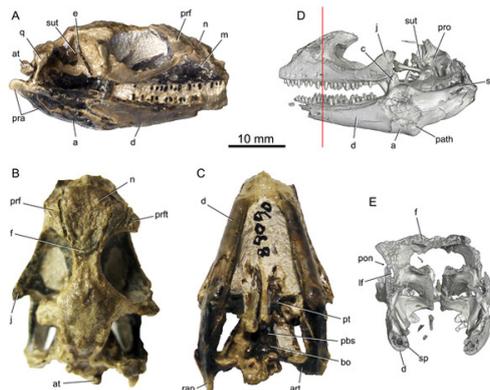
Источник: *A New Approach to Cosmological Bulk Viscosity*. Marcelo M. Disconzi, Thomas W. Kephart, Robert J. Scherrer. *Physical Review D* 91, 043532 (2015)

В США нашли древнейшую ящерицу Иисуса

В американском штате Вайоминг ученые обнаружили окаменелые останки ящерицы возрастом 48 миллионов лет

Как информирует издание, исследователи откопали останки ящерицы, потомки которой живут на Земле до сих пор. Они обитают на обширной территории от Мексики до Колумбии и считаются самыми быстрыми ящерицами в мире.

В честь Иисуса Христа их назвали потому, что они умеют бегать по воде. Впрочем, эти ящерицы все еще недостаточно изучены. Анализ показал, что возраст найденных окаменелостей со-



Голотип (UWBM 89090) таксона *Babibasiliscus alxi*/ PLOS ONE

ставляет около 48 миллионов лет. Исследователи надеются, что открытие поможет разгадать немало загадок.

«Изучение находки и сравнение ее с современными ящерицами Иисуса поможет понять, как менялся климат на нашей планете, и как он влиял на развитие видов, — считает Джек Конрад (Jack Conrad) из Американского музея естественной истории. — Возможно, мы также получим представление о том, что ожидать от нашей планеты в будущем».

Полный отчет о первых результатах исследования опубликован в журнале *PLoS One*. Там сообщается, что найденная ящерица получила название *Babibasiliscus alxi*.

Источник: *A New Eocene Casquehead Lizard (Reptilia, Corytophanidae) from North America*. Jack L. Conrad Research Article. Published 01 Jul 2015. *PLOS ONE* 10.1371/journal.pone.0127900

In Advance

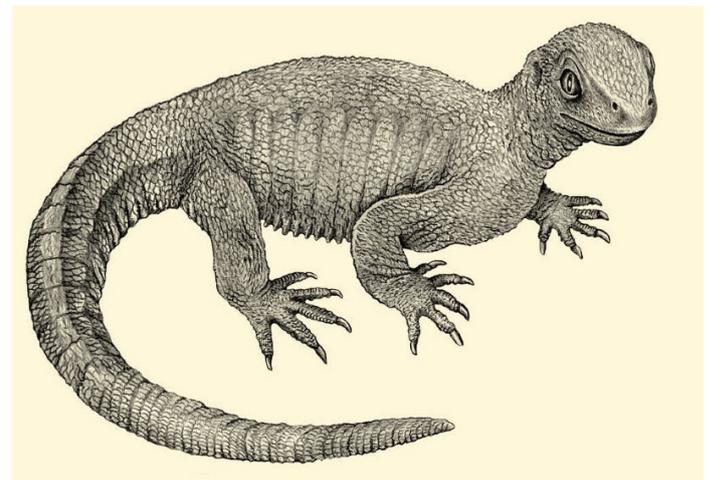
Nature Advance • Палеонтология

Среднетриасовый предок черепах и эволюция общего строения тела черепахи

A Middle Triassic stem-turtle and the evolution of the turtle body plan. Rainer R. Schoch, Hans-Dieter Sues Nature (2015) doi: 10.1038/nature14472. Published online 24 June 2015.

Обнаруженная на юге Германии рептилия триасового периода оказалась предком всех ныне существующих черепах. Ученые дали ископаемому животному название *Pappochelys rosinae*. Родовое имя *Pappochelys* можно перевести как «дедушка черепах». 19 окаменевших скелетов этих животных были найдены в донных отложениях древнего озера. Большая часть их фрагментарны, но, благодаря двум относительно полным находкам, авторы сумели реконструировать полный скелет и почти все кости черепа. Возраст предка черепах составляет 240 млн лет. Рептилия внешне напоминает ящерицу длиной 20 см с длинным хвостом, на который приходится половина длины животного. *Pappochelys* еще не имел характерного для черепах панциря, но его толстые брюшные ребра (гастралии), образующие броню на животе, уже начинают сливаться друг с другом во многих местах. Настоящие ребра также демонстрируют черты, указывающие на родство с черепахами. Они широкие, плотные, имеют Т-образное поперечное сечение. В дальнейшем, у потомков *P. rosinae*, они сольются с костями плечевого пояса и образуют верхний щиток панциря. В целом по своему строению *P. rosinae* оказался промежуточным звеном между родом *Eunotosaurus* середины пермского периода и древними черепахами *Odontochelys*. На черепе *P. rosinae* имеются по два характерных отверстия на висках для прикрепления жевательных мышц. Их наличие очень важно для понимания эволюции этих животных. Подобные отверстия имеются у крокодилов, ящериц, змей, динозавров и птиц, которых ученые объединяют под названием диапсиды (*Diapsida*, двурочные). У современных черепах таких «височных окон» нет, поэтому их выделяли в особую группу анапсид (*Anapsida*, безрочные). Однако некоторые

исследователи полагали, что современные черепахи все-таки произошли от диапсид и просто утратили отверстия на черепе в ходе эволюции. Такое предположение подтверждалось данными молекулярной биологии, но не находило никаких подтверждений среди палеонтологических находок. Теперь же общее происхождение черепах и других диапсид окончательно подтвердилось. Вместо характерного для черепах беззубого клюва, у *P. rosinae* на челюстях имелись гвоздеобразные зубы. Можно предположить, что животное питалось червями и другими мягкотелыми беспозвоночными. Рептилия вела водный образ жизни, а ее широкие и тяжелые кости не только служили защитой от хищных рыб, но и работали дополнительным грузом, помогая держаться на дне, где животное добывало пищу. Ранее палеонтологам были известны лишь более поздние предковые виды черепах, уже наделенные характерными для черепах чертами. Так, у вида *Odontochelys semitestacea*, возникшего через 20 млн лет после *P. rosinae*, уже имелся пластрон — нижняя половина панциря, хотя на челюстях у него еще присутствовали зубы. Полный панцирь появился еще через 10 млн лет у *Proganochelys quenstedti*.



Реконструкция *Pappochelys rosinae* / Rainer Schoch/Wikimedia Commons

PNAS Early Edition • Науки о земле

Главным компонентом железистых кварцитов является биологически переработанное континентальное железо

Biologically recycled continental iron is a major component in banded iron formations. Weiqiang Li, Brian L. Beard, and Clark M. Johnson. PNAS Early Edition. 2015. Published ahead of print June 24, 2015, doi: 10.1073/pnas.1505515112.

Геохимики из Висконсинского университета в Мадисоне (США) на основе изучения изотопных составов Fe и Nd обнаружили, что железо джеспилитов (железистых кварцитов докембрийской эпохи), с которыми связаны основные запасы железа на планете, имеет во многом первично континентальное происхождение. Большая часть джеспилитов образовалась в результате восстановления бактериями растворенного в океане железа. Меньшая часть произошла при отложении из глубоководных гидротермальных источников. При этом на протяжении длительного геологического времени вклад бактерий и гидротермальных вод попеременно менялся. Ученые исследовали образцы железистых кварцитов возрастом 2,5 млрд лет, извлеченных с глубины 150 м в Национальном парке Кариджини (Австралия). Высокие значения параметров ϵ_{Nd} и $\delta^{56}Fe$ в образцах говорят в пользу гидротермального источника железа, однако коррелированное снижение ϵ_{Nd} и $\delta^{56}Fe$ указывает на привнос континентального материала. В докембрии дно мелководного, но очень горячего (50-70 °C) Мирового океана устилали голубовато-зеленые бактериальные маты. Мобилизацию континентального Fe можно объяснить процессом диссимиляционного восстановления морскими бактериями железа, сносимого с континентальных окраин. Получившийся в итоге деятельности бактерий ржавый поро-



Слои железистого кварцита / Clark Johnson/UW-Madison

шок откладывался на дно океана, где перемежался со слоями кварца, приносимого с суши, и железом из геотермальных вод. Вместе они образовывали полосчатые железистые кварциты. Новое исследование показывает, что этот процесс не был линейным, а вклад того или иного источника зависел от общей геологической и океанической динамики. Детальный отбор образцов из различных слоев железистых кварцитов позволил выявить периодическую смену морского гидротермального и континентального источников Fe с периодичностью 10-1000 лет. При этом никакого сезонного контроля данного процесса не прослеживается. В то же время, более протяженные циклы (10^5 - 10^6 лет), скорее всего, были обусловлены изменениями морских циркуляций. Результаты исследования впервые достоверно показывают двойственное (абиогенное гидротермальное и биогенное в результате бактериального восстановления континентального железа) происхождение толщ железистых кварцитов, отложение которых в архее происходило в глобальном масштабе.

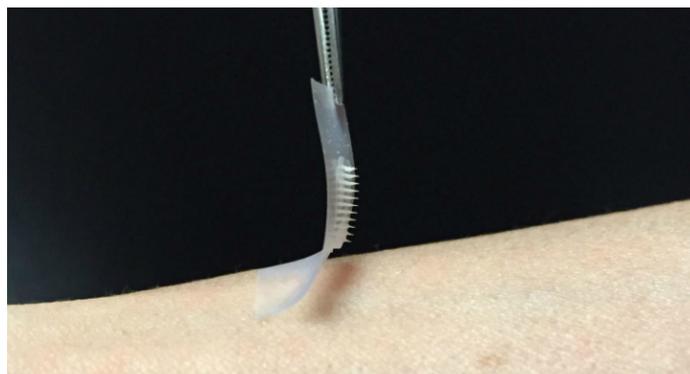
PNAS Early Edition • Медицина

Микроигольчатый пластырь с чувствительными к гипоксии везикулами обеспечивает быструю доставку инсулина в организм

Microneedle-array patches loaded with hypoxia-sensitive vesicles provide fast glucose-responsive insulin delivery. Jicheng Yu, Yuqi Zhang, Yanqi Ye, Rocco DiSanto, Wujin Sun, Davis Ranson, Frances S. Ligler, John B. Buse, and Zhen Gu. PNAS Early Edition. 2015. Published ahead of print June 22, 2015, doi: 10.1073/pnas.1505405112.

В статье сообщается о создании нового изобретения, которое позволит заменить болезненные инъекции инсулина и облегчить жизнь миллионов людей, которым был поставлен диагноз сахарный диабет. Разработчики из лаборатории по дизайну биоматериалов университета Северной Каролины создали первый инсулиновый «умный пластырь», который может обнаруживать повышение уровня сахара в крови и внедрять дозу инсулина в кровь тогда, когда это необходимо. «Умный пластырь» — это тонкий квадратный кусок кремния размером с монету, покрытый сотней крошечных игл. Эти микроиглы оснащены микроскопическими резервуарами (везикулами) для хранения инсулина и зондирующими глюкозу ферментами, которые быстро высвобождают лекарственный груз в том случае, когда уровень сахара в крови превышает норму. Исследование показало, что «ум-

ный пластырь» помогает снизить уровень глюкозы у мышей с диабетом I типа на время до 9 часов. Правда, прежде чем пластырь можно будет использовать на пациенте-человеке, потребуется больше клинических испытаний. Но авторы считают, что такой подход имеет хорошие перспективы. Пластырь он действует быстро, прост в использовании, сделан из нетоксичных и биосовместимых материалов. Вся система может быть персонализирована с учетом веса диабетика и его чувствительности к инсулину, так что можно сделать «умный пластырь» еще «умнее». При разработке пластыря авторы имитировали процесс создания природного инсулина в организме. Как известно, гормон вырабатывается бета-клетками поджелудочной железы: инсулин хранится в них в крошечных мешочках-пузырьках. Эти клетки также ведут себя как центры обработки сигналов — они чувствуют повышение уровня сахара в крови и высвобождают инсулин. Авторы создали искусственные везикулы, которые выполняют те же самые функции, с использованием двух природных материалов — гиалуроновой кислоты и 2-нитроимидазола. Соединив их, разработчики создать новое вещество, гидрофобное снаружи и гидрофильное внутри. В результате получились похожие на пузырьки структуры в сотню раз тоньше человеческого волоса. В каждый из этих пузырьков внедрены стержни



Инсулиновый «умный пластырь» / Lab of Zhen Gu

твёрдого инсулина и ферментов, специально разработанных для оценки уровня глюкозы. В лабораторных экспериментах, когда уровень сахара в крови увеличивается, избыток глюкозы переполняет искусственные пузырьки. Ферменты превращают глюкозу в глюконовую кислоту, которая постоянно потребляет кислород. Из-за образующегося недостатка кислорода или гипоксии гидрофобные молекулы становятся гидрофильными. В результате пузырьки быстро распадаются и выбрасывают инсулин в кровоток.

Science Advances • Биология

Трансплантабельность циркадных часов в нециркадный организм

Transplantability of a circadian clock to a noncircadian organism. Anna H. Chen, David Lubkowitz, Vivian Yeong, Roger L. Chang and Pamela A. Silver. Science Advances. Published Online June 12, 2015. DOI: 10.1126/sciadv.1500358.

Как правило, молекулярные циркадные часы живых клеток представляют собой систему генов, соединенных петлями обратной связи. К примеру, если выработка одного из генов зависит от уровня освещенности, то, ориентируясь по таким внутренним часам, клетки могут определять, какое сейчас время суток, и в соответствии с этим управлять разными процессами. Однако обнаружили и другие модели биологических часов, работающие без экспрессии генов. К таким часам относится природный осциллятор цианобактерий *Synechococcus elongatus*, подсказывающий, когда и какие реакции фотосинтеза надо проводить. У цианобактерий внутренние часы работают так: есть главный белок — KaiC, который в фосфорилированном состоянии хорошо связывается с другим белком, SasA, служащим посредником запуска «дневных» процессов. Направляют фосфорилирование и дефосфорилирование KaiC два других белка — KaiA и KaiB. Первый из них стимулирует фосфорилирование KaiC, а второй — наоборот, удаление фосфата. У цианобактерий KaiA действует в основном на свету, а KaiB — в основном в темноте. Получается, что днем KaiC фосфорилирован, а ночью — лишен фосфатов. Таким образом, чтобы сделать циркадные часы как у цианобактерий, нужны три белка, а также источник энергии — мо-

лекулы АТФ. Если смешать эти компоненты в пробирке, будет циклически изменяться фосфорилирование одного из белков, а период колебаний будет близок к суткам. Система цианобактерий такая простая и неприхотливая и способна работать как минимум несколько суток даже в отсутствие работы генов, что у авторов возникла идея внедрить ее в какой-нибудь другой организм. В качестве объекта взяли самую популярную лабораторную бактерию — *Escherichia coli*, у которой нет собственных суточных ритмов. Исследователи ввели в эту бактерию гены трех белков-составляющих осциллятора и убедились, что уровень фосфорилирования KaiC продолжает колебаться с суточным периодом и в этом «неродном» организме. Результаты исследования очень интересны для будущих практических приложений. Замечательно не только то, что часы цианобактерий простые и относительно независимые от работы генов, но и то, что их период именно суточный. Так что в будущем такая система может быть использована для стабилизации циркадных ритмов живых организмов. С помощью имплантации суточных часов можно будет лечить заболевания, связанные с расстройством циркадных ритмов, или наладить адресную доставку лекарств в пораженные ткани строго по расписанию.

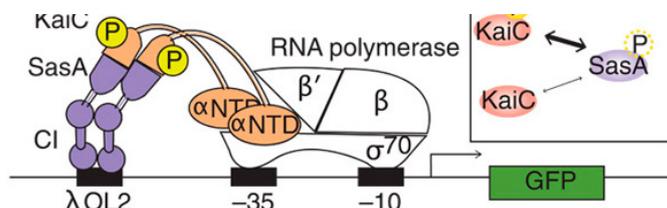
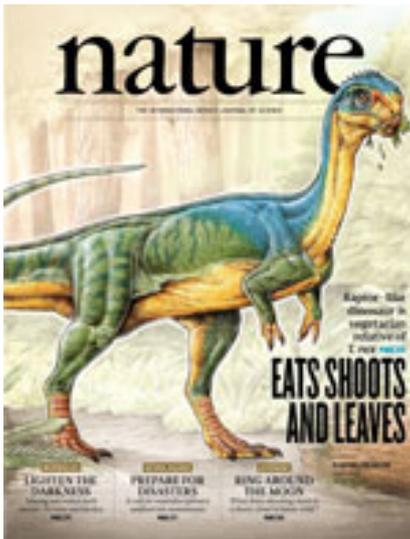
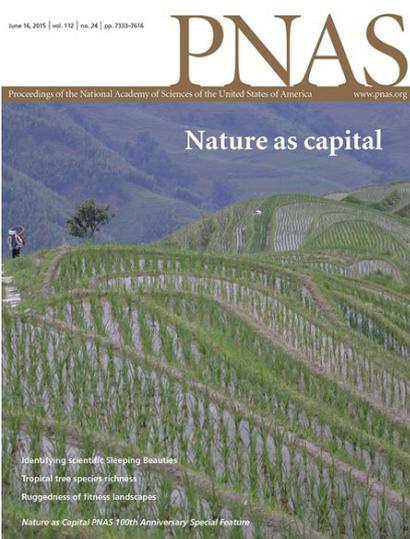


Схема подключения гена KaiC к работе циркадных часов / Anna H. Chen et al.

Vol. 522. No 7556 Vol. 522. No 7557
18 июня 2015 года, 25 июня 2015 года



Vol. 112. No 24
16 июня 2015 года, Vol. 112. No 26
Vol. 112. No 25 30 июня 2015 года
23 июня 2015 года,



Vol. 348. No 6241
19 июня 2015 года



Nature · PNAS · Science: рефераты статей

15 **Астрономия**

18 **Физика**

19 **Химия**

20 **Науки о Земле и экология**

26 **Антропология и история**

27 **Биология**

39 **Медицина**

42 **Нейронауки и психология**

47 **Социальные науки**

48 **Технологии и материалы**

Астрономия

Постоянное асимметричное пылевое облако вокруг Луны

A permanent, asymmetric dust cloud around the Moon. M. Horányi, J. R. Szalay, S. Kempf, J. Schmidt, E. Grün, R. Srama, Z. Sternovsky. Nature. 2015. Vol. 522. No 7556. P. 324–326.

Зонд LADEE (Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer), который был запущен 6 сентября 2013 г. и находился на орбите Луны в течение 6 месяцев, обнаружил гигантское облако пыли, находящееся на высоте нескольких десятков километров над поверхностью «утренних» регионов Луны, которое может быть причиной загадочного «сияния на горизонте» во время лунных закатов и восходов. Первые предположения о наличии облаков пыли над поверхностью Луны возникли в конце 1960-х годов, когда в распоряжение ученых попали снимки, полученные беспилотными посадочными модулями. На этих фотографиях, а также по рассказам астронавтов миссий «Apollo 15» и «Apollo 17», при восходе и заходе Солнца на Луне у горизонта (вблизи терминаторов) появляется загадочное сияние. Тогда же было отмечено, что одно только Солнце не может быть причиной такого свечения. Данные, собранные авторами, показали, что это явление может быть связано с частицами пыли, парящими на высоте примерно 10 километров над поверхностью Луны. В период с 16 октября 2013 г. по 18 апреля 2014 г. проводился эксперимент по фиксации образования лунной пыли (Lunar Dust Experiment, LDEX). За это время специальный детектор на борту космического зонда LADEE зарегистрировал более 140 тыс. столкновений межпланетных частиц с поверхностью Луны. Оказалось, что над поверхностью спутника Земли действительно парит большое об-

лако пыли, однако оно находится не там, где его ожидали увидеть, и выглядит не совсем так, как считалось ранее. Как показывают результаты LDEX, Луну окружает достаточно толстая пелена из пылевых частиц, которые вращаются вокруг нее на высоте примерно 20-100 км. У этого облака неправильная форма, и оно заметно толще в той части Луны, на которой в данный момент начинается утро и которая смотрит на Солнце. По мнению авторов, это облако возникло и существует благодаря постоянной бомбардировке поверхности Луны кометной пылью, которая врезается в лунный грунт на большой скорости, выбрасывая в космос значительное количество частичек грунта. В пользу этого говорит и то, что LADEE фиксировал всплески концентрации пыли над Луной в те дни, когда Земля и ее спутник «обстреливались» Геминидами и другими известными и хорошо заметными метеорными потоками. Схожие пылевые облака должны окружать и другие безвоздушные тела Солнечной системы и спутники планет-гигантов. Проверку этой гипотезы можно будет осуществить в ближайшее время, когда зонд New Horizons достигнет системы Плутона и начнет ее изучение. Знание распределения концентрации частиц пыли вокруг небесных тел, в частности, Луны и других спутников, важно для будущих космических миссий. Околопланетные частицы могут двигаться с большими скоростями и наносить вред отдельным чувствительным элементам станций. С другой стороны, загадка «аполлоновских» сияний так и остается нерешенной. Зафиксированное авторами исследования облако пыли находится на слишком большой высоте и оно слишком разрежено для того, чтобы породить свечение нужной яркости. По всей видимости, в рождении этих сияний задействованы какие-то другие механизмы, которые еще предстоит раскрыть.

В.В. Стрекопытов

Измерения коэффициентов непрозрачности и проводимости у благородных газов во внутренних частях планет и звезд

Opacity and conductivity measurements in noble gases at conditions of planetary and stellar interiors. R. Stewart McWilliams, D. Allen Dalton, Zuzana Konôpková, Mohammad F. Mahmood, Alexander F. Goncharov. PNAS. 2015. Vol. 112. No 26. P. 7925–7930.

Благородные газы являются важнейшими составляющими газовых планет и звезд. Сегрегируясь в атмосфере в виде капель или слоев, они активно влияют на термальные, химические и структурные процессы, происходящие на этих небесных телах. Авторы провели измерения оптических свойств благородных газов в разогретых лазером ячейках с алмазными наковальнями. При высоких температурах и давлениях (4000–15000 К, 15–52 ГПа) у плотного гелия, неона, аргона и ксенона наблюдался переход от диэлектриков к проводникам, сопровождающийся потерей прозрачности. Это значит, что вблизи ядер газовых гигантов, таких как Юпитер и Сатурн, благородные газы будут вести себя как про-

водники электричества. Авторы утверждают, что данный процесс напрямую связан с возможностью гелия и неона растворяться в жидком водороде, в обилии присутствующем вблизи ядер газовых гигантов. В статье дается также возможное объяснение того, почему Сатурн испускает гораздо больше тепла, чем того можно было бы ожидать от таких планет на данной стадии их развития. Выяснилось, что все дело в меняющихся свойствах гелия — на поверхности он ведет себя как диэлектрик, а в центре Сатурна, где давление больше, — как проводник. Кроме того, на его свойства оказывает влияние концентрация водорода. В случае как Сатурна, так и Юпитера, внутреннего давления и температуры достаточно для растворения ставшего проводником гелия в проводящем же водороде. Однако, в отличие от Юпитера, Сатурн не обеспечивает условий, достаточных для превращения неона в проводник, что значительно ограничивает его смешиваемость с водородом. В результате, ядро Сатурна, скорее всего, окружено океаном жидкого неона, предотвращающим эрозию ядра и перемешивание с внешними слоями атмосферы. Ядро же Юпитера за счет диффузии теряет плотность и охлаждается.

В.В. Стрекопытов

Оценка массы сопоставимой по размерам с Марсом экзопланеты Kepler-138 b на основе времени прохождения

The mass of the Mars-sized exoplanet Kepler-138 b from transit timing. Daniel Jontof-Hutter, Jason F. Rowe, Jack J. Lissauer, Daniel C. Fabrycky, Eric B. Ford. Nature. 2015. Vol. 522. No 7556. P. 321–323.

Обычно для оценки параметров планет ученые используют положение о том, что все планеты, несмотря на свою небольшую массу по сравнению со звездой, оказывают на нее гравитационное, в результате чего звезда периодически приближается к Земле или удаляется. Это вносит сдвиги в спектр ее излучения, по силе которых можно оценить массу планеты. Подобный прием, который астрономы называют «методом лучевых скоростей», работает только для больших планет, чьи размеры и масса заметно превышают земные. Для малых планет существует так называемый метод прохождения, который еще в XIX веке астрономы использовали для вычисления массы Марса и открытия Нептуна. Во время прохождения экзопланет по диску родительской звезды отмечается заметное понижение яркости звездного диска, что дает возможность косвенно оценить размер этих планет и период их обращения. В некоторых множественных планетных системах на время прохождения могут влиять гравитационные взаимодействия между соседними планетами. При благоприятных условиях отклонения от кеплеровских орбит (траекторий без учета гравитационных взаимодействий), вычисленные на основе времени прохождения, позволяют определить размер и массу планет, а значит, — и их валовую плотность. Для газовых планет это сделать проще, для каменных — сложнее. Поэтому лишь для нескольких землеподобных экзопланет на сегодняшний день удалось оценить их массу. На основе времени прохождения авторы впервые с помощью орбитального телескопа Kepler смогли изме-

рить размер, массу и плотность трех экзопланет в звездной системе Kepler-138. Эти небольшие планеты (внутренняя b, средняя c и внешняя d), вращаются вокруг родительской звезды, которая в 2,5 раза меньше Солнца и холоднее его. Примерные периоды обращения планет и их размеры были оценены еще в рамках первичного анализа данных, в частности, было известно, что Kepler-138 b обладает периодом обращения 10,3 дней, а ее диаметр составляет 52% земного, что примерно соответствует размерам Марса. Проанализировав данные нескольких лет работы телескопа, авторы установили, что Kepler-138 b находится почти в резонансе со средней планетой системы: их периоды обращения близки к отношению 3:4. Тем не менее, период обращения Kepler-138 b периодически меняется с амплитудой в 34 мин. Авторы провели математическое моделирование системы и определили, что такая амплитуда соответствует массе экзопланеты в 2,9-12,5% M_3 , где M_3 — масса Земли. Это делает планету Kepler-138 b очень похожей на Марс, масса которого также составляет всего 10,7% от земной. Результаты измерений, проведенных в рамках данного исследования, показали, что наименьшая по размеру, внутренняя планета Kepler-138 b имеет массу около 0,066 M_3 . Ее плотность оценивается на уровне 2,6 г/см³, что позволяет рассматривать ее как каменную планету. Две другие планеты по размерам чуть больше Земли. Плотность средней составляет 6,2 г/см³ (близка к плотности Земли), а внешней — 2,1 г/см³. Такая низкая плотность свидетельствует о том, что в составе последней преобладают легкие компоненты, такие как вода и водород. Таким образом, Kepler-138 b стала самой небольшой экзопланетой, чья масса и плотность была измерена астрономами. Как полагают авторы, запуск наследника телескопа Kepler, орбитальной обсерватории TESS, поможет измерить массы еще меньших планет и уточнить параметры планет из семейства Kepler-138.

В.В. Стрекопытов

Теплая экзопланета GJ436b, сопоставимая по массе с Нептуном, подобно комете, сопровождается гигантским водородным шлейфом

A giant comet-like cloud of hydrogen escaping the warm Neptune-mass exoplanet GJ 436b. David Ehrenreich, Vincent Bourrier, Peter J. Wheatley, et al. Nature. 2015. Vol. 522. No 7557. P. 459–461.

В ходе исследования с помощью телескопа Hubble планеты Gliese 436b (GJ436b), вращающейся вокруг небольшого красного карлика Gliese 436, расположенного в созвездии Льва на расстоянии 33 световых года от Земли, авторы обнаружили колоссальный водородный шлейф, возникший у планеты из-за излучения звезды. Подобное явление вокруг экзопланеты наблюдается впервые. Имеющаяся сейчас скорость испарения не угрожает планете, однако в прошлом, когда звезда была более активной (в течение первых миллиардов лет своего существования), вещество планеты испарялось быстрее. GJ436b по размерам близка к Нептуну: ее масса равна 22,2 массы Земли, радиус – 4,327 радиуса Земли. Планета обращается вокруг материнской звезды за 2,64 дня. Расстояние между звездой и планетой составляет всего 3 млн км (для сравнения, Солнце и Землю разделяют около 150 млн км). Предположительный возраст планеты – около 6 млрд лет. В мае 2007 г. бельгийскими учеными было установлено, что планета в основном состоит из воды. Вода находится в твердом состоянии при температуре порядка 300 °C и большом давлении. Еще три года назад планетологи заметили некие странные колебания в мощности инфракрасного излучения Gliese 436, которые вызывались периодическим прохождением GJ436b по диску светила. Эти наблюдения раскрыли неожиданный феномен – проход планет-

ты по диску светила в ультрафиолете начинался за 2 часа до того, как GJ436b начинал затенять собой свет звезды в области видимого света. Аналогичным образом газовый гигант продолжал заслонять ультрафиолетовые лучи на протяжении 3 часов после того, как планета покидала диск звезды. Подобное возможно только в том случае, если за планетой тянется гигантский шлейф из водорода и прочих газов, которые взаимодействуют с ультрафиолетовым излучением звезды и заслоняют часть этого излучения от глаз наблюдателей на Земле. По расчетам авторов, каждую секунду под воздействием рентгеновского излучения звезды из атмосферы GJ436b выгорает около 1000 т водорода, что превращает газового гиганта в подобие огромной кометы. Это не такая большая цифра, учитывая, что каждый миллиард лет планета теряет всего 0,1% от своей общей массы. Авторы считают, что огромное облако газа, в 50 раз превышающее в диаметре саму планету, существует вокруг GJ436b так долго по той причине, что облако нагревается достаточно медленно (красный карлик Gliese 436 – звезда относительно прохладная). Похожие и гораздо более драматичные процессы должны происходить и на других газовых экзопланетах, вся атмосфера которых может быть таким образом потеряна и унесена в космос. О существовании подобных процессов ученые знали достаточно давно, однако до сих пор им удавалось находить лишь остаточные ядра бывших планет-гигантов, вращающихся вокруг красных карликов, похожих на Gliese 436. Не факт, что атмосфера GJ436b испарится полностью и оставит одно каменное ядро, однако эта экзопланета вполне может объяснить существование близких к другим звездам суперземель, в том числе, обнаруженных телескопом Kepler. Горячие суперземли могут быть остатками более массивных планет, потерявших свои мощные газообразные атмосферы в результате подобных процессов.

В.В. Стрекопытов



Физика

Квантовое туннелирование, наблюдаемое без его характерных сильных изотопных эффектов

Quantum tunneling observed without its characteristic large kinetic isotope effects. Tetsuya Hama, Hirokazu Ueta, Akira Kouchi, Naoki Watanabe. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7438–7443.

Туннелирование, возникающее вследствие волновой природы материи, позволяет частицам преодолевать барьеры, которые по классической теории преодолеть нельзя. Поскольку длина волны де Бройля обратно пропорциональна моменту частицы, то туннелирование становится заметным при малых массах и низких температурах. Длина волны де Бройля для водорода (9,8–1,8Å) и дейтерия (6,9–1,3Å) при 10–300 К превышает типичные величины барьеров активизации химических реакций (около 1Å), что отменяет чисто классическое описание их движения при химических реакциях. Классическая теория переходных состояний — фундамент описания химической кинетики, однако именно квантовое туннелирование объясняет неожиданно большую реакционную эффективность многих химических реакций. Также аномально большие кинетические изотопные эффекты появля-

ются благодаря туннелированию, поскольку способности частиц к туннелированию существенно снижаются с увеличением их масс. Экспериментально показано, что холодные атомы водорода H и дейтерия D могут взаимодействовать с бензолом путем туннелирования, однако наблюдаемый кинетический изотопный эффект очень мал (1–1,5) несмотря на большой (>100) собственный кинетический изотопный эффект туннелирования H и D. Такое сильное его снижение происходит благодаря тому, что химическая кинетика преимущественно зависит от поверхностной диффузии атомов H и D, и процесс не зависит от изотопа. Поскольку туннелированию не нужен большой кинетический изотопный эффект в реакциях на поверхностях раздела сред, то следует пересмотреть его роль в системах наподобие аэрозолей или ферментов. Таким образом туннельные реакции на поверхности межзвездной пыли могут вносить существенный вклад в дейтерирование межзвездных ароматических и алифатических углеводородов, что может быть главным источником насыщения дейтерием, наблюдаемым в углистых метеоритах. Эти открытия могут улучшить наше понимание физико-химических процессов межзвездной среды, включая и те, что привели к формированию Солнечной системы.

И.Ю. Лещанский

Получение изображения переходного плавления нанокристалла с использованием рентгеновского лазера

Imaging transient melting of a nanocrystal using an X-ray laser. Jesse N. Clark, Loren Beitra, Gang Xiong, David M. Fritz, Henrik T. Lemke, Diling Zhu, Matthieu Chollet, Garth J. Williams, Marc M. Messerschmidt, Brian Abbey, Ross J. Harder, Alexander M. Korsunsky, Justin S. Wark, David A. Reis, Ian K. Robinson. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7444–7448.

Существует фундаментальный интерес к изучению фотоиндуцированной динамики наночастиц и наноструктур, так как это дает представление об их механических и тепловых свойствах в неравновесных состояниях и при фазовых переходах. Наночастицы могут демонстрировать свойства, значительно отличающиеся от свойств вещества в объеме, что вызывается взаимодействием между их размерами, морфологией, кристалличностью, концентрацией дефектов и свойствами их поверхности. В частности, возникают интересные сценарии, когда наночастицы подвергаются фазовым переходам, таким как плавление, индуцирован-

ное лазером оптического диапазона. Из теоретических соображений можно предположить, что наночастицы проходят обратимое неоднородное плавление с образованием структуры из ядра и оболочки, состоящей из жидкого наружного слоя. Проведенные ранее исследования на ансамблях наночастиц предварительно позволяют предположить, что такие механизмы действительно присутствуют, но различить эффекты непосредственно связанные с размером частицы с одной стороны и эффекты размера образца и разброса формы частиц с другой было трудно. Продемонстрирована визуализация переходного таяния и смягчения акустических фононных мод для отдельного нанокристалла золота, с использованием рентгеновского лазера на свободных электронах. Полученные результаты показывают, что переходное плавление является обратимым и неоднородным, что находится в соответствии с моделью плавления, предусматривающей структуру из ядра и оболочки. Полученные результаты имеют значение для понимания переходных процессов в наночастицах и определения их упругих свойств в процессе фазового перехода.

А.В. Якименко

Химия

Дальнодействующее электростатическое экранирование в ионных жидкостях

Long-range electrostatic screening in ionic liquids. Matthew A. Gebbie, Howard A. Dobbs, Markus Valtiner, Jacob N. Israelachvili. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7432–7437.

В биологических системах, а также в энергетической технике преобладают растворы электролитов с высокой концентрацией ионов. Для концентрированных электролитов, используемых в этих областях, характерны интенсивный обмен энергией и дальнодействующее электростатическое взаимодействие. Ионные жидкости — это однокомпонентные растворы, состоящие преимущественно из ионов. Электролиты — это многокомпонентные жидкости, состоящие из ионов, растворенных в жидкой фазе (растворителе). Классическим примером является соленая вода. Движущей силой диссоциации ионов в электролите является энтропия. Большая свободная энергия электростатического взаимодействия ионов является причиной того, что физические свойства большинства растворов электролитов демонстрируют заметные отклонения от идеальной картины. Эти отклонения в первую очередь из-за

пространственной группировки ионов и их электростатического взаимодействия. Примером служит образование пар нейтральных ионов, каждый из которых повышает уровень электростатического взаимодействия по сравнению с идеальным раствором. Дальнодействующие экспоненциально спадающие силы диффузии двойного слоя, наблюдаемые в ионном растворе, демонстрируют заметную температурную зависимость: рост температуры уменьшает измеряемую длину диффузии, что увеличивает эффективную концентрацию свободных ионов в растворах. Имеющиеся в настоящее время количественные результаты позволяют построить общую модель дальнодействующего экранирования в ионных растворах. Роль ионов традиционного раствора электролита играют либо свободные ионы, либо коррелированные домены (квазичастицы). Эта модель позволяет окончательно разрешить некоторые несоответствия, сопровождающие электростатическое экранирование и перенос зарядов в ионных жидкостях, и показывает прежде неизвестный путь исследования концентрированных электролитов и их применение в очень широкой области, от электрохимических устройств до управления обменом электрическими зарядами в биологических системах.

И.Ю. Лещанский

.....

Науки о Земле и экология

Позднеолигоценовый – раннемиоценовый возраст пустыни Такла-Макан

Late Oligocene–early Miocene birth of the Taklimakan Desert. Hongbo Zheng, Xiaochun Wei, Ryuji Tada, Peter D. Clift, Bin Wang, Fred Jourdan, Ping Wang, Mengying He. PNAS. 2015. Vol. 112. No 25. P. 7662–7667.

Такла-Макан является на сегодняшний день второй по величине пустыней мира и главным источником пыли, на основе которой формируются атмосферные аэрозольные смеси, ставшие в Восточной Азии экологической проблемой. Протяженность пустыни с запада на восток превышает 1000 км, ширина достигает 400 км, а площадь песков составляет свыше 300 тыс. км². Возникновение огромного песчаного бассейна считается важнейшим геологическим событием кайнозойской истории Центральной Азии. Точное определение момента зарождения пустыни Такла-Макан (Таримского бассейна) может существенно помочь в понимании тектонических и климатических связей региона. Тем не менее, точный возраст пустыни до конца не определен. Существует мнение, что она образовалась 7–3,4 млн лет назад. Это предположение основывается на данных магнитостратиграфии отложений, окаймляющих пустыню, так как считается, что лессовые отложения окраинных частей пустыни генетически эквивалентны пескам в ее центре. Начиная с позднемиоценового времени и до раннего палеогена территория западной части Таримского бассейна эпизодически заливалась неглубоким морем, соединенным с океаном Паратетис, охватывающим большую часть Европы и юг Центральной Азии. Данные биостратиграфии указывают на то, что воды Паратетиса полностью покинули эту область 41 млн лет назад в связи с глобальным изменением уровня моря и тектонической Индо-Ази-

атской коллизией. Оба эти события положили начало процессам аридизации внутренней части Азии. В стратиграфическом разрезе видно, что непосредственно за морскими следуют отложения прибрежного синтетектонического бассейна, которые, в свою очередь, сменяются тонкими слоями континентальных красноцветов – тонкозернистых аргиллитов и песчаников с включениями эвапоритового гипса, типичного для пойм меандрирующих рек, озерных и пляжных отложений. Дальше по разрезу нарастает доля все более грубозернистых песчаников, которые сменяются мощной (до 3 км) толщей валунных и крупногалечных конгломератов со все возрастающим сверху присутствием изверженных пород и высокометаморфизованных кластических пород. Смена красноцветов все укрупняющимися конгломератами и отложениями потокового дебриса фиксирует собой смену палеогеоморфологического профиля и начало тектонического поднятия северной окраины Тибетско-Памирского плато. Дальнейшая аридизация региона привела к накоплению пустынных отложений: эоловых – в центре бассейна и лессовых – на окраине. Авторы использовали радиоизотопные методы (⁴⁰Ar/³⁹Ar и U–Pb) для точного датирования пепла вулканических туфов, сохранившегося в стратиграфическом разрезе юго-западной части Таримского бассейна. Результаты показали, что опустынивание началось 26,7–22,6 млн лет назад, то есть в позднем олигоцене – раннем миоцене. Вероятно, формирование пустыни Такла-Макан было следствием повышения общей аридности региона и активной эрозии окружающих горных массивов. И тот и другой процессы явились отражением тектонического поднятия Тибетско-Памирского нагорья и Тянь-Шаня, а также – достижения барьера климатической чувствительности.

В.В. Стрекопытов

Наблюдение за Атлантической меридиональной циркуляцией: десятилетие неминуемых сюрпризов

Observing the Atlantic Meridional Overturning Circulation yields a decade of inevitable surprises. M. A. Srokosz, H. L. Bryden. Science. 2015. Vol. 348. No 6241. P. 1330, 1255575-1–5.

В 2002 г. Национальный исследовательский совет США по резким изменениям климата опубликовал результаты своих исследований в виде доклада «Резкие климатические изменения: неминуемые сюрпризы». В качестве одного из факторов, влияющих на резкие изменения климата, в докладе рассматривается так называемая Североатлантическая термогалинная циркуляция (North Atlantic thermohaline circulation, THC). И в докладе, и в 3-м оценочном отчете Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) говорится об ослаблении THC в течение всего XXI столетия. Это заставляет ученых всего мира уделять

больше внимания наблюдениям за изменением характера такого явления, как Атлантическая меридиональная циркуляция (Atlantic Meridional Overturning Circulation, AMOC) – основного механизма переноса тепла в Северной Атлантике. Климатические модели предсказывают, что, по мере роста глобального потепления, AMOC будет ослабляться, что неизбежно повлечет за собой серьезные климатические последствия, для оценки которых нужны адекватные систематические наблюдения. В последнее десятилетие для этого прикладывались серьезные усилия. В результате было сделано много интересных открытий: обнаружена межгодовая вариабельность AMOC, описаны амплитуды и фазы сезонных циклов, оценены межгодовые изменения объемов переносимого океаном тепла, подтверждено общее снижение интенсивности AMOC на протяжении всего десятилетия. Это снижение происходит даже быстрее, чем предсказывалось климатическими моделями. В статье подводятся итоги наблюдений за AMOC в течение последнего десятилетия.

В.В. Стрекопытов

Микробная инвазия Карибского бассейна зооксантеллами Индо-Тихоокеанских кораллов

Microbial invasion of the Caribbean by an Indo-Pacific coral zooxanthella. D. Tye Pettay, Drew C. Wham, Robin T. Smith, Roberto Iglesias-Prieto, Todd C. LaJeunesse. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7513–7518.

Биологические инвазии и глобальное изменение климата приводят к изменению разнообразия, распространения и экологии всех живых существ, населяющих нашу планету, что в конечном итоге негативно влияет на благосостояние людей. Хотя массив литературы по инвазивным растениям и животным огромен, инвазии непатогенных микробов и их воздействие на функции экосистем изучены слабо. Однако микробные инвазии могут существенно изменить состав принимающего сообщества и влияют на функциональные способности экосистем. Антропогенные изменения окружающей среды стали главной причиной стремительного упадка экосистемы коралловых рифов, в частности, из-за нарушения симбиозов между рифообразующими кораллами и их фотосимбионтами. Одноклеточные бурые симбиотические водоросли рода *Symbiodinium* (представители группы динофлагеллят) имеют решающее значение для поддержания и фотосинтетической продуктивности экосистем коралловых рифов. Аномальное потепление океана дестабилизирует это мутуалистическое партнерство. Происходит «обесцвечивание» кораллового рифа, вызванное тем, что полип отторгает своих симбионтов. Однако некоторые симбионты приспосабливаются и процветают в этих условиях. Авторы статьи представили доказательства того, что стресс-толерантные зооксантеллы Индо-Тихоокеанской области, микроводоросли *Symbiodinium trenchii*, получили быстрое распространение среди коралловых сообществ всего Ка-

рибского бассейна, страдающего от потепления климата и деградации окружающей среды. *S. trenchii* повышает устойчивость фотосинтетических кораллов к экологическим возмущениям, но ослабляет способность полипов к обизвествлению (кальцификации) и строительству рифа. В отличие от популяций Индо-Тихоокеанской области, Атлантическая популяция *S. trenchii* характеризуется исключительно низким генетическим разнообразием и включает в себя нескольких широко распространенных и генетически сходных клонов. Колонии с такими симбионтами переносят температуру на 1–2 °C выше, чем в случае иных комбинаций хозяин–симбионт, однако кальцификация кораллов, дающих приют *S. trenchii*, снижается почти наполовину по сравнению с кораллами, укрываемыми симбионтами аборигенной популяции, и, следовательно, эти новые симбиозы являются дезадаптивными. Авторы статьи отмечают, что ответы симбиозов кораллов с динофлагеллятами на изменения климата часто обсуждаются с точки зрения «принимающей стороны», которая контролирует свои партнерские отношения с симбионтами, толерантными к изменениям температуры. Новые данные о *S. trenchii*, описанные в статье, противоречат такому, ориентированному на хозяина, подходу, демонстрируя, что экологический оппортунизм и экспансия всего лишь нескольких или даже одного симбионтного вида может управлять динамической реакцией кораллового рифа на изменения климата. Таким образом, непредвиденный экологический оппортунизм и географическая экспансия инвазивных мутуалистических микробов может глубоко влиять на симбиозы коралловых рифов, приводя к крупным экологическим возмущениям, но может в конечном итоге привести к компромиссу между стабильностью экосистемы и ее функцией в условиях дальнейшего потепления океана.

С.В. Зворыкина

Экстремальная экосистемная нестабильность подавляла доминантное развитие тропических динозавров на протяжении 30 млн лет

Extreme ecosystem instability suppressed tropical dinosaur dominance for 30 million years. Jessica H. Whiteside, Sofie Lindström, Randall B. Irmis, Ian J. Glasspool, Morgan F. Schaller, Maria Dunlavey, Sterling J. Nesbitt, Nathan D. Smith, Alan H. Turner. PNAS. 2015. Vol. 112. No 26. P. 7909–7913.

Известно, что первые динозавры появились около 230 млн лет назад, однако практически до конца триасового периода они предпочитали жить вне тропической и экваториальной зон. На материках, расположенных в тот период в районе экватора, находят лишь редкие останки небольших хищных видов динозавров. Останки больших и травоядных динозавров практически не встречаются в этих местах, при этом в регионах, расположенных в триасовое время далеко от экватора, останки травоядных динозавров не единичны. Авторы статьи предполагают, что частые пожары, нехватка продовольствия и жесткие климатические условия могут объяснить тот факт, что динозаврам не удавалось заселить тропики более 30 млн лет после своего появления на планете. Палеоэкологические исследования проводились на примере на формации Чинле (Chinle formation) в районе Ghost Ranch в северной части шт. Нью-Мексико (США). Слои формации содержат окаменелости животных и рыб, уголь, оставшийся после древних пожаров, стабильные изотопы органических веществ почвы и карбонатные конкреции. Все полученные данные дополняют друг друга и указывают на наличие в районе Ghost Ranch в триасовый период тропического или субтропического климата. Динозавры здесь в это время составляли не более 15% фауны, а в пищевой цепи доминировали древние рептилии, предки современных крокодилов и аллигаторов. Авторы

установили, что динозавры, которым удавалось выживать в местном климате, были маленькими хищниками. Большие травоядные особи с длинными шеями (например, апатозавры или диплодоки) отсутствовали полностью, хотя в более северных широтах их достаточно много. Такие огромные животные должны были постоянно есть, чтобы поддерживать свой организм в нормальном состоянии, однако в данной местности им не хватало растений. Прослойки древесного угля, обнаруженные в осадочных породах формации Чинле, указывают на многочисленные пожары (причем некоторые из них были невероятно обширными), которые привели не только к исчезновению многих видов растений, но и к повреждению почвы и повышенной эрозии. Одновременно с этим находки пыльцы в проанализированных отложениях указали на частую смену растительности. Слои, указывающие на доминирование папоротников, сменяются теми, где пыльца принадлежит в основном голосеменным растениям, родственникам современных сосен. Среднегодовые температуры в Ghost Ranch в позднем триасе достигали 28 °C, а уровень углекислого газа колебался в диапазоне между 1200–2400 ppm (для сравнения, сегодняшний, тоже весьма высокий уровень составляет 400 ppm). Непостоянный суровый климат с периодическими лесными пожарами привел к тому, что выжить в среде «экстремальной нестабильности» могли лишь небольшие двуногие плотоядные динозавры вроде целофизов. Ученые выдвигают гипотезу, что высокое и часто изменяющееся содержание углекислого газа в атмосфере затрудняло формирование устойчивых экваториальных экосистем, поскольку резко и систематически меняло там климат. Судя по появлению папоротников, живущих в условиях повышенной влажности, на смену сухим и жарким периодам часто приходили жаркие и влажные, затем вновь сменявшиеся длительными засухами, за которыми следовали лесные пожары.

В.В. Стрекопытов

Западные окраинные течения Тихого океана и их влияние на климат

Pacific western boundary currents and their roles in climate. Dunxin Hu, Lixin Wu, Wenju Cai, et al. Nature. 2015. Vol. 522. No 7556. P. 299–308.

Западные окраинные течения (western boundary currents, WBCs) — это узкие и быстрые течения, входящие в состав всех главных океанических циркуляций. В Тихоокеанском бассейне к WBCs относятся: течение Курошио в Северном полушарии и Восточно-Австралийское течение в Южном полушарии. В совокупности они составляют взаимосвязанную систему так называемых Тихоокеанских экваториальных циркуляций, явившихся в свое время одним из первых объектов изучения со стороны океанографов. Широко известными, но слабо оцененными количественно, следствиями WBCs являются следующие процессы: Эль-Ниньо Южная Осцилляция (El Niño / Southern Oscillation, ENSO), Тихоокеанская декадная осцилляция (Pacific Decadal Oscillation, PDO) и Индонезийский поток (Indonesian

Throughflow, ITF). Изучение этих процессов, к которым сейчас приковано внимание ученых всего мира, позволит лучше понять механизмы переноса тепла и масс вещества в экваториальной Пацифике, а также — влияние этих двух факторов на изменения глобального климата, которые связаны с эмиссиями парниковых газов. Результаты климатического моделирования позволяют предполагать, что в текущем столетии тропические пассаты будут ослабевать, а западные ветры умеренного пояса усилятся и переориентируются в более полярном направлении, что повлечет за собой интенсификацию WBCs. Однако климатические последствия всех этих изменений пока до конца не ясны. Статья представляет собой обзор сведений о западных окраинных течениях, исследований и публикаций, посвященных вопросу влияния WBCs на климат Земли. Только совместные усилия международного сообщества позволят выстроить адекватную систему наблюдений, теоретических исследований и технических построений, которые позволят закрыть брешь в наших знаниях о западных окраинных течениях.

В.В. Стрекопытов

Снятие ограничений по воде увеличивает потенциал поглощения углерода лесами на фоне роста содержания CO₂

Decreased water limitation under elevated CO₂ amplifies potential for forest carbon sinks. Caroline E. Farrior, Ignacio Rodriguez-Iturbe, Ray Dybziński, Simon A. Levin, Stephen W. Pacala. PNAS. 2015. Vol. 112. No 23. P. 7213–7218.

Изменения экологической среды растительных сообществ по всему миру связаны, прежде всего, с ростом атмосферных концентраций CO₂ и сменой режима осадков. Являющиеся отражением этих двух факторов изменения в продуктивности растений и перераспределении углерода между тканями могут существенно сказаться на процессе поглощения углерода лесными массивами и на глобальном цикле этого элемента в целом. Кроме того, есть подозрение, что эти последствия во многом будут зависеть от скрытых механизмов, не учтенных в глобальных климатических моделях. В своем исследовании авторы фокусируются на роли конкурен-

ции за воду и свет в поглощении и перераспределении углерода на уровне индивидуальных растений и при различных режимах осадков. В ходе эмпирических наблюдений было установлено, что сложность ответной реакции растений на изменения режима осадков и связанные с этим изменения влажности почвы можно объяснить именно фактором индивидуальной конкуренции растений за водные ресурсы и свет. Обнаружилось, что повышение атмосферных концентраций CO₂ ведет к росту накопления углерода, позволяя растениям успешнее конкурировать за воду. Выражается это в перераспределении углерода между тканями растений: из короткоживущих тонких корней — в долгоживущую древесную биомассу. Таким образом, обратная реакция растений на избыточный CO₂ является сложной и зависящей от режима осадков, но предсказать ее можно. Авторы рассматривают данное исследование в качестве первого шага к созданию комплексной модели реакции растительного сообщества на все факторы изменения климата, а не только на режим осадков и концентрации CO₂ в атмосфере.

В.В. Стрекопытов

Массовое вымирание слабоизученных таксонов

Mass extinction in poorly known taxa. Claire Régnier, Guillaume Achaz, Amaury Lambert, Robert H. Cowie, Philippe Bouchet, Benoît Fontaine. PNAS. 2015. Vol. 112. No 25. P. 7761–7766.

С середины 1980-х годов постоянно звучит мнение о том, что глобальные экосистемы вступили в эпоху очередного массового вымирания, имеющего на этот раз антропогенную причину. Однако на сегодняшний день достоверно доказано полное исчезновение лишь 799 видов, что составляет 0,04% от 1,9 млн известных видов животных. Возможно, такие низкие цифры связаны с недооцененностью исчезновения слабоизученных видов беспозвоночных, составляющих основную массу (99%) видового разнообразия на планете. Авторы полагают, что, несмотря на тот факт, что многие позвоночные успешно выживают в эпоху антропоцена, беспозвоночные постепенно исчезают. Основываясь на изучении баз данных и музейных коллекций, а также на экспертных оценках,

ученые оценили видовые потери сухопутных улиток. Именно сухопутные улитки считаются животными с относительно хорошими показателями выживаемости. Но в ходе исследования выяснилось, что примерно десятая часть их видов уже исчезла (всего известно около 200 видов). На небольших островах обитает большое количество улиток-эндемиков, которые, вероятно, уже вымерли или находятся на грани вымирания. Их исчезновение не является типичным для других беспозвоночных отчасти из-за того, что многие виды попросту не были описаны исследователями. Экстраполируя на глобальный уровень результаты обработки данных, полученных двумя независимыми методами, авторы делают вывод о том, что около 7% (130 тыс. видов) неморских животных на сегодняшний день уже вымерли. Подобный исследовательский подход может помочь быстро и результативно определить скорость вымирания и других беспозвоночных, однако он не дает ответа на вопрос о том, каково количество безымянных и неизвестных видов исчезнут прежде, чем человечество вообще узнает об их существовании.

В.В. Стрекопытов

Мета-штрихкодирование ДНК позволило выявить отдельные пищевые ниши крупных африканских травоядных

DNA metabarcoding illuminates dietary niche partitioning by African large herbivores. Tyler R. Kartzinel, Patricia A. Chen, Tyler C. Coverdale, David L. Erickson, W. John Kress, Maria L. Kuzmina, Daniel I. Rubenstein, Wei Wang, Robert M. Pringle. PNAS. 2015. Vol. 112. No 26. P. 8019–8024.

Стратегия нишевого разделения позволяет различным видам животных успешно сосуществовать в условиях ограниченных пищевых ресурсов, что является одним из факторов, обеспечивающих биоразнообразие. Десятилетиями биологи пытались понять, каким образом сообщества крупных травоядных млекопитающих (large mammalian herbivores, LMH) делят между собой пищевые ресурсы общей территории. Было обнаружено несколько взаимодополняющих механизмов: раздельное потребление травянистых и нетравянистых растений, а также пространственно-временная стратификация, заключающаяся в использовании в пищу различных частей одного и того же растения. Однако традиционные методы не позволяли провести детальную идентификацию структурного разделения растительной пищи между различными видами травоядных животных. С помощью нового метода мета-штрихкодирования ДНК (метабаркодирования) материала фекалий, авторы провели оценку широты, состава и частичного совпадения диет для 7 главных видов LMH (6 диких и 1 домашнего), совместно обитающих в семиаридной зоне африканских саванн. Исследования проводились на территории научного центра Мпала в Кении. Среди изученных видов были как пастбищные, питающиеся исключительно травой, животные (два вида зебр, африканский буйвол и зебу), так и те, которые

предпочитают листья и побеги молодых деревьев и кустарников (слон, антилопа дик-дик и антилопа импала). Доля травы в рационе каждого вида оценивалась с помощью специального коэффициента средней последовательности RRA (relative read abundance), составляющего от > 99% для саванной зебры до < 1% для антилопы дик-дик. Результаты оценки с помощью RRA хорошо коррелируют с выводами, сделанными на основе изотопных методов, что говорит о высокой достоверности данного коэффициента. Наибольшее совпадение диет наблюдалось между видами, близкими по размеру тела и доле потребления травянистых растений. Тем не менее, для каждого из 7 изученных видов (даже для двух видов пастбищных животных, совпадающих по размеру, физиологии пищеварительной системы и ареалам обитания) выявлены свои собственные пищевые ниши. Так, слоны и антилопы питаются растениями, относящимися к семейству бобовых, а зебры – различными злаками. Были отмечены и более тонкие различия: например, антилопа дик-дик гораздо чаще, чем антилопа импала, употребляет в пищу растения семейства мальвовых, кроме того, дик-дики употребляют в пищу гораздо больше видов растений, чем другие изученные травоядные. Еще один пример: зебра Гриви и саванная зебра в общей сложности используют в пищу 45 видов растений, однако 15 из них поедаются только одной из двух зебр (10 – зеброй Гриви, 5 – саванной зеброй). Такое тонкое таксонометрическое пищевое разделение показывает, что классификации на основе обобщенных трофических схем могут служить причиной ошибочных выводов, касающихся аспектов конкуренции и сосуществования сообществ LMH на одной и той же ограниченной территории, а также – то, что биоразнообразие LMH более тесно связано с особенностями флоры ареалов их обитания, чем считалось до сих пор.

В.В. Стрекопытов

Адаптивное руководство, экосистемный менеджмент и природный капитал

Adaptive governance, ecosystem management, and natural capital. Lisen Schultz, Carl Folke, Henrik Österbloma, Per Olsson. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7369–7374.

Природный капитал является источником основных экосистемных услуг. В человеко-ориентированной среде эти услуги не производятся одной только экосистемой, а зависят от социально-экологических факторов. Адаптивное руководство природным капиталом отличается гибким процессом принятия решений при участии как государственных, так и не государственных субъектов деятельности на различных уровнях взаимодействия. К инструментам менеджмента натурального капитала можно отнести ООПТ (особо охраняемые природные территории), различные субсидии на охрану окружающей среды, квоты и правила. Чтобы проникнуть в суть эффективности адаптивного руководства природным капиталом, ученые сравнили три известных примера такого руководства: биосферный заповедник Кристианстадс Ваттенрике (Kristianstads Vattenrike) в Южной Швеции, Большой Барьерный риф в Австралии и рыбный промысел в Южном океане. В ходе исследований была проведена оценка изменений природного капитала и экосистемных услуг. Также исследовалась способность задействованных в адаптивном управлении субъектов реагировать на перемены и новые вызовы. Практика адаптивного руководства сравнивалась с другими мерами, направленными на сохранение и устойчивое пользование природным капиталом: «Натура 2000» (Natura 2000) в Европе, ловля лобстеров в заливе Мэн (Северная Америка) и общая политика ры-

боловства (Common Fisheries Policy) в Европе. Это сравнение показало, что в случаях адаптивного руководства развивались все условия для применения экосистемного менеджмента. Субъектам деятельности было доступно междисциплинарное сотрудничество в самых разнообразных отраслях, сферах интересов и институциональных организациях, что позволило обнаруживать перспективы и проблематику по мере их развития. Был охвачен местный и интернациональный уровень принятия решений, таким образом, представляя многоуровневую систему управления натуральным капиталом. Однако, как и в любой системе управления, влияние внутренних и внешних факторов ставит под сомнение долгосрочность успеха таких инициатив. Основные аргументы в пользу адаптивных подходов к управлению, заключаются в их способности поддерживать экосистемный менеджмент в достаточно гибком состоянии для рассматривания контекстуализированных социально-экологических проблем и приспособления к сложным непредсказуемым взаимодействиям социальной и экологической системы. В реальных примерах адаптивного руководства, как показали исследования, формируются соответствующие междисциплинарные знания, улучшается координация, согласование и сотрудничество между различными секторами на разных институциональных уровнях. Другими словами, адаптивное руководство включает непрерывный процесс обучения и развития сотрудничества на пути к общей цели. Такие инициативы постоянно подвергаются новым вызовам, будь то политические, экологические или экономические. Однако практика показывает, что адаптивный стиль руководства достаточно устойчив к таким изменениям и способствует совершенствованию управления природным капиталом.

Е.М. Степанова

Оценка числа видов тропических деревьев

An estimate of the number of tropical tree species. J. W. Ferry Slik, Víctor Arroyo-Rodríguez, Shin-Ichiro Aiba, et al. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7472–7477.

Для тропических лесов известно огромное количество видов деревьев, однако не понятно, какое количество из них до сих пор представлено на нашей планете. Международная группа из 170 специалистов, представляющих 126 исследовательских учреждений, под руководством ученых из Смитсоновского института провела масштабный анализ исследований, изучающих различные виды тропических деревьев, произрастающих в разных регионах земного шара. Анализ касался деревьев, обитающих в 207 регионах Африки, Америки и Индо-Тихоокеанского региона. Данные по каждому региону содержали информацию минимум о 250 различных видах растений, а в целом были проанализированы сведения

о 657 630 деревьях, принадлежащих к 11 371 виду. Используя статистические методы биометрии Фишера, авторы оценили количество видов современных тропических деревьев на уровне 53 тысяч, что на 13 тыс. видов больше, чем считалось ранее. Для сравнения, биосистемы умеренного пояса Европы насчитывают всего 124 вида деревьев. Древесная флора континентальной Африки оказалась неожиданно бедной (4,5-6 тыс. видов), а биоразнообразию Индо-Тихоокеанского региона, вопреки всеобщему убеждению, нисколько не уступает Неотропике. В каждом из этих регионов присутствуют минимум 19-25 тыс. видов деревьев. При этом очень малое количество видов имеют пантропическое распространение, присутствуя одновременно во всех жарких и влажных регионах планеты. Данное исследование можно рассматривать в качестве методологической основы для оценки биоразнообразия регионов, как для древесной флоры, так и для других, зависящих от нее, таксонов.

В.В. Стрекопытов

Пространственные паттерны определяют влияние расширения сельхозугодий на биоразнообразие и хранение углерода

Spatial patterns of agricultural expansion determine impacts on biodiversity and carbon storage. Rebecca Chaplin-Kramer, Richard P. Sharp, Lisa Mandle, Sarah Sim, Justin Johnson, Isabela Butnar, Llorenç Milà i Canals, Bradley A. Eichelberger, Ivan Ramler, Carina Mueller, Nikolaus McLachlan, Anahita Yousefi, Henry King, Peter M. Kareiva. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7402–7407.

Сельское хозяйство представляет собой главный фактор преобразования земель и, как следствие, — серьезную угрозу для уровня биоразнообразия и экосистемных услуг (ЭУ), жизненно важных для человеческой деятельности. Рост и развитие сельского хозяйства продолжает ускоряться: предполагается, что в ближайшие 40 лет площади мировых сельхозугодий будут увеличены на 200-300 млн га. Учитывая темпы роста давления на окружающую среду, крайне важно выявить возможные пути удовлетворения спроса на сельскохозяйственную продукцию в сочетании с сохранением важнейших экосистем и минимизацией общего воздействия. Для достижения поставленной задачи, влиятельные ми-

ровые субъекты, такие как корпорации и правительства, создают разного рода политики, инициативы и соглашения, регламентирующие развитие сельскохозяйственной отрасли. Современные модели, оценивающие влияние расширения сельскохозяйственных угодий на биоразнообразие и ЭУ, как правило, предполагают линейную зависимость между рассматриваемыми параметрами. Тем не менее, данная зависимость, как правило, не линейна и может существенно изменяться в зависимости от пространственных паттернов. В данном исследовании авторы демонстрируют потенциал пространственно-явного анализа для оценки влияния крупномасштабного расширения сельхозугодий по сравнению с простой оценкой общей площади преобразования. Используя методы простого моделирования, авторы на примере двух регионов Бразилии установили, что показатели снижения биоразнообразия и объемов углерода, в зависимости от пространственных паттернов преобразования, могут существенно различаться. Также выявлено, что наиболее быстро влияние растет на самых ранних стадиях расширения сельхозугодий. Данное исследование подтверждает важность пространственно-явной информации в процессе оценки последствий изменений в землепользовании для будущего управления и сохранения земельных ресурсов.

Д.Р. Низин

Рост внутриконтинентальной сейсмичности в США связан с эксплуатацией высокопроизводительных водонагнетательных скважин

High-rate injection is associated with the increase in U.S. mid-continent seismicity. M. Weingarten, S. Ge, J. W. Godt, B. A. Bekins, J. L. Rubinstein. Science. 2015. Vol. 348. No 6241. P. 1336–1340.

Беспрецедентный рост землетрясений во внутриконтинентальной части США начался в 2009 г. Наибольшее число землетрясений в последние десятилетия зафиксировано в штатах Техас, Арканзас и, особенно, Оклахома. Многие из этих землетрясений были спровоцированы эксплуатацией водонагнетательных скважин, что документально подтверждено. Авторы исследовали почти 200 тыс. скважин для нефте- и газодобычи, пробуренных за последние 40 лет в центральных и западных штатах США, и пришли к выводу, что рост числа землетрясений связан с закачкой нефтяными и га-

зовыми компаниями соленых вод под землю в процессе добычи полезных ископаемых. При использовании новых технологий добычи нефти и газа, таких как гидроразрыв пласта, остатки сточных вод закачиваются в грунт. Прежде всего влияют на возникновение землетрясений высокопроизводительные скважины, при эксплуатации которых под землю закачивается более 45 млн литров соленой воды ежемесячно. Из всех обследованных скважин примерно десятая часть оказалась связанной с возникновением землетрясений. И это как раз скважины с наибольшим оборотом воды. Авторы делают выводы о том, что именно высокая нагрузка при большом объеме и скорости закачки является главным фактором риска. Прочие факторы, такие как кумулятивный объем закачки, давление на устье скважины, ее глубина и близость к кристаллическому фундаменту, не обнаруживают четкой корреляции с частотой землетрясений. Ученые призывают нефтегазовые компании пересмотреть технологии добычи, чтобы избежать возникновения новых землетрясений в стране.

В.В. Стрекопытов

Об экономической конкурентоспособности органического земледелия в мировом масштабе

Financial competitiveness of organic agriculture on a global scale. David W. Crowder, John P. Reganold. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7611–7616.

Проблема повышения глобальной продовольственной безопасности и безопасности экосистем требует инновационных методов ведения сельского хозяйства с лучшим балансом многочисленных целей устойчивого и природосберегающего развития, среди которых выделяется органическое земледелие. В работе исследован вопрос его экономической конкурентоспособности с традиционным земледелием, для чего впервые синтезирована собранная из разных регионов мира информация, отражающая основные факторы, определяющие рентабельность органического земледелия. В исследовании проверены финансовые показатели обеих систем земледелия путем мета-анализа подборки данных, охватывающей 55 сельхозкультур, выращенных на пяти континентах.

В число оценивавшихся экономических параметров вошли затраты на производство продукции, валовая прибыль, отношение выгод к затратам и чистая приведенная стоимость. В частности, анализ показал, что в случаях, когда не применялись сопутствующие органической продукции надбавки к цене, отношения выгод к затратам (от -8 до -7%) и чистая приведенная стоимость (от -27 до -23%) при органическом земледелии были значительно ниже, чем при традиционном. Однако при применении действительных надбавок к цене органическое земледелие оказалось значительно более рентабельным (22-35%) и имело более высокие отношения выгод к затратам (20-24%) по сравнению с традиционным. При проведении мета-анализа не принимались в расчет ни экологические затраты, ни так называемые экосистемные сервисы. Результаты сравнения показателей продемонстрировали, что в целом органическое земледелие значительно выгоднее традиционного. Полученная информация позволяет предположить, что существует потенциал для расширения органического земледелия и увеличения его доли в продовольственном обеспечении в мировом масштабе.

Д.Ю. Драгункин

Сохранение тропического биоразнообразия при помощи рыночных и географических факторов

Conserving tropical biodiversity via market forces and spatial targeting. Ian J. Bateman, Emma Coombes, Emily Fitzherbert, Amy Binner, Tomáš Baďura, Chris Carbone, Brendan Fisher, Robin Naidoo, Andrew R. Watkinson. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7408–7413.

Пальмовое масло сегодня знакомо каждому потребителю: оно присутствует примерно в половине товаров, которые лежат на полках супермаркетов, в том числе во многих пищевых (маргарине, хлебе, мороженом, печенье) и косметических продуктах (помаде, шампунях, мыле, моющих средствах). При этом ученые доказали, что оно негативно влияет на организм. Также пальмовое масло используют в качестве биотоплива. Производят его в огромных количествах из масличных пальм (*Elaeis guineensis*), главным образом произрастающих на территории Юго-Восточной Азии и Африки. Однако превращение тропических лесов в плантации масличных пальм приводит к исчезновению огромного количества видов растений и животных, в том числе тигров, слонов, носорогов и орангутанов. Авторы обследовали пальмовые плантации, питомники и леса на индонезийском острове Суматра, где тропические леса были вытеснены плантациями, что ожидаемо привело к значительному снижению биоразнообразия. Исследователи установили, что участки, расположенные рядом с существующими лесами, лучше не использовать под плантации, а сокращение участков, расположенных вдали от дорог, меньше ударяет по прибыли компаний. Исследователи проанализировали финансовое состояние крупных компаний, занимающихся поставками пальмового масла, чтобы определить воз-

действие сохранения биоразнообразия на прибыль. Также они выяснили размер платы, которую власти могут обоснованно взимать с компаний для программ по сохранению видов. Используя эти данные, авторы создали модель, которая поможет решить две противонаправленные задачи: 1) удовлетворить растущий спрос на продукты питания, косметику, топливную продукцию и 2) остановить потери биоразнообразия нашей планеты. Как первый шаг в решении этого вопроса, авторы определили параметры компромиссных областей, которые будут способствовать сохранению биоразнообразия, и не слишком увеличат затраты компаний. Помимо всего прочего, результаты показали, что покупатели готовы платить больше за товары с пальмовым маслом (это было проверено экспериментальным путем), даже несмотря на то, что пальмовое масло вредит организму. Покупатели были готовы платить на 15-56% больше за то пальмовое масло, которое было изготовлено с учетом сохранения биоразнообразия. Повышение цен с лихвой покрывает расходы компаний на предоставление охраны земель. При этом даже в регионах с низкой производительностью повышенная на 15% цена может позволить сохранить до 6 тыс. га леса из 32 тыс. га, отведенных под плантации. Данное исследование крайне важно, так как пятая часть позвоночных в мире находится в данный момент под угрозой исчезновения. Одна из главных причин лежит в изменении способов землепользования, расширении сельского хозяйства и плантаций. Так, преобразования в сельском хозяйстве сокращают тропические леса примерно на 13 млн га ежегодно, а это значит, что многие виды теряют свою привычную среду обитания. Поэтому необходимо искать решения, которые будут минимизировать негативное влияние сельского хозяйства и промышленности на биоразнообразие.

В.В. Стрекопытов

Антропология и история

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

Body composition in *Pan paniscus* compared with *Homo sapiens* has implications for changes during human evolution. Adrienne L. Zihlman, Debra R. Bolter. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7466–7471.

В результате естественного отбора человеческое тело эволюционировало на протяжении последних 4-5 млн лет. В основном происходила адаптация тела к передвижению на двух задних конечностях. Параллельно шло увеличение размеров головного мозга, относительный размер которого у *Homo sapiens* в 3 раза больше, чем у приматов. Существует так называемая «гипотеза дорогих тканей», основанная на постулате о взаимосвязи между питанием и энергетической потребностью мозга. Согласно этой гипотезе, из-за того что мозг является метаболически высокопотребляемым органом, у раннего человека произошло сокращение объемов других тканей и органов, прежде всего, желудочно-кишечного тракта. Существует и другая гипотеза, утверждающая, что у австралопитеков тело содержало жира не меньше, чем у ранних *Homo sapiens*, — охотников и собирателей. Изменения в составе тканей тела невозможно проследить по окаменелостям, так как ископаемые останки ранних людей и их предков-приматов представляют собой лишь кости, составляющие максимум 15% от массы тела, и зубы. Площадь кожи, запасы жира и мышечная масса в организме человека совсем иные, нежели у его ближайших родственников среди приматов, и эти различия позволили бы прояснить важнейшие эпизоды эволюции *Homo sapiens*. Поэтому авторы статьи

сравнили ткани человека и его ближайшего родственника среди обезьян — *Pan paniscus* (карликового шимпанзе или бонобо). Ученые препарировали трупы 13 бонобо, скончавшихся по естественным причинам, и сравнили их мягкие ткани с человеческими. Выяснилось, что состав тела у человека и карликового шимпанзе очень разный. У *Pan paniscus* 10-13% массы тела составляет кожа, в то время как у человека этот показатель составляет всего 6%. Также у людей гораздо больше жира — 36% от массы тела у женщин и 20% у мужчин, против 4% и почти 0% у самок и самцов бонобо, соответственно. Зато мышечная масса у шимпанзе составляет значительную долю от массы тела. Особенно много мышц у них в верхней части тела, задействованной в передвижении по деревьям. Таким образом, человека отличает от обезьян повышенное содержание жира, сниженная мышечная масса и меньшая площадь кожи. Кроме того, по сравнению с другими приматами у человека изменилось распределение мышечной массы: она сдвинулась в область нижних конечностей. В свое время предки человека переместились из области тропических лесов на открытые пространства саванн. Смешанная растительность, перепады в количестве осадков и сезонный дефицит пищи заставили организм гоминид перестроиться и перейти на специфическую диету, позволяющую запасать жиры на случай голода. Кроме того, самкам жир позволял более эффективно вынашивать плод и кормить детей. Снижение мышечной массы сопутствовало переходу к прямохождению: предки человека начали ежедневно перемещаться на большие расстояния в поисках пищи. Именно прямохождение привело к перераспределению мышц в область бедер. Наконец, расправившаяся кожа способствовала теплообмену, защите клеток от солнца и повышению иммунитета.

В.В. Стрекопытов

Новая хронология находок из Ксар Акил (Ливан) подтверждает гипотезу ближневосточного маршрута распространения современного человека в Европу

New chronology for Ksar 'Akil (Lebanon) supports Levantine route of modern human dispersal into Europe. Marjolein D. Bosch, Marcello A. Mannino, Amy L. Prendergast, et al. PNAS. 2015. Vol. 112. No 25. P. 7683–7688.

Считается, что проникновение анатомически современного человека в Европу началось в позднем палеолите — 50–40 тыс. лет назад. Так называемая гипотеза Левантийского коридора предполагает, что предки европейцев из Африки двигались в Европу через Ближний Восток. Археологический сайт Ксар Акил в Ливане является одним из важнейших объектов эпохи палеолита в Евразии. Здесь позднепалеолитические слои содержат большие количества человеческих останков и артефактов. Последние определения возраста находок, основанные на результатах радиоуглеродного датирования, показали, что орнаментирован-

ные раковины из Ксар Акил были изготовлены позднее, чем началось распространение культуры позднего палеолита в Европе, что поставило под сомнение гипотезу Левантийского коридора. В статье сообщается о результатах радиоуглеродного датирования раковин морских гастропод *Phorcus turbinatus*, которые были найдены в Ксар Акил совместно с человеческими останками и позднепалеолитическими каменными орудиями. Полученные результаты позволили переоценить возраст скелета Эгберт и человеческой верхней челюсти Этельруда — двух самых знаменитых находок из Ксар Акил. Возраст скелета авторы оценивают в 43,2–42,3 тыс. лет, а возраст челюсти — около 45,9 тыс. лет. Такие датировки полностью согласуются с возрастом других ближневосточных находок и подтверждают, что люди из Ксар Акил предшествовали по времени первым позднепалеолитическим *Homo sapiens* в Европе. Это, с одной стороны, подтверждает гипотезу о том, что распространение *Homo sapiens* в Европу происходило через ближневосточный коридор, а с другой, — предполагает, что это распространение было очень быстрым и имело место в период между 50 и 40 тыс. лет назад.

В.В. Стрекопытов

Биология

Совместные регуляторные программы предполагают сохранение потенциала на стадии бластулы в клетках нервного гребня

Shared regulatory programs suggest retention of blastula-stage potential in neural crest cells. Elsy Buitrago-Delgado, Kara Nordin, Anjali Rao, Lauren Geary, Carole LaBonne. Science. 2015. Vol. 348. No 6241. P. 1332–1335.

Процесс эмбриогенеза начинается с тотипотентной оплодотворенной яйцеклетки. Последующее развитие характеризуется прогрессирующим ограничением потенциала клеток. Усилия многих ученых были направлены на изучение механизмов развития, с помощью которых классическая эмбриональная индукция приводит к образованию нервного гребня, чьи клетки обладают большим потенциалом развития, чем те, от которых они были получены в ходе эмбриогенеза или эволюции. Основными факторами плюрипотентности бластулы у млекопитающих являются транскрипционные факторы *Pou5F1 (Oct4)*, *Sox2* и *Nanog*. Эксплантированные клетки полюсов бластулы животных полностью сохраняют потенциал развития до начала гаструляции, когда они теряют компетентность формирования мезодермы и энтодермы. Учитывая, что регуляторные факторы потенции нервного гребня экспрессируются совместно с основными факторами плюрипотентности клеток бластулы, авторы выяснили, что поддерживать экспрессию данных факторов функционально необходимо. Обнаружено, что совместно с основными факторами плюрипотентности экспрессируются факторы *Id3*, *TF-AP2*, *Ets1*, *FoxD3* и *Snail1*. Поскольку факторы *Snail* играют эндогенную роль в формировании мезодермы, был выяснен их вклад в плюрипотентность. Оказалось, что клетки бла-

стулы, лишённые функционирования *Snail1*, теряют способность к образованию энтодермы. Учитывая, что факторы потенции нервного гребня экспрессируются в плюрипотентных клетках бластулы и требуются для экспрессии основных факторов плюрипотентности, авторы также исследовали связь между состоянием нервного гребня и состоянием плюрипотентной бластулы. Как и предсказывалось, экплантаты, обработанные на стадии бластулы индуцирующей формирование мезодермы концентрацией активина, усиленно экспрессируют специфический для мезодермы ген *MyoD*, но если экплантаты находились до обработки на стадии гаструлы, они были не в состоянии сформировать мезодерму. Если такая связь существует, то можно предположить, что клетки, изолированные от границы области нервной пластинки интактного эмбриона на стадии нейрулы, также должны проявлять широкий потенциал развития, включая способность образовывать мезодерму и энтодерму. Предыдущие модели формирования нервного гребня утверждают, что индуктивные взаимодействия наделяют эти клетки более высоким потенциалом развития, чем те, из которых они были получены в ходе развития или эволюционно. Предложенная авторами модель соответствует и помогает объяснить более ранние исследования эмбрионов птиц, которые обнаружили экспрессию генов, связанных с состоянием нервного гребня (например, *Pax7*) в эпибласте в начале гаструлы. Модель формирования клеток нервного гребня, предлагаемая здесь, дает основу для будущего изучения раннего эволюционного происхождения этих клеток. Исследования аспектов плюрипотентности компонентов этой модели должны пролить свет на то, когда и как плюрипотентность сохраняется в клетках, которые дают начало нервному гребню и, таким образом, дают более полное понимание эволюции позвоночных животных.

Н.В. Карпов

Молекула CD15s – маркер высокодифференцированных и супрессивных регуляторных Т-клеток человека с высоким содержанием FOXP3

Sialyl Lewis x (CD15s) identifies highly differentiated and most suppressive FOXP3^{high} regulatory T cells in humans. Makoto Miyara, Driss Chader, Edouard Sage, Daisuke Sugiyama, Hiroyoshi Nishikawa, Diane Bouvry, Laetitia Claër, Ravi Hingorani, Robert Balderas, Jurg Rohrer, Noel Warner, Alain Chapelier, Dominique Valeyre, Reiji Kannagi, Shimon Sakaguchi, Zahir Amoura, Guy Gorochov. PNAS. 2015. Vol. 112. No 23. P.7225–7230.

CD4⁺-регуляторные Т-клетки (Трег-клетки), экспрессирующие CD25 и транскрипционный фактор FOXP3 необходимы для поддержания гомеостаза иммунной системы. Однако у человека FOXP3⁺CD25⁺CD4⁺-Т-клетки различаются по статусу дифференцировки и функциям. Различают супрессивные и несупрессивные клетки, а также активные и покоящиеся клетки. В данном исследовании с помощью набора моноклональных антител был проведен поиск поверхностных маркеров супрессивных Трег-клеток. Так было показано, что молекула CD15s характерна для активированных, полностью дифференци-

рованных и в большинстве случаев супрессивных (эффektorных) Трег-клеток и ее поверхностная экспрессия позволяет отличить их от несупрессивных клеток, секретирующих воспалительные цитокины. Например, при саркоидозе наблюдалась повышенная численность CD15s⁺FOXP3⁺-Т-клеток, тогда как при волчанке возрастало число CD15s⁺FOXP3⁺-Т-клеток. FOXP3⁺-Т-клетки, полученные из обычных CD4⁺-Т-клеток путем стимуляции Т-клеточных рецепторов, почти не экспрессировали CD15s. Также методом ELISPOT было показано, что для индукции и усиления иммунных ответов против опухолей и вирусов *in vitro* достаточно удалить CD15s⁺CD4⁺-Т-клетки из крови. От донорских CD4⁺-Т-клеток отделили CD15s⁺-Т-клетки, и оставшиеся стимулировали в течение 20 дней с использованием пептидов, полученных из антигена раковых клеток NY-ESO-1, или цитомегаловирусного антигена. В обоих случаях наблюдался мощный ответ против антигенов. Таким образом, была показана роль CD15s как наглядного биомаркера фенотипических и функциональных свойств субпопуляций FOXP3⁺CD4⁺-Т-клеток в норме и патологии. Полученные результаты позволяют специфически воздействовать на эффекторные Трег-клетки, а не на все FOXP3⁺CD4⁺-Т-клетки для контроля иммунных ответов.

А.Л. Братцева

Половой отбор защищает от вымирания

Sexual selection protects against extinction. Alyson J. Lumley, Łukasz Michalczyk, James J. N. Kitson, et al. Nature. 2015. Vol. 522. No 7557. P. 470–473.

Половое размножение широко распространено в природе, хотя бесполое, казалось бы, и проще, и эффективнее. Одно из преимуществ полового размножения предположительно состоит в том, что оно вводит в действие особую форму отбора — половой отбор, помогающий «обычному» естественному отбору очищать генофонд от вредных мутаций. Результаты 7-летнего эволюционного эксперимента на жуках (малых булавоусых хрущаках) *Tribolium castaneum* показали, что половой отбор действительно способствует уменьшению генетического груза и предохраняет популяцию от вымирания. Те из подопытных популяций, в которых на каждую самку приходилось по несколько самцов (а значит, была возможность выбора и мог работать половой отбор), накопили меньше рецессивных вредных мутаций, чем популяции с такой же численностью, но без избытка самцов. Эксперимент проводился в двух вариантах (А и В). В каждом варианте участвовало по шесть популяций. В трех из них были созданы благоприятные условия для полового отбора, в трех других половой отбор был затруднен или вовсе невозможен. Интенсивность полового отбора определялась соотношением самцов и самок. Все прочие условия, включая эффективную численность популяции, были одинаковыми в пределах каждого варианта. В варианте А в каждом поколении в размножении участвовали либо 10 самок и 90 самцов (сильный половой отбор), либо наоборот, — 90 самок и 10 самцов (слабый половой отбор). В варианте В каждая популяция на стадии размножающихся взрослых жуков состояла либо из 20 моногамных пар (случайно выбранные самка и самец), либо из 12 групп, включавших одну самку и пять самцов. В первом случае возможность

полового отбора была полностью исключена. По окончании основной фазы эволюционного эксперимента, которая продолжалась 7 лет, авторы потратили еще 3 года, чтобы оценить накопленный подопытными популяциями генетический груз. Делалось это путем измерения инбредной депрессии — снижения приспособленности потомства при близкородственных скрещиваниях. Существует две основные причины инбредной депрессии. Обе они связаны с тем, что инбридинг повышает уровень гомозиготности потомства. При этом, чем больше поколений продолжается инбридинг, тем выше гомозиготность. Авторы произвели от каждой подопытной популяции моногамные семьи, состоящие из случайно выбранных братьев и сестер. В общей сложности было протестировано по 108 таких семей из популяций с половым отбором и столько же — из популяций без полового отбора. Из потомства каждой пары опять выбирали случайным образом брата и сестру, скрещивали их друг с другом, и так далее — в течение 20 поколений. Инбридинг вел к неуклонному снижению плодовитости, и в конце концов наступал момент, когда семья вообще не могла произвести потомства. Такая семья считалась «вымершей». Оказалось, что популяции жуков, подвергавшиеся в основной фазе эксперимента усиленному половому отбору, намного устойчивее к инбридингу, чем те, у которых половой отбор был ослаблен или исключен. Полученные результаты — веский аргумент в пользу того, что половой отбор действительно является эффективным средством очистки генофонда от вредных мутаций, что в долгосрочной перспективе снижает вероятность вымирания популяции. Это может быть одной из причин того, что половое размножение и раздельнополость упорно сохраняются в ходе эволюции, несмотря на то, что переход к бесполому размножению или партеногенезу дает раздельнополым организмам двойной выигрыш в скорости размножения.

В.В. Стрекопытов

Самовосстановление симметрии у медуз происходит путем механической реорганизации

Self-repairing symmetry in jellyfish through mechanically driven reorganization. Michael J. Abrams, Ty Basinger, William Yuan, Chin-Lin Guo, Lea Goentoro. PNAS. 2015. Vol. 112. No 26. E3365–E3373.

Способность к регенерации утраченных конечностей является характерной чертой многих морских беспозвоночных. Считалось, что этой особенностью обладают и медузы. Изучая регенеративные способности молодых медуз вида ушастая аурелия (*Aurelia aurita*), авторы стали свидетелями удивительного процесса. Когда у медузы удалили две конечности из восьми, вместо того чтобы отрастить два новых щупальца, существо перемещало свои шесть оставшихся конечностей по телу до тех пор, пока они не распределились по нему равномерно. Мышцы тела медузы во время плавания толкали и передвигали щупальца таким образом, чтобы восстановить симметрию, а именно симметрия имеет решающее значение для движения ушастых аурелий. Это абсолютно новое, неизвестное ранее, явление авторы назвали симметризацией. Медузы часто страдают от

травм (в том числе нанесенных хищниками), и симметризация является важным способом восстановления функций. Как оказалось, на восстановление симметрии тела у медуз уходит от 12 часов до 4 дней. После того, как ученые убедились на целом ряде экспериментов (в том числе, разрезая восьминогих медуз пополам), что они имеют дело именно с симметризацией, авторы постарались выяснить, как именно животное управляет этим процессом. Для этого они провели серию экспериментов по изучению внутренней мускулатуры медуз. После ввода мышечного релаксанта, не позволявшего мышцам работать в нормальном режиме, аурелии перестали контролировать процесс выравнивания симметрии. Когда искусственно усилили мышечные импульсы, самовосстановление пошло быстрее обычного. Восстановление симметрии имеет решающее значение для морских животных, так как асимметричным медузам значительно тяжелее передвигаться в воде и добывать пищу. Таким образом, в данном случае речь идет не о замене утраченных частей тела (регенерации в чистом виде), а о перераспределении функций. Полученные результаты дают новую информацию, которую можно использовать как в области регенеративной медицины, так и при создании новых биотехнологий и биоматериалов.

В.В. Стрекопытов

Значение бессимптомного распространения инфекции huanglongbing в процессе борьбы с заболеванием

Asymptomatic spread of huanglongbing and implications for disease control. Jo Ann Lee, Susan E. Halbert, William O. Dawson, Cecile J. Robertson, James E. Keesling, Burton H. Singer. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7605–7610.

Huanglongbing (HLB) или заболевание позеленения цитрусовых представляет собой бактериальную инфекцию, создающую серьезную угрозу для цитрусовой промышленности Флориды, Техаса и Калифорнии. Основные симптомы данного заболевания – пожелтение побегов, крапчатость листьев, а также однобокость плодов; в конечном счете, инфицированные ветви отмирают, а дерево погибает. Предполагаемым возбудителем HLB являются расположенные во флоэме альфа-протеобактерии *Candidatus Liberibacter asiaticus* (Ca Las), передающиеся за счет листоблошек *Diaphorina citri* Kuwayama. Смягчение последствий HLB, как правило, осуществляется за счет распыления инсектицидов с целью уменьшения численности листоблошек, а также устраниения деревьев при первом

же проявлении симптомов заболеваний. Однако эти меры сравнительно неэффективны, поскольку симптомы HLB проявляются на листьях с определенной задержкой – от нескольких месяцев до нескольких лет. Распространение болезни в бессимптомной фазе практически не изучено. Так, до настоящего времени не был установлен период времени, проходящий с момента первичного инфицирования развивающегося кластера молодых листьев до того, как он становится заразным. В данном исследовании авторами представлены экспериментальные доказательства того, что данный кластер молодых листьев становится заразным в течение 15 суток после получения инокулята *Ca Las*. На основании этого факта, предложена микросимуляционная модель бессимптомного распространения и интенсивности заболеваний в роще цитрусовых деревьев. Экспериментально установлено, что вся роща может быть заселена более чем 12 000 листоблошек на дерево менее чем за 1 год, без выявления каких либо симптомов. Авторами предложены стратегии вмешательства, позволяющие снизить численность популяции листоблошек на 75%, что может отсрочить инфицирование всей рощи и, как следствие, уменьшить количество используемого в течение года инсектицида.

Д.Р. Низин

Шаперон гистоновых белков Anp32e удаляет H2A.Z из мест двуцепочечных разрывов и способствует реорганизации нуклеосомы и репарации молекулы ДНК

Histone chaperone Anp32e removes H2A.Z from DNA double-strand breaks and promotes nucleosome reorganization and DNA repair. Ozge Gursoy-Yuzugullu, Marina K. Ayrapetov, Brendan D. Price. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7507–7512.

Репарация двуцепочечных разрывов ДНК происходит при условии локальной перестройки хроматина. Эта реорганизация необходима для осуществления доступа к местам повреждения ДНК, создания матрицы для белков, участвующих в репарации и упаковки хроматина. Реорганизация структуры хроматина в сместах двуцепочечных разрывов ДНК связана с посттрансляционной модификацией гистоновых белков. Так, появление двуцепочечных разрывов приводит к активации различных киназ, фосфорилирующих многочисленные белки репарации ДНК, включая гистоновый белок H2A.X. Репарация двойных разрывов в молекуле ДНК происходит в результате открытия гибких доменов хроматина с помощью белкового комплекса NuA4–Tip60, состоящего из 16 субъединиц, среди которых выделяются две основные субъединицы АТФаза SWI/SNF и ацетилтрансфераза Tip60. Образование гибких хроматиновых структур происходит в результате расположения гистона H2A.Z на нуклеосомах и промотирования ацетилирования гистона H4. В настоящей работе авторы показали, что накопление H2A.Z на нуклеосомах в местах двойных разрывов ДНК имеет временный характер и для осуществления репарации ДНК необходимо быстрая eviction H2A.Z. Показано, что белок Anp32e, который является шапероном гистона H2A.Z, взаимодействуя с С-концевым

доменом H2A.Z, быстро рекрутируется на сайты двойных разрывов. Авторы выяснили, что основной ролью Anp32e является удаление гистона H2A.Z из нуклеосом и уровни H2A.Z возвращаются к исходным уровням в течение 10 минут после повреждения ДНК. Более того, удаление H2A.Z шапероном Anp32e приводит к нарушению ингибирующих взаимодействий хвостовой части гистона H4 и поверхностью нуклеосомы и повышению уровня ацетилирования этого гистона после повреждения ДНК. В случае блокирования удаления H2A.Z шапероном Anp32e, повышенные уровни H2A.Z на нуклеосомах в местах двойных разрывов сохраняются. При этом гистоновый белок принимает более стабильную, гиперацетилированную конформацию. Более того, авторами было показано, что потеря шаперона Anp32e вызывает повышенную CtIP-зависимую резекцию концов, накопление одноцепочечной ДНК и усиление процесса репарации через альтернативный путь соединения негомологичных концов. По мнению авторов, сосредоточение гистона H2A.Z на хроматине и последующее быстрое его удаление с помощью шаперона Anp32e играет критическую роль на ранних стадиях процессинга хроматина, включая способствование ацетилированию гистона H4. В результате этих событий образуются открытые ацетилированные структуры нуклеосом и осуществляется контроль резекции концов с помощью белка CtIP. На основании полученных результатов авторы подчеркивают особую роль поверхности нуклеосом во время репарации ДНК, образующей место связывания ключевых белков, вовлеченных в ранние события процесса репарации двуцепочечных разрывов. Для успешной репарации двуцепочечных разрывов необходимо соблюдение точного времени и порядка осуществления эпигенетических модификаций и реорганизации нуклеосом в местах двуцепочечных разрывов.

И.М. Мохосев

Двухуровневое ингибирование экспрессии *galK* с помощью Spot 42: деградация мРНК mK2 и усиленная терминация транскрипции на участке, расположенном перед геном *galK*

Two-level inhibition of *galK* expression by Spot 42: Degradation of mRNA mK2 and enhanced transcription termination before the *galK* gene. Xun Wang, Sang Chun Ji, Heung Jin Jeon, Yonho Lee, Heon M. Lim. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7581–7586.

У *Escherichia coli* *gal*-оперон устроен следующим образом: Pgal-galE-galTgalK-*alM*. На ранних стадиях логарифмического роста устанавливается градиент экспрессии генов (galE > galT > galK > galM), называемый как полярность 2-ого типа. Однако во время поздних стадий роста устанавливается другой порядок экспрессии генов (полярность 1 типа), а именно, galE > galK > galT > galM, при котором galK превышает galT. Также известно, что у бактерий малые РНК (sRNAs) связываются с определенными мРНК (mRNA), являющимися их мишенями, и оказывают влияние на их экспрессию. Во многих случаях связывание sRNA с mRNA происходит при участии Hfq, гомогекамерного бактериального Sm-подобного белка. Если сайт связывания sRNA на мРНК перекрывается с последовательностью Шайн-Дальгарно (SD), то наблюдатся конкуренция между sRNA и рибосомой за связывание с мРНК. При доминировании связывания sRNA происходит деградация мРНК-мишени с помощью РНКазы E-опосредованной деградосомы. Связывание sRNA с SD последовательностью на мРНК приводит к образованию свободного от рибосомы участка на 5'-конце последовательности мРНК. По этой причине не происходит инициации трансляции *de novo* translation. В некоторых случаях на этом свободном от рибосомы участке распо-

лагается сигнал Rho-зависимой терминации транскрипции и связывание sRNA вызывает терминацию транскрипции с помощью белка Rho. Spot 42 представляет собой вид малой РНК (sRNA), который впервые был обнаружен у *E. coli* в 1973 г. Позднее он был идентифицирован как первичный транскрипт гена *spf* длиной в 109 нуклеотидов. Связывание Spot 42 с его мРНК-мишенью приводит к даун-регуляции экспрессии *galK*. Было установлено, что связывание Spot 42 с *galK* происходит с участием Hfq и Spot 42 способен понижать продукцию белка GalK. В целом, установлено, что клетки *E. coli* во время экспоненциальной фазы роста продуцируют из *gal*-оперона шесть различных видов мРНК. В настоящей работе авторы установили, что полярность 2 типа возникает вследствие понижения экспрессии (даун-регуляции) *galK*, что вызвано двумя различными молекулярными механизмами: Spot 42-опосредованной деградацией *galK*-специфичной мРНК, mK2, и Spot 42-опосредованной, Rho-зависимой терминацией транскрипции на концевом участке galT. В связи с тем, что концентрация Spot 42 резко падает во время переходного периода при переключении типа полярности, полученные результаты свидетельствуют о том, что полярность 1 типа является результатом ослабления Spot 42-опосредованной даун-регуляции *galK*. Было показано, что Spot 42 усиливает Rho-зависимую терминацию транскрипции на конце гена *galT*, что является первым случаем функционирования sRNA на 3'-конце РНК-мишени. Так как участок связывания Spot 42 перекрывается с двумя функциональными участками: the сайтом связывания рибосомы для *galK* и богатым цитозином участком сайтом связывания Rho, авторы пришли к выводу об уникальном молекулярном механизме, приводящем к Rho-зависимой терминации транскрипции на узле меду цитронами внутри мультицистронового оперона.

И.М. Мохосоев

Нарушение ионного баланса в сочетании с молекулярным краудингом приводит к уменьшению динамики цитоскелета и подвижности везикул во время гипертонического стресса

Ionic imbalance, in addition to molecular crowding, abates cytoskeletal dynamics and vesicle motility during hypertonic stress. Paula Nunes, Isabelle Roth, Paolo Meda, Eric Féraille, Dennis Brown, Udo Hasler. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. E3104–E3113

Все клетки животных поддерживают постоянный объем и постоянный состав электролитов. Так, ион калия (K⁺) является основным внутриклеточными катионом, в то время как ионы натрия (Na⁺) поступают в клетку из окружающей среды. Концентрация этих ионов внутри клеток контролируется транспортными механизмами, протекающими с участием Na⁺/K⁺-АТФазы. Ион хлора (Cl⁻), в свою очередь, является основным анионом, расположенным во внеклеточном пространстве, и его концентрация цитозоле клеток поддерживается на относительно невысоком уровне (5–40 мМ) за счет функционирования различных мембранных транспортеров, включая CFTR (cystic fibrosis transmembrane conductance regulator) и членов семейства чувствительных к напряжению Cl⁻-каналов. Все вместе эти ионы не только поддерживают объем клетки и биологически совместимую внутриклеточную среду, но также они позволяют пассивное диффузионное движение ионов по электрохимическому градиенту. Различные условия окружающей среды могут привести к возникновению дисбаланса электролитов, что может вызвать изменение объема клетки и состава ионов внутри клетки. Клетки быстро сморщиваются в гипертонических растворах и набухают в гипотонической среде. Объем клеток млекопитающих быстро (в течение

минут) восстанавливается за счет поступления внутрь клеток соли (Na⁺ и Cl⁻) в ответ на гипотонический стресс или выход ионов K⁺ в ответ на гипотонический стресс. В целом, у млекопитающих многие типы клеток постоянно имеют дело с гипертоническим стрессом. Так, клетки крови сталкиваются с этим при прохождении через почечные каналы, а эпителиальные клетки кишечника - после приема пищи. Кроме того, гипертонические жидкости широко применяются при лечении заболеваний, таких как гипонатремия, муковисцидоз и геморрагический шок. Гипотонические условия также оказывают большое влияние на различные внутриклеточные процессы, в том числе вызывая повреждение ДНК и белков и их агрегацию, способствуя аутофагии и др. Индуцируя сморщивание клеток, гипертонические условия приводят к возрастанию плотности внутриклеточных компонентов и молекулярному краудингу. Возросший молекулярный краудинг, в свою очередь, вызывает уплотнение цитоплазмы, неправильное сворачивание и агрегацию белков, нарушение их трафика внутри клеток. Однако влияние нарушения баланса ионов на динамику внутриклеточного трафика внутри живых клеток до сих пор остается невыясненным. В настоящей работе авторы с помощью визуализации живых клеток и наблюдения на флуоресцентно-меченных популяций эндосом и везикул показали, что подвижность везикул во многих типах клеток резко снижается при гипертоническом стрессе. Визуализация актина и тубулина в клетках также выявила снижение подвижности микротрубочек. Авторы также показали, что высокие уровни ионов хлора и потеря АТФ, в дополнение к молекулярному краудингу, вносит вклад в изменения динамики цитоскелета и везикул во время гипертонического стресса. Однако влияние дисбаланса ионов на динамику внутриклеточного трафика в живых клетках по-прежнему остаются в большей мере невыясненными.

И.М. Мохосоев

Внеядерная кольцевая ДНК свойственна дрожжам

Extrachromosomal circular DNA is common in yeast. Henrik D. Møller, Lance Parsons, Tue S. Jørgensen, David Botstein, Birgitte Regenberg. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. E3114–E3122.

Вариация числа копий (CNV) — это различие определенных генов или других протяженных последовательностей ДНК по числу копий в геноме. Делеции и амплификации генов являются существенными причинами генетических вариаций, которые играют важную роль в эволюции многоклеточных организмов. Высокий показатель распространения семейств паралогичных генов, таких как глобины, протеинкиназы и сериновые протеазы, решительно поддерживает гипотезу о том, что дивергенция и дупликация генов лежат в основе значительной части эволюции. Внеядерная кольцевая ДНК (eccDNA) представляет собой наименее изученную форму CNV. Примеры такой ДНК были найдены во многих организмах, но их вклад в генетическую вариативность на уровне генома до сих пор не был исследован. Авторами было карти-

ровано 1756 eccDNA в геноме *Saccharomyces cerevisiae*, используя Circle-Seq, высокочувствительный метод очистки eccDNA. Длины eccDNA дрожжей располагались в произвольно выбранных пределах от 1 кб до 38 кб и их последовательности покрывали 23% генома, представляя собой тысячи генов. EccDNA происходили как из участков генома с повторяющимися последовательностями ≥ 15 п.о., так и из районов с короткими повторяющимися, или не повторяющимися вовсе, последовательностями. Некоторые eccDNA были найдены в нескольких популяциях дрожжей. В состав таких внеядерных кольцевых ДНК входили рибосомальные гены, остатки транспозонов и тандемно повторяющихся генов (HXT6/7, ENA1/2/5 и CUP1–1/–2), которые, как правило, были обогащены eccDNA. Похоже, что неядерные кольцевые ДНК могут реплицироваться и 80% из них содержат консенсусные последовательности точки начала репликации, наличие которых может объяснить сохранение этих кольцевых ДНК. Полученные данные позволяют предположить, что присутствие eccDNA свойственно *S. cerevisiae*, где они могут вносить значительный вклад в генетическую вариативность и эволюцию.

А.Э. Ходосевич

Прямая регистрация перекручивания молекулы ДНК обратной гиразой

Direct observation of DNA overwinding by reverse gyrase. Taisaku Ogawa, Katsunori Yogo, Shou Furuie, Kazuo Sutoh, Akihiko Kikuchi, Kazuhiko Kinoshita Jr. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7495–7500.

Фермент обратная гираза был обнаружен в 1984 г. в термофильных археях *Sulfolobus*, которые потом были названы *Sulfolobus tokodaii*. Он представляет собой уникальную ДНК-топоизомеразу, которая может вставлять в молекулу ДНК позитивные суперспирали. Еще одним ферментом, который демонстрирует гиразную активность, является ДНК-гираза, которая встраивает негативные суперспирали и перекручивает молекулу ДНК. ДНК-гираза принадлежит к топоизомеразам II типа, которые изменяют значение числа связывания двуцепочечной ДНК путем одновременного разрезания и повторного лигирования обеих цепей ДНК. Обратная гираза принадлежит к топоизомеразам типа IA, когда разрезается только одна цепь ДНК. К настоящему времени обратная гираза была обнаружена в термофильных археях и зубактериях и для проявления ее активности позитивной суперспирализации необходима температура выше 70 °C. Этот фермент образован одной полипептидной цепью с молекулярным весом, равным 130 кДа. Он является комплексом, образованным двумя доменами: С-концевая половина относится к топоизомеразе IA, в то время как N-концевая половина цепи содержит АТФ-связывающий сайт и напоминает хеликазу, хотя не целый фермент или выделенный хеликазоподобный домен не демонстрируют истинную хеликазную активность. Физиологическая роль обратной гиразы до сих пор неясна, хотя при этом предполагается, что позитивная суперспирализация защищает ДНК от денатурации при высоких температурах, при которых

развиваются гипертермофильные микроорганизмы. В настоящей работе авторы использовали метод визуализации одиночной молекулы, успешно примененный ранее для изучения функционирования различных топоизомераз в режиме реального времени. Они наблюдали под оптическим микроскопом при 71 °C активность очищенной обратной гиразы из *S. Tokodaii*. Магнитный шарик был привязан к поверхности стекла с помощью линейной двуцепочечной ДНК. Когда обратная гираза перекручивала ДНК, шарик демонстрировал вращение. При наличии ограничений вращения шарик замедляет свое движение. Встраивание одноцепочечного пузыря в молекулу ДНК в значительной степени усиливало активность фермента, что было использовано авторами для изучения механизма его действия. Было показано, что одна молекула обратной гиразы быстро перекручивает расслабленную молекулу ДНК, но затем начинает «бездельничать» по мере нарастающего скручивания. Избыточное скручивание может вызвать нарушения репликационной и транскрипционной активности, в то время как быстрое восстановление молекулы ДНК после небольшого скручивания предотвращает тепловую денатурацию ДНК. Таким образом, обратная гираза сохраняет ДНК в слегка перекрученном состоянии, чтобы защитить геном гипертермофильных микроорганизмов от теплового плавления. Ее способность к перекручиванию также в большой степени зависит от напряжения молекулы ДНК, и эффективная длина взаимодействия превышает размер обратной гиразы, что подразумевает потребность в ослабленной молекуле ДНК. Авторы высказали свои предположения насчет механизма действия обратной гиразы, а именно, каким образом этот фермент позволяет одной цепи ДНК проходить другую цепь в предпочтительном направлении, чтобы обеспечить перекручивание ДНК.

И.М. Мохосев

тРНК акцепторный ствол и антикодоновые основания образуют независимые коды, связанные со сборкой белков

tRNA acceptor stem and anticodon bases form independent codes related to protein folding. Charles W. Carter, Jr. and Richard Wolfenden. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7489–7494.

Способность молекул РНК одновременно служить и носителем информации, и катализатором химических реакций позволила в свое время выдвинуть гипотезу о том, что именно РНК была первым сложным полимером, который появился в процессе добиологической эволюции. Авторы статьи утверждают, первые живые клетки на Земле содержали в себе не только РНК, но и белки, которые могли существовать в горячей воде первичного океана планеты и без которых сборка этих сложных молекул была бы невозможной: то есть, жизнь на ранней Земле была «миром белков и РНК», а не просто «миром РНК», как считали ранее. Проанализировав свойства 20 аминокислот, авторы выяснили, что РНК не могли формировать сложные органические соединения в одиночку. По всей видимости, в первичных реакциях была задействована аминоацил-тРНК-синтетаза — белковый фермент, который позволяет РНК правильно считывать генетическую информацию при синтезе белков. Взаимодействия между РНК и пептидами, скорее всего, были необходимы для спонтанного развития того многообразия и химической сложности, которые характерны для современного мира живых существ. Проблема заключается в том, что молекулы белков сохраняют стабильность только в очень узком диапазоне базовых химических параметров. Если хотя бы один из них нарушается, то трехмерная молекула белков обычно распадается или деформируется. Однако считается, первичный океан Земли был слишком теплым для того, чтобы молекулы белков в нем могли нормально существовать. Авторы решили проверить это, изучив, как ведут себя ами-

нокислоты при высоких температурах. Эти эксперименты привели к неожиданным результатам. Оказалось, что степень различий в физических свойствах аминокислот и то, как они взаимодействовали с нуклеотидами, были примерно одинаковыми и при 25 °С (оптимальной температуре для жизни), и при 100 °С, что говорит о возможности существования трехмерных молекул белков в горячем первичном океане Земли. Подтверждение этому ученые нашли в транспортных молекулах РНК (тРНК), которые захватывают аминокислоты и переносят их к центру сборки белков в клетке. Как оказалось, тРНК содержат в себе две системы распознавания аминокислот, одна из которых ориентируется на размер их молекул, а вторая — на то, насколько хорошо они отталкивают воду. Первая находится на «хвосте» тРНК, за который цепляется аминокислота, и состоит из четырех генетических фрагментов, комбинация которых позволяет закодировать 24 разных размера молекул. Вторая расположена в верхней части тРНК, в так называемом антикодоне из трех нуклеотидов, который цепляется за декодируемую цепочку генетической информации. Существование подобной двойной системы отбора аминокислот говорит о том, что эволюция белков шла в два этапа во время зарождения жизни. Первый из них завершился еще до появления ДНК, и в то время молекулы белков были устроены достаточно просто — в виде одиночных линий и простых двумерных конструкций. Для сборки таких структур было достаточно знать размеры аминокислот, которые, по всей видимости, кодировались в РНК молекулах организмов. Данные белки, судя по всему, играли вспомогательную роль и помогали клетке стабилизировать РНК-молекулы. Появление нового носителя информации — ДНК — и связанной с ним возможности различать аминокислоты и по степени их гидрофобности позволило жизни сделать качественный шаг вперед и начать использовать сложные трехмерные белковые структуры, в результате чего жизнь приобрела тот облик, которым она обладает сегодня.

В.В. Стрекопытов

Пили типа IV механохимически регулируют факторы вирулентности у *Pseudomonas aeruginosa*

Type IV pili mechanochemically regulate virulence factors in *Pseudomonas aeruginosa*. Alexandre Persat, Yuki F. Inclan, Joanne N. Engel, Howard A. Stone, Zemer Gitai. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7563–7568.

В процессе эволюции бактерии приобрели широкий диапазон сенсорных систем для адекватного реагирования на сигналы окружающей среды. В естественной среде обитаний нередко происходит переход бактерии из состояния свободного плавания к состоянию ассоциации с той или иной поверхностью. После столкновения с поверхностью, могут инициироваться определенные программы для оптимальной колонизации новой окружающей среды и индуцирования путей, таких как вирулентность. Так, для систем секреции III типа *Pseudomonas aeruginosa*, осуществляющих заражение путем инъекции токсинов, необходимо крепление отдельных клеток к мембране клетки-хозяина. К настоящему моменту генетические пути, которые регулируют рабо-

ту систем секреции, хорошо охарактеризованы, однако сигналы окружающей среды, активирующие эти пути, практически не изучены. Фундаментальный вопрос данного исследования заключается в том, как в короткие сроки бактерии ощущают контакт с поверхностью и преобразовывают полученную информацию в клеточный ответ. В данном исследовании авторы показывают, что патоген *P. aeruginosa* с целью выявления первоначального контакта с поверхностями использует моторизованные поверхностные структуры — пили типа IV. Учитывая необходимость контакта с клеткой-хозяином для эффективного инфицирования, *P. aeruginosa* может использовать поверхностный контакт в качестве сигнала, активирующего и координирующего патогенность. Все это вызывает возникновение сигнального каскада, приводящего к экспрессии сотен генов, ассоциированных с патогенностью и поверхностно-специфической дергающейся подвижностью. Таким образом, бактерии используют пили не только для интеграции и движения, но также и для распознавания механических особенностей окружающей среды с последующей регуляцией некоторых клеточных процессов.

Д.Р. Низин

Загадочный позднеюрский травоядный теропод из Чили

An enigmatic plant-eating theropod from the Late Jurassic period of Chile. Fernando E. Novas, Leonardo Salgado, Manuel Suárez, et al. Nature. 2015. Vol. 522. No 7556. P. 331–334.

Тероподы (*Theropoda*) — подотряд динозавров, к которому принадлежали такие известные хищники мелового периода, как тираннозавр и велоцираптор. Подавляющее большинство теропод были хищниками, однако исследователям встречались всеядные и травоядные динозавры этого подотряда. В статье сообщается об обнаружении в Чили останков причудливого теропода, который приходился близким родственником предкам тираннозавров и других крупнейших хищников мезозоя, но при этом обладал клювом и был травоядным. Новое животное получило имя *Chilesaurus diegosuarezi*. Родовое название указывает на страну находки, а видовое дано в честь Диего Суареса — семилетнего мальчика, нашедшего окаменелости чилизавра. Как показали дальнейшие исследования, это были останки примерно десяти особей, причем несколько скелетов оказались практически полными. За свое необычное строение чилизавр получил прозвище динозавра-утконоса. Так же, как и у австралийского животного, в строении *C. diegosuarezi* есть признаки самых разных динозавров. Так, его задние лапы и зубы напоминают длинношеих растительноядных гигантов из группы *Sauropoda*, а передние лапы — короткие и всего с двумя слабыми пальцами — очень похожи на верхние конечности тираннозавров. Судя по компьютерному анализу общих черт анатомии, животное принадлежало к числу одних из самых древних представителей тетануров (*Tetanurae*) — группы преимущественно хищных динозавров, включавшей в себя тираннозавров и предков птиц. Однако, судя по устройству зубов, по форме напоминающих лист дерева, и черепа, этого динозавра, он был не хищником, а был травоядным или всеядным существом, похожим по своей структуре питания на зауроподов вроде

бронтозавра или диплодока, или же на других необычных родичей тираннозавров — теризинозавров и бэйпиязавров. Чилизавры по манере передвижения и диете могли походить на вымерших гигантских ленивцев, которые обитали на противоположном краю планеты — в Восточной Азии, и появились почти на 20 млн лет позже, в начале мелового периода. Общее строение скелета, тем не менее, указывает на принадлежность *C. diegosuarezi* к тероподам — двуногим бегущим хищникам. Пожалуй, самым близким его родственником был *Allosaurus*. При этом тазовый пояс чилизавра довольно близок к птицеподобным динозаврам, хотя и несет в себе много характерных для теропод ящеротазовых признаков. Большинство найденных экземпляров чилизавра были размером с индейку. Но некоторые кости наводят на мысль о том, что самые крупные *C. diegosuarezi* могли вырастать до трех метров в длину. *C. diegosuarezi* является первым полным скелетом динозавра юрского периода, найденным в Чили, и представляет собой один из наиболее полных и анатомически правильных скелетов динозавров-теропод Южного полушария. Он также стал первым растительноядным тероподом, найденным к югу от экватора. Ранее похожие ящеры были известны лишь из Северной Америки и Азии. Как отмечают авторы, чилизавр представляет собой один из самых экстремальных случаев мозаичной конвергентной эволюции, известных в геологической летописи, так как части его тела напоминают части тела, свойственные разным группам динозавров. *Chilesaurus* показывает, как мало нам пока известно о начале диверсификации основных групп динозавров. Это исследование заставит палеонтологов больше заботиться в будущем об идентификации фрагментарных или изолированных костей динозавров. Из-за конвергентной эволюции они легко могут натолкнуть ученых на ложные выводы. Исследователи определили, что *C. diegosuarezi* существовал на нашей планете в конце юрского периода, примерно 150 млн лет назад. Это делает чилизавра предположительно первым травоядным родственником тираннозавров на Земле.

B.B. Стрекопытов

У зубатых китов удивительным образом утеряны ключевые антивирусные белки Mx1 и Mx2

Mx1 and Mx2 key antiviral proteins are surprisingly lost in toothed whales. Benjamin A. Braun, Amir Marcovitz, J. Gray Camp, Robin Jia, Gill Bejerano. PNAS. 2015. Vol. 112. No 26. P. 8036–8040.

Авторы исследования обнаружили, что у представителей нескольких семейств зубатых китов (дельфины, касатки, кашалоты) имеются разнообразные мутации в генах Mx1 и Mx2, не позволяющие синтезировать ключевые для иммунной защиты от вирусных инфекций белки. Исследование состояло из двух этапов. На первом этапе ученые проанализировали геномы 60 различных видов млекопитающих. Среди них были 4 представителя различных семейств подотряда зубатых китов (*Odontoceti*), представители подотряда усатых китов (*Mysticeti*), а также множество иных млекопитающих, включая даже коров и человека. Выяснилось, что только у зубатых китов гены Mx1 и Mx2 отсутствуют полностью, либо в них наблюдаются разного рода мутации, потенциально исключающие возможность производства функциональных белков. У всех остальных млекопитающих, в том числе и усатых

китов, никаких изменений в этих генах не наблюдалось. Чтобы проверить гипотезу о нефункциональности Mx1 и Mx2, авторы дополнительно провели транскриптомный анализ, позволивший установить, какие гены у зубатых китов экспрессированы, а какие — нет. Первоначальное мнение об отсутствии выработки связанных с обозначенными генами белков полностью подтвердилось. Ген Mx1 кодирует белок, который у человека и, вероятно, других млекопитающих играет важнейшую роль в ингибировании РНК и ДНК ортомиксовирусов (грипп типа А), парамиксовирусов (корь) и гепатнавирусов (гепатит В). В 2013 г. было обнаружено, что ген Mx2 кодирует белок, влияющий на поведение вируса иммунодефицита человека в клетках, препятствуя его репликации и процессу размножения. Наличие Mx-генов у усатых китов говорит, что, скорее всего, их исчезновение или мутации произошли у общего предка обоих подотрядов незадолго после их разделения. Причиной его мог служить какой-то мощный вирус, использовавший эти гены в своих целях. Однако остается загадкой, как зубатые киты противодействовали на протяжении 33–37 млн лет другим вирусным инфекциям. По мнению авторов, они выработали какой-то иной защитный механизм, который еще предстоит обнаружить.

B.B. Стрекопытов

Температурная зависимость гидрофобности аминокислот

Temperature dependence of amino acid hydrophobicities. Richard Wolfenden¹, Charles A. Lewis Jr., Yang Yuan, Charles W. Carter Jr. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7484–7488.

Равновесные конформации белков в нейтральных растворах находятся в строгой зависимости от взаимодействий между составляющими их аминокислотными остатками и растворителем – молекулой воды. Еще в ранних работах, посвященных исследованию кристаллической структуры гемоглобина и родственных белков, было показано, что боковые цепи более полярных аминокислотных остатков имеют тенденцию к расположению в растворителе, в то время как менее полярные боковые цепи стремятся погрузиться вовнутрь глобулярного белка. Позднее был предложен метод количественной оценки этих предпочтений боковых цепей аминокислотных остатков путем измерения равновесия переноса боковых цепей из нейтрального водного раствора в менее полярное окружение, как газовая фаза или неполярный растворитель, как, например, циклогексан, в котором при насыщении раствором только примерно 2×10^{-3} М воды. Коэффициенты распределения между водой и циклогексаном ($K_{w>c}$) боковых цепей 20 аминокислотных остатков (гидрофобность) очень сильно различаются между собой. Было показано, что значения $K_{w>c}$ коррелируют с их распределением в глобулярных белках и их стремлением к расположению в погруженных последовательностях трансмембранных белков. В то же время, принято считать, что жизнь на нашей планете зародилась в условиях высоких температур и в настоящее время некоторые микроорганизмы могут выживать при тем-

пературах, приближающихся к температуре кипения воды. Однако в литературе очень мало конкретной информации об изменении гидрофобности индивидуальных аминокислот при изменяющейся температуре. Кроме того, ранее было установлено, что генетический код организован таким образом, что, за исключением треонина, дихотомия боковых цепей на полярные и неполярные совпадает с дихотомией азотистых оснований нуклеиновых кислот пурин/пиримидин во втором положении каждого кодирующего триплета при 25 °С. Недавно авторы настоящей работы показали, что два кода разделения, по размеру и гидрофобности аминокислот, по-видимому, связаны с последовательностями тРНК: размер закодирован в акцепторном стволе и гидрофобность связана с антикодоном. В настоящей работе авторы исследовали влияние температуры на гидрофобность аминокислот, измеряемую как константа переноса их боковых цепей из нейтрального раствора в циклогексан ($K_{w>c}$). Было показано, что значения гидрофобности большинства аминокислот увеличиваются при возрастании температуры. Также было выявлены небольшие изменения в порядке расположения полярных аминокислот. По мнению авторов, эти изменения могли минимизировать разрушительные эффекты изменяющейся температуры во время эволюции структуры белков. Также было показано, что дихотомия аминокислотных остатков и азотистых оснований, наблюдаемая при 25°С, сохраняется при 100°С. Доступные площади поверхности боковых цепей аминокислотных остатков в белках, свернутых правильным образом, в небольшой степени коррелируют с гидрофобностью. В то же время, если принять во внимание значения свободной энергии переноса пар-циклогексан (в соответствии с размером), то наблюдается более тесная связь.

И.М. Мохосоев

Белок Тау стабилизирует микротрубочки, связываясь с участком, расположенным между гетеродимерами тубулина

Tau stabilizes microtubules by binding at the interface between tubulin heterodimers. Harindranath Kadavath, Romina V. Hofele, Jacek Biernat, Satish Kumar, Katharina Tepper, Henning Urlaub, Eckhard Mandelkow, Markus Zweckstetter. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7501–7506.

Микротрубочки регулируют деление клеток, их морфологию, внутриклеточный транспорт и стабильность аксонов и, следовательно, они играют ключевую роль в функционировании клеток. Их образование происходит на основе гетеродимеров тубулина, которые сначала полимеризуются в протофиламенты и далее в микротрубочки. Динамика микротрубочек в нейронах определяется несколькими белками, называемыми ассоциированными с микротрубочками белками. Среди этих белков выделяется белок Тау, который способствует образованию и стабилизации микротрубочек. В мозге взрослого человека выявлено 6 изоформ этого белка, которые образуются в результате альтернативного сплайсинга одного гена. Показано, что изоформы белка Тау содержат три или четыре повтора и их молекулярный вес составляет от 37 до 45 кДа. Повторы, которые содержат 31 или 32 аминокислотных остатка, которые располагаются в С-концевой половине этого белка и представляют собой высоко консервативные остатки, характерные для ассоциированных с микротрубочками белков. Изоформы белка Тау подвержены регуляции во время развития и нарушения из взаимодействия с микротрубочками играют важную роль в патологии некоторых нейродегенеративных заболеваний. Мутации и гиперфосфорилирование белка Тау приводят к его высвобождению, не-

стабильность и разборку микротрубочек и нарушает аксональный транспорт. После высвобождения из микротрубочек белок Тау, благодаря гексапептидным мотивам во повторе, способен образовывать нерастворимые белковые агрегаты, которые являются одним из признаков болезни Альцгеймера. Структурно-функциональные взаимосвязи в этом белке интенсивно исследовались на протяжении многих лет с использованием различных методов молекулярной биологии и биохимии. Тем не менее, до сих пор мало данных о молекулярных механизмах взаимодействия белка с микротрубочками и его роли в их сборке. В настоящей работе авторы исследовали молекулярный механизм взаимодействия белка Тау с микротрубочками с помощью сочетания методов ЯМР-спектроскопии и масс-спектрометрии. Авторами было показано, что небольшое число эволюционно консервативных аминокислотных остатков белка связываются с гидрофобным карманом, расположенным между гетеродимерами тубулина, способствуя таким образом сборке и стабилизации микротрубочек. Установлено, что в образовании сайтов связывания участвуют аминокислотные остатки, которые также задействованы в агрегации этого белка при патологических состояниях, что свидетельствует в пользу возможной конкуренции между процессами нормального физиологического взаимодействия и некорректного сворачивания белка при патологии. Показано, что при связывании белка Тау с микротрубочками, аминокислотные остатки белка, расположенные между связывающимися с микротрубочками участками, сохраняют свою гибкость, что также свидетельствует в пользу высоко динамичной природы взаимодействия этого белка с микротрубочками. Кроме того, авторы показали, что из лекарств только винбластин, но не баккатин, талидомид или колхицин, может препятствовать взаимодействию белка Тау и тубулина.

И.М. Мохосоев

IL-1R-зависимый сигналинг помогает клеткам-свидетелям преодолевать блокаду бактериями биосинтеза белка в клетках-хозяевах

IL-1R signaling enables bystander cells to overcome bacterial blockade of host protein synthesis. Alan M. Copenhaver, Cierra N. Casson, Hieu T. Nguyen, Matthew M. Duda, and Sunny Shin. PNAS. 2015. Vol. 112. No24. P. 7557–7562.

Инициация ответа врожденной иммунной системы на внедрение патогенных микроорганизмов происходит в результате непосредственного распознавания в инфицированной клетке ассоциированных с патогеном наборов молекул мембраносвязанными и расположенными в цитоплазме особыми распознающими рецепторами. Однако факторы вирулентности многих патогенов могут нарушить нормальное функционирование иммунных сигнальных путей, включая NF-κB- и MAPK-зависимые пути и биосинтез белка клетки-хозяина. Такие вирулентные факторы могут таким образом ограничивать активацию иммунного ответа зараженных клеток. Однако механизмы, позволяющие преодолеть негативное влияние патогенов на процессы внутри клетки-хозяина, остаются до конца невыясненными. Грамотрицательная бактерия *Legionella pneumophila* кодирует T4SS-специализированную систему секреции IV типа Dot/Icm (for defect in organelle trafficking/intracellular multiplication), которая доставляет эффекторный бактериальный белок в клетку-хозяина, чтобы облегчить выживание и размножение в ней патогена. Ряд определенных эффекторных белков, таких как Lgt1, Lgt2, Lgt3, Sid1, SidL, Pkn5 и Lpg1489, блокирует синтез белков в клетке-хозяине, в частности, воздействуя

на факторы элонгации. В то же время было установлено, что инфекция *L. pneumophila* приводит к продукции в клетке-хозяине многих защитных про-воспалительных цитокинов. Кроме того, значительная часть клеток во время инфекции остается неинфицированной и представляют собой так называемые клетки-свидетели. Поэтому было предположено, что именно эти неинфицированные клетки могут отвечать на наличие инфекции продукцией цитокинов. В настоящей работе авторы провели поиск на уровне одиночной клетки признаков иммунного ответа среди клеток, инфицированных *L. Pneumophila*. Авторами было показано, что несмотря на то, что инфицированные клетки, получившие T4SS эффекторы, синтезируют интерлейкины IL-1α и IL-1β, они тем не менее являются слабыми продуцентами других ключевых воспалительных цитокинов. Напротив, клетки-свидетели, которые не получили T4SS эффекторы, являются первичными продуцентами фактора некроза опухоли (TNF), интерлейкинов IL-6 и IL-12, а также ко-стимуляторной молекулы CD86 во время инфекции в условиях *in vitro* и *in vivo*. Было также показано, что отсутствие IL-1R-зависимого сигналинга приводит к снижению продукции цитокинов этими клетками и усиленное размножение бактерий в условиях *in vivo*, что позволило авторам высказать предположение о том, что высвобождаемый из инфицированных клеток IL-1 способствует продукции про-воспалительных цитокинов клетками-свидетелями. Результаты, полученные авторами в настоящей работе, свидетельствуют в пользу утверждения, что высвобождение интерлейкина IL-1 инфицированными клетками сигнализирует о присутствии вирулентной инфекции, что приводит к генерации клетками-хозяевами надежного врожденного иммунного ответа, несмотря на блокирование патогенными клетками процесса трансляции.

И.М. Мохосоев

Тирозин-содержащий мотив хвоста гликопротеина оболочки HIV-1 обуславливает его внедрение в вирионы, которое зависит от Rab11-FIP1C

A tyrosine-based motif in the HIV-1 envelope glycoprotein tail mediates cell-type- and Rab11-FIP1C-dependent incorporation into virions. Mingli Qi, Hin Chu, Xuemin Chen, Junghwa Choi, Xiaoyun Wen, Jason Hammonds, Lingmei Ding, Eric Hunter, Paul Spearman. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7575–7580.

Известные лентивирусы, такие как вирус иммунодефицита человека HIV-1, кодируют гликопротеины ядерного конверта (оболочки, мембраны) вируса (Env), для которых характерно наличие длинного цитоплазматического хвоста (cytoplasmic tail, CT) длиной более 150 аминокислотных остатков, в отличие от ретровирусов птиц и мышей, у которых данная структура содержит всего 20-30 остатков. Показано, что этот цитоплазматический сегмент белка содержит пептидные мотивы, содержащие остатки тирозина и лейцина, которые взаимодействуют с факторами везикулярного трафика. Так называемый мотив Y₇₁₂, расположенный на удалении от мембраны, служит в качестве места докинга для μ-субъединицы AP-2- адаптора клатрина. Однако механизм встраивания гликопротеина оболочки вируса иммунодефицита человека в образующуюся вирусную частицу остается невыясненным. Ранее авторы настоящей работы показали, что белок Rab11-FIP1C (FIP1C) (также известный как Rab-сопрягающий белок или RCP) и белок Rab14 необходимы для внедрения Env в частицы HIV-1 и что эффект действия белка FIP1C находится в строгой зависимости от цитоплазматического хвоста Env. Rab11-FIP1C является адапторным белком, который димеризуется и образует

гетеротетрамерные комплексы трафика вместе с двумя копиями белков Rab11, Rab14 или Rab4. В настоящей работе авторы экспериментально проверили предположение, что внедрение белка Env зависит от типа клеток и транспорт этого белка зависит как от белка FIP1C, так и от определенных пептидных мотивов, расположенных цитоплазматическом хвосте белка. Они проверили набор вирусов, у которых были произведены аминокислотные замены в мотивах, содержащих остатки тирозина и сдвоенные остатки лейцина, на их способность доставить белок FIP1C на плазматическую мембрану. Было показано, что мотив YW₇₉₅, расположенный в альфа-спирали 2 цитоплазматического хвоста, является критическим фактором, определяющим CT-зависимое перераспределение FIP1C из эндосомального компартмента рециклизации. Нарушение структуры YW₇₉₅ приводило к воспроизведению процесса зависящего от типа клеток встраивания белка Env в вирусные частицы, который ранее был продемонстрирован для этого гликопротеина, у которого отсутствовали большие куски цитоплазматического хвоста. Ревертантный вирус, несущий одиночную замену, локализованную около C-конца цитоплазматического хвоста, вызывает восстановление уровня встраивания Env до уровня дикого типа, его совместную с белком Gag локализацию на плазматической мембране и репликацию вируса. Полученные авторами результаты свидетельствуют в пользу важной роли мотива YW₇₉₅ в зависимом от типа клетки процессе встраивания гликопротеина ядерного конверта и поддерживают модель сборки вируса иммунодефицита человека, согласно которой белок FIP1C участвует в доставке белка Env к месту сборки вирусных частиц. Авторы также полагают, что в будущей работе они смогут наблюдать образование комплекса Env и FIP1C и проследить его динамику.

И.М. Мохосоев

Деструктин-1 является фактором, вызывающим синдром белого носа, и представляет собой коллаген-деградирующую эндопептидазу, секретируемую *Pseudogymnoascus destructans*

Destructin-1 is a collagen-degrading endopeptidase secreted by *Pseudogymnoascus destructans*, the causative agent of white-nose syndrome. Anthony J. O'Donoghue, Giselle M. Knudsen, Chapman Beekman, Jenna A. Perry, Alexander D. Johnson, Joseph L. DeRisi, Charles S. Craig, Richard J. Bennett. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7478–7483.

Начиная со времени его открытия в 2006 г., так называемый «синдром белого носа» (White-nose syndrome) привел к гибели в Северной Америке более 6 млн летучих мышей. Это эпидемия несет экономическую угрозу для сельского хозяйства Северной Америки, и потеря летучих мышей наносит ущерб, оцениваемый в 3 млрд долл. в год. Этот синдром вызван патогенным грибом *Pseudogymnoascus destructans* (прежнее название *Geomyces destructans*), который образует белый слой на морде, крыльях и ушах летучих мышей. Показано, что *P. destructans* поражает животных, находящихся в спячке, т.е. в то время, когда их нормальная функция иммунной системы и температура тела понижены. При инфекции происходит глубокое проникновение гиф грибка в подкожную ткань, что вызывает появление язв и ее разрушение. В результате летучие мыши преждевременно пробуждаются, что приводит к катастрофическим для них последствиям. Несмотря на огромный урон, наносимый вызываемым этим грибом синдромом, в настоящее время почти нет данных о возбудителе и его способе инфицирования клеток летучих мышей. В настоящей работе авторы подвергли тщательному анализу набор секретируемых *P. destructans* молекул (секретом) и обнаружили, что белки, секретируемые в наибольших ко-

личествах, скорее всего обладают гидролитической активностью. Показано, что в их число входят различные пептидазы, липазы и гликозидазы. Кроме того, среди секретируемых белков были выявлены различные окислительно-восстановительные ферменты, в том числе каталаза и пероксидаза. Авторы также идентифицировали гидролитические ферменты, секретируемые *P. destructans* и с помощью нового метода субстратного профилирования определили активные пептидазы. Они показали, что секретируемая сериновая пептидаза, обозначаемая ими как деструктин-1, является основным компонентом секрета *P. destructans*. В ходе ее выделения, очистки и оценки активности было показано, что эта пептидаза (деструктин-1) способна деградировать коллаген, основной структурный белок соединительной ткани млекопитающих. Более того, было показано, что специфическое ингибирование деструктина-1 с помощью ингибитора сериновых пептидаз химостатина приводит к блокировке деградации коллагена. На основании полученных результатов авторы высказали предположение, что сериновые пептидазы способствуют инвазивному прорастанию гиф патогенного грибка и разрушению им ткани животного. По их мнению, эти пептидазы могут представлять потенциальные молекулярные мишени при разработке средств профилактики и лечения синдрома белого носа. Авторы надеются, что в последующих работах будет изучена потенциальная роль деструктина-1 и его гомологов как новых вирулентных факторов, а также будет выяснена роль других секретируемых патогенным грибом белков в способствовании инфицированию эпителиальных тканей летучих мышей. Ожидается, что проникновение и разрушение тканей грибом *P. destructans* вызвано целым набором различных гидролитических активностей, которые по отдельности могут также быть использованы в качестве мишеней для осуществления терапевтического вмешательства.

И.М. Мохосоев

Трансгенные певчие птицы с пониженной или повышенной активностью транскрипционного фактора CREB

Transgenic songbirds with suppressed or enhanced activity of CREB transcription factor. Kentaro Abe, Sumiko Matsui, Dai Watanabe. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7599–7604.

Способность певчих птиц издавать и воспринимать звуковые сигналы развивается постнатально. До сих пор не ясны генетические и обусловленные окружающей средой факторы, совокупно влияющие на развитие таких способностей. Молодые особи зебровых амадин (*Taeniopygia guttata*) обычно слышат песни птиц того же вида и сохраняют эту информацию, чтобы в дальнейшем использовать ее для развития способности восприятия и воспроизведения звуковых сигналов. Несоответствующий опыт в процессе постнатального развития может привести к нарушениям в их песнях, что в дальнейшем может вылиться в ограниченные возможности к коммуникации и спариванию. В данном исследовании авторами был описан фенотип трансгенных пев-

чих птиц с измененной активностью цАМФ-зависимого фактора транскрипции (CREB). С помощью изменения геномной ДНК посредством вирусного вектора, путем трансмиссии зародышевых клеток, были созданы линии зебровых амадин, которые проявляли повышенную или пониженную активность CREB. Несмотря на то, что их приобретенная после рождения способность издавать звуки не была задета, трансгенные птицы были склонны к пониженному уровню вокального обучения их собственным песням, а формирование звуковой памяти по отношению к песням, присущим особям их же вида было ухудшено. Описанные результаты показывают, что соответствующая активность CREB необходима для постнатального приобретения поведения, полученного в результате обучения, у певчих птиц. Кроме того, трансгенные по гену CREB особи могут быть использованы как уникальная модель, которая позволяет наблюдать эффект при отдельно изменяемых генетических и обусловленных окружающей средой факторах, которые могут негативно влиять на постнатальное развитие способности издавать и воспринимать звуковые сигналы.

А.Э. Ходосевич

Идентификация локальных изменений в больших системах: обнаружение точечных замен при моделировании биомолекул

Identifying localized changes in large systems: Change-point detection for biomolecular simulations. Zhou Fan, Ron O. Dror, Thomas J. Mildorf, Stefano Piana, David E. Shaw. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7454-7459.

Обнаружение структурных изменений в белках представляет особый интерес ввиду большой значимости отдельных точечных аминокислотных замен, которые обычно могут быть охарактеризованы ограниченным набором значений среди огромного числа наблюдаемых данных. Атомы внутри белковой молекулы постоянно изменяют свое положение, но время от времени белок подвергается структурному переходу от одного набора сходных, быстро взаимно превращаемых расположений атомов, к другому. Эти структурные переходы, называемые конформационными изменениями, часто несут в себе биологическое значение и обеспечивают выполнение белками функциональной роли внутри клетки. В настоящее время изучение таких конформационных изменений во многих случаях может быть существенным образом облегчено применением различных методов молекулярного моделирования на атомном уровне, такими как, например, метод молекулярной динамики. Методы молекулярного моделирования, которые получили большое развитие в последние годы, предоставляют исследователям средства для регистрации движения индивидуальных атомов внутри белка или другой биомолекулы на уровне высокого разрешения по времени. В то же время, идентификация конформационных изменений белков на основе изменения позиций атомов

во времени в силу разных причин представляет непростую задачу для исследователя. Суть проблемы заключается в идентификации природы и времени возникновения биологически значимых конформационных изменений, которые происходят во время симуляции на атомном уровне больших биомолекул, таких как белки. Каждое конформационное изменение скорее всего затрагивает только небольшой участок макромолекулы и эти изменения часто представляют собой шумовой фон более быстрых структурных изменений белковой молекулы. В настоящей работе авторы представили общий статистический метод, обнаружения точечных изменений, который они назвали как SIMPLE (simultaneous penalized likelihood estimation), который позволяет при наличии множества шумовых наблюдаемых значений определять точки во времени, при которых различные поднаборы наблюдаемых величин показывают происходящие в одно и то же время изменения распределения данных и прямо идентифицирует эти поднаборы. Авторы показали, что представленный ими метод эффективен при обнаружении биологически интересных конформационных изменений при моделировании правильным образом свернутых и развернутых белков методом молекулярной динамики. Авторы продемонстрировали, что представленный ими метод эффективен даже в тех случаях, когда очень затруднительно обнаружить эти изменения с использованием альтернативных методов молекулярного моделирования. Показано, что этот метод также облегчает обнаружение точечных замен в других типах данных по белковым последовательностям. По мнению авторов, представленный ими метод может быть успешно применен в других областях современной науки, таких как геномика, нейробиология и физика частиц.

И.М. Мохосоев

Совместное принятие решений управляет коллективным передвижением бабуинов

Shared decision-making drives collective movement in wild baboons. Ariana Strandburg-Peshkin, Damien R. Farine, Iain D. Couzin, Margaret C. Crofoot. Science. 2015. Vol. 348. No 6241. P. 1358-1361.

Бабуины (павианы) — удобный объект для изучения группового поведения и механизмов принятия коллективных решений. Эти обезьяны, как правило, живут большими сплоченными группами, в которых существует жесткая социальная иерархия, в которой каждая особь занимает определенное место, самцы в целом доминируют над самками, а над всеми господствует альфа-самец. Жизнь в группе дает бабуинам огромные преимущества, главное из которых — коллективная оборона от хищников. Однако в любом обществе то и дело возникают «конфликты интересов». При этом никто не хочет отбиться от коллектива. Неизбежный исход подобной коллизии состоит в принятии некоего общего решения, причем кому-то наверняка придется поступиться своими желаниями. Наблюдения за группами бабуинов в Кении, выполненные при помощи GPS-ошейников, показали, что эти обезьяны принимают большинство решений о поиске пищи и маршрутах миграции коллективным образом, что говорит о наличии своеобразной «демократии» среди животных, даже при наличии строгой иерархии в стае. Из 46 членов группы авторы снабдили GPS-ошейниками, автоматически отстеживающимися по окончании периода наблюдений, 25 особей, в основном взрослых. Положение каждой обезьяны регистрировалось с интервалом в 1 сек в течение двух недель. Выяснилось, что высокоранговые особи, включая альфа-самца, инициируют переход группы на новое место не чаще, чем низкоранговые и да-

же самки. Вероятность того, что за направившимися куда-то особями последуют другие, зависит от числа потенциальных лидеров, скорости и прямолинейности их движения, а также от согласованности направлений. Если угол между направлениями движения двух лидеров не превышает 90°, последователи обычно выбирают промежуточное направление («компромисс»), если же лидеры разбредаются совсем в разные стороны, последователи идут за одним из них, игнорируя второго, который в итоге поворачивает и присоединяется к группе. Судя по всему, бабуины выбирают направление своих миграций в поисках пищи коллективным образом, учитывая мнения части или всех членов группы. Основным методом волеизъявления среди бабуинов заключается в «голосовании ногами». Если им нравится маршрут, предложенный одним из ближайших к ним сородичей, то они начинают следовать за ним, и к их паре постепенно присоединяются другие обезьяны и затем — вся группа бабуинов. Когда приматов по каким-то причинам не устраивает идея лидера, то они просто стоят на месте, и тогда ведущий бабуин возвращается назад, переходя в категорию ведомых. Если же в стае существует две «партии» мнений, каждая из которых хочет идти в двух разных направлениях, то тогда вся группа идет на своеобразный компромисс: будет двигаться примерно посередине между векторами движений, которые предлагали эти «партии». Если же разница во мнениях слишком велика, то в таких случаях, как правило, «партия» меньшинства уступает и присоединяется к большинству. В качестве следующего шага авторы постараются понять, что заставляет отдельных бабуинов брать на себя роль лидеров, а также проверить, пытаются ли отдельные особи использовать сложные социальные ситуации для расширения своего влияния на всю стаю.

В.В. Стрекопытов

Кофеин блокирует нейрональные рецепторы аденозина A_{2A}, предотвращая расстройства памяти и настроения, связанные с хроническим стрессом

Caffeine acts through neuronal adenosine A_{2A} receptors to prevent mood and memory dysfunction triggered by chronic stress. Manuela P. Kaster, Nuno J. Machado, Henrique B. Silva, et al. PNAS. 2015. Vol. 112. No 25. P. 7833–7838.

Авторы утверждают, что причина благоприятного воздействия кофе на настроение и работоспособность организма при стрессовой ситуации заключается в том, что кофеин является антагонистом аденозиновых рецепторов головного мозга. Аденозин играет определенную роль в стимуляции процесса сна, а также оказывает влияние на функциональную активность рецепторов, отвечающих за стрессовую реакцию, в том числе плохое настроение, проблемы с памятью и склонность к депрессии. Большинство людей, пьющих кофе, чай или другие кофеинсодержащие напитки, отмечают субъективное снижение уровня стресса. В то же время, природой такой реакции не вполне ясна. Эффект, который кофеин и адреналин оказывают на организм, во многом схож, и, в теории, стимуляторы нервной системы должны не снижать стресс, а наоборот, повышать его, как это и происходит при возникновении стрессовых состояний в случае с адреналином. Из-за этого ранее появлялись предположения, что антистрессовое действие кофеина может быть кажущимся. Проведя опыты на мышах, авторы выяснили, что кофеин блокирует рецепторы аденозина A_{2A} и тем самым снижает стресс, испытываемый подопытными животными. Реакции мышей рассматривались в рамках модели хронического непредсказуемого стресса (Chronic Unpredictable Stress), часто используемой в изучении поведения животных под действием фак-

торов-стрессоров. В ходе эксперимента одной группе мышей давали кофеинсодержащие напитки, в то время как другая группа их не получала. Обе группы три недели систематически подвергали непредсказуемому стрессу. Под его действием животные второй группы резко замедляли набор массы тела даже в условиях нормального питания. Одновременно в их мозге снижалась пластичность синаптических связей, отвечающая за формирование памяти и обучение. Параллельно в гиппокампе мышей этой группы отмечалась повышенная концентрация рецепторов аденозина A_{2A}. При этом мыши, получавшие кофеин в напитках, такого замедления (и снижения синаптической пластичности) не испытывали и набирали вес так же, как контрольная группа, не находившаяся под действием стресса. Объем жидкостей, принимаемых мышами в нормальном и стрессовом состоянии не изменялся, кроме того, такой прием проходил в одинаковых условиях, что позволило исследователям сделать вывод о реальном антистрессовом воздействии кофеина. Чтобы выявить конкретный механизм такого воздействия, для части мышей кофеин заменили на селективный антагонист рецепторов аденозина A_{2A}, известный как KW6002. Затем ученые провели эксперимент с мышами тех же линий, удалив у них ген, отвечающий за формирование рецепторов аденозина A_{2A}. Обе эти группы мышей также не испытывали вышеописанных последствий от систематического непредсказуемого стресса, несмотря на то, что их помещали в ту же стрессогенную среду, что и остальных испытуемых. Авторы пришли к выводу, что рецепторы аденозина A_{2A} являются одной из самых перспективных мишеней для смягчения негативных последствий хронического стресса на мозг. Предпочтительным средством их нейтрализации исследователи считают блокаду рецепторов с помощью антагонистов типа использованного в эксперименте KW6002, по механизму действия сходного с кофеином.

В.В. Стрекопытов

.....

Медицина

Поркупиновый ингибитор подавляет паракринный Wnt-управляемый рост *Rnf43;Znrf3*-мутантной неоплазии

Porcupine inhibitor suppresses paracrine Wnt-driven growth of *Rnf43;Znrf3*-mutant neoplasia. Bon-Kyoung Koo, Johan H. van Es, Maaïke van den Born, Hans Clevers. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7548–7550.

Rnf43 (RING finger protein 43) и *Znrf3* (zinc/RING finger protein 3) (RZ) — белки семейства Wnt — являются двумя тесно связанными между собой трансмембранными лигандами. Известно, что белки семейства Wnt представляют основной класс секретируемых морфогенетических лигандов, играющих важную роль в развитии тела у всех изученных многоклеточных организмов. Wnt-белки специфичны для стволовых клеток, могут действовать как факторы их роста и пролиферации и играют важную роль в регуляции активности Wnt-сигнального пути, обеспечивая отрицательную обратную связь. Мутации в *Rnf43* у человека связывают с развитием

рака толстой кишки, поджелудочной железы, желудка, яичников, а мутации в *Znrf3* обнаруживают у больных с аденокарциномой и остеобластомой. Ранее эта же группа авторов показала, что в случаях, когда оба гена мутируют одновременно в стволовых клетках кишечника у мышей, опухоли возникают в течение нескольких недель. В данной статье авторы сообщают, что лечение мышей, несущих *RZ^{-/-}* кишечной неоплазии с помощью малой молекулы ингибитора секреции Wnt сильно угнетает рост опухоли, в то время как соседние нормальные крипты остаются незатронутыми. Эти результаты показывают, что паракринная секреция Wnt является важнейшей движущей силой *RZ^{-/-}* опухолевого роста и позволяет сделать вывод о существовании терапевтического окна для применения поркупиновых ингибиторов для лечения *RZ*-мутантных опухолей. Таким образом, все большее число малых молекул-ингибиторов Wnt могут быть проверены в клинических испытаниях на больных злокачественными опухолями с мутациями в *RNF43* или *ZNRF3*.

С.В. Зворыкина

MET стимулирует противоопухолевую активность нейтрофилов

MET is required for the recruitment of anti-tumoural neutrophils. Veronica Finisguerra, Giusy Di Conza, Mario Di Matteo, Jens Serneels, Sandra Costa, A. A. Roger Thompson, Els Wauters, Sarah Walmsley, Hans Prenen, Zvi Granot, Andrea Casazza, Massimiliano Mazzone. Nature. 2015. Vol. 522. No 7556. P. 349–353.

Патогенез многих опухолевых процессов включает мутации или амплификацию протоонкогена MET. Однако экспрессия MET осуществляется не только клетками опухоли, но и ассоциированными с ними клетками стромы. Для провоцирования делеции MET в иммунной системе ученые воспользовались эндотелиальными клетками и клетками костного мозга лабораторных мышей дикого типа C57BL/6 (WT) при осуществлении генного нокаута с целью последующего сравнения химер WT→WT и KO→WT. В исследованиях были использованы клеточные линии карциномы легкого Льюиса и меланомы B16F10 мышей, немелкоклеточного рака легких A549 человека, мышинные клеточные линии рака поджелудочной железы и фибросаркомы T241. Эксперименты показали, что MET влияет на хемоаттракцию нейтрофилов и цитотоксичность, проявляющуюся в ответ на лиганд MET рецептора, фактор роста гепатоцитов (HGF). Также MET участвует в трансудации нейтрофилов при колите, кожной сыпи и перитоните. Процесс делеции MET в нейтрофилах мышей ускоряет рост опухоли и метастазирование. Такой фенотип коррелирует со снижением инфильтрации нейтрофилов как в первичной, так и в метастатической опухоли. MET рецептор необходим для проникновения нейтрофилов в поврежденные ткани, где они реагируют на HGF выделением цитотоксичного оксида азота. Этот механизм призван сдерживать

неспецифическую иммунную реакцию в месте воспаления, предотвращая повреждение здоровых органов. Индуцируется MET фактором некроза опухоли α или другими медиаторами воспаления, что способствует проникновению нейтрофилов через активированный эндотелий, а также производству синтазы оксида азота при стимуляции HGF. Следовательно, HGF/MET-зависимое высвобождение нейтрофилами оксида азота способствует уничтожению раковых клеток, ослаблению роста опухоли и метастазирования. Путем системного введения ингибитора MET киназы, ученые доказали, что терапевтический эффект ориентации MET на раковые клетки отчасти противоречит протоонкогенному эффекту, возникающему при блокаде MET в нейтрофилах. Ослабление нейтрофилов в WT→WT химерах не влияет на рост карциномы легкого Льюиса, что подразумевает наличие в этой модели противоопухолевого и протоонкогенного баланса. Аналогичное воздействие на KO→WT мышей позволило замедлить рост опухоли на 34%, показывая, что MET делеция ингибирует активацию цитотоксичности, но не влияет на протоонкогенные функции, которые блокированы анти-Ly6G антителами. Исследования ученых подчеркивают двоякую роль MET в опухолевом процессе: с одной стороны, в MET-зависимой опухоли этот путь является жизненно важным для клеточного цикла, а с другой стороны, он способствует противоопухолевой активности нейтрофилов. Учитывая тот факт, что MET-ингибирующие препараты, не вызывают общей токсичности, MET-целевые методы лечения могут ослабить симптоматику воспалительных процессов, что представляет интерес для оценки перспектив MET-направленной терапии рака и применения анти-MET препаратов в лечении некоторых воспалительных заболеваний.

Е.М. Степанова

Новый многостадийный противомаларийный агент, ингибирующий синтез белка

A novel multiple-stage antimalarial agent that inhibits protein synthesis. Beatriz Baragaña, Irene Hallyburton, Marcus C. S. Lee, et al. Nature. 2015. Vol. 522. No 7556. P. 315–320.

По оценкам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в 2013 г. было зафиксировано около 200 млн клинических случаев и 584 000 смертей от малярии, преимущественно среди детей и беременных женщин в Африке к югу от пустыни Сахары. Маларийные паразиты выработали сопротивление к большинству существующих препаратов, в том числе к артемизинину — основному компоненту современной терапии первой линии. Это свидетельствует о необходимости разработки лекарственных препаратов для лечения малярии, обладающих широким терапевтическим потенциалом и новым механизмом действия, что позволит существенно расширить масштабы лечения и преодолеть возникающую лекарственную

устойчивость. В данном исследовании авторы описывают открытие DDD107498 — соединения с новым мощным спектром активности против многостадийного жизненного цикла паразита *Plasmodium*, обладающего также хорошими фармакокинетическими свойствами и приемлемым профилем безопасности. Использование DDD107498 в качестве лекарственного средства позволяет удовлетворить сразу ряд клинических потребностей, таких как излечение за счет всего одной дозы лекарства, блокировка передачи и хемотоксичность. Разработка DDD107498 выполнена в программе скрининга против гематостадийных маларийных паразитов. В качестве молекулярной мишени данного препарата был идентифицирован фактор элонгации трансляции 2 (eEF2), ответственный за GTP-зависимую трансллокацию рибосомы вдоль мРНК и имеющий решающее значение для синтеза белка. Обнаружение eEF2 в качестве жизнеспособной противомаларийной лекарственной мишени открывает дополнительные возможности для получения новых препаратов.

Д.Р. Низин

Высокие дозы витамина D₃ снижают риск дефицита ультрафиолета и ограничивают репликацию вируса ВИЧ-1 у городских жителей Южной Африки

High-dose vitamin D₃ reduces deficiency caused by low UVB exposure and limits HIV-1 replication in urban Southern Africans. Anna K. Coussens, Celeste E. Naude, Rene Goliath, George Chaplin, Robert J. Wilkinson, Nina G. Jablonski. PNAS. 2015. Vol. 112. No 26. P. 8052–8057.

Витамин D играет важную роль в иммунной реакции человека, и его дефицит может снизить способность организма бороться с рядом опасных вирусов, таких как ВИЧ-1. В статье рассматривается экологическая и фенотипическая среда города Кейптаун (ЮАР), где ультрафиолетовое (УФ) излучение носит сезонный характер, а среди темнокожего населения распространен вирус ВИЧ-1. Оба эти фактора обуславливают дефицит витамина D, что еще больше способствует распространению заболевания. В рамках исследования авторы изучили представителей двух этнических групп Кейптауна, чтобы понять характер связи между генетикой, сезонными колебаниями интенсивности УФ-излучения, употреблением богатой витамином D пищи, а также выяснить зависимость от этих

факторов способности человека противостоять ВИЧ-1. В проекте приняли участие 100 добровольцев, предки которых мигрировали из регионов, близких к экватору, а также местные жители, потомки выходцев из Европы, Южной Азии и Индонезии. Обе группы имели примерно схожий возраст и число курящих участников. Исследователи обнаружили, что и те и другие страдают от дефицита витамина D в зимний период. При этом среди женщин нехватка этого витамина проявляется наиболее остро. Анализ крови участников исследования, получавших на протяжении 6 недель пищевые добавки с витамином D₃, показал наибольшее его содержание в организме. Авторы также обнаружили, что образцы крови участников эксперимента, имевших ВИЧ-статус, показали стабильность вируса в организме при регулярном приеме витамина D в зимний период. У тех, кто не получал дополнительных доз витамина D, вирус значительно прогрессировал зимой. Высокая дозировка витамина D ослабляет репликацию ВИЧ, увеличивая количество циркулирующих белых кровяных клеток. Делается вывод о том, что пищевые добавки с большим содержанием витамина D₃ могут улучшить работоспособность иммунной системы, особенно в зимний период, когда организм человека не получает достаточных доз витамина D с УФ-излучением.

В.В. Стрекопытов

Усиление и поддержание противоопухолевого ответа цитотоксических Т-лимфоцитов с помощью иммуностимулирующих моноклональных антител к CD137

Focusing and sustaining the antitumor CTL effector killer response by agonist anti-CD137 mAb. Bettina Weigelin, Elixabet Bolaños, Alvaro Teijeira, Ivan Martinez-Forero, Sara Labiano, Arantza Azpilikueta, Aizea Morales-Kastresana, José I. Quetglas, Esther Wagena, Alfonso Rodríguez Sánchez-Paulete, Lieping Chen, Peter Friedl, Ignacio Melero. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P.7551–7556.

Благодаря усовершенствованным методам адоптивного переноса Т-клеток и использованию иммуностимулирующих моноклональных антител иммунотерапия против рака в последние годы достигла высокого уровня развития. В16F10-производная экспрессирующая овальбумин меланома мышей устойчива как к адоптивному переносу цитотоксических ОТ1-Т-лимфоцитов, специфичных к овальбумину, так и к использованию иммуностимулирующих

антител к CD137. Однако в данном исследовании было показано, что сочетание этих методов, как правило, позволяет достичь исчезновения опухоли. Как показало иммунофлуоресцентное окрашивание по внутриклеточному интерферону-γ, в условиях комбинированной терапии лимфоциты, инфильтрирующие в опухоль и обеспечивающие ее исчезновение, проявляли повышенную эффекторную активность. Это наблюдение согласуется с данными об усиленной экспрессии зомезодермина — фактора выработки эффекторных молекул и дифференцировки по пути Т-клеток памяти — в эндогенных и донорских цитотоксических лимфоцитах и результатами двуфотонной микроскопии. Применение антител к CD137 повысило устойчивость проникающих в опухоль ОТ1-клеток и специфичность их взаимодействия с клетками-мишенями, а также эффективность индукции апоптоза опухолевых клеток (эффект сохранялся до 6 дней после адоптивного переноса). Однако если лечение начинали позже, чем через 7 дней после прививания меланомы, опухоли избегали иммунного контроля. Таким образом, эффект данной комбинированной иммунной терапии основан на усилении и поддержании эффекторных функций Т-клеток.

А.Л. Братцева

Виремия ВИЧ-1 у инфицированных людей успешно подавлена антителами 3BNC117

Viraemia suppressed in HIV-1-infected humans by broadly neutralizing antibody 3BNC117. Marina Caskey, Florian Klein, Julio C. C. Lorenzi, et al. Nature. 2015. Vol. 522. No 7557. P. 487–491.

Иммунотерапия вируса ВИЧ-1 с помощью комбинации моноклональных антител первого поколения была признана неэффективной еще на стадии доклинических испытаний. Однако разработанные недавно методы клонирования одноклеточных антител открывают новые возможности для разработки мощных соединений, нейтрализующих ВИЧ-1. В статье заявлено о первом успешном подавлении вируса иммунодефицита в организме человека при помощи моноклональных антител 3BNC117, образующихся естественным путем лишь у 1% ВИЧ-инфицированных людей. Антитела 3BNC117 нейтрализуют свыше 80% всех штаммов вируса (195 из 237 известных штаммов ВИЧ) и в целом являются очень активными. По сравнению с традиционной антиретровирусной терапией, у этих антител есть еще один плюс — они взаимодействуют с иммунными клетками пациента, что усиливает эффект нейтрализации ВИЧ. Это первый успешный эксперимент по подавлению различных штаммов вируса ВИЧ, проведенный на людях из числа добровольцев. Когда в организм человека попадает микроб или вирус, особые иммунные клетки — В-лимфоциты — захватывают частицы патогена. Поглотив их, они подбирают специфическую белковую молекулу-антитело, которая будет присоединяться к поверхности бактерии или вируса и помечать их. Большая часть таких антител способна распознавать лишь один тип бактерии или вируса, что делает их край-

не неэффективными в борьбе с ВИЧ и другими ретровирусами, структура оболочки которых постоянно меняется. Крайне редко В-клеткам удается создать универсальные антитела, цепляющиеся за жизненно важные участки на поверхности практически всех разновидностей вирусов и микробов. Авторам исследования удалось найти в образцах крови больных такое антитело к ВИЧ, которое соединяется с ключевой частью вируса — выростом на его оболочке, который цепляется за «хвосты» на поверхности иммунных клеток и помогает вирусу проникать в них. Эта молекула, получившая имя 3BNC117, была протестирована на 29 добровольцах, недавно заразившихся ВИЧ. Каждый получил внутривенно инъекцию от 1 до 30 мг на килограмм массы тела и проходил наблюдение в течение 56 дней. Однократное введение антитела в организм больных снизило концентрацию вируса в их крови в 300 раз и удерживало ее на крайне низком уровне на протяжении почти двух месяцев, что продемонстрировало высокую эффективность антитела в подавлении ВИЧ. Как подчеркивают авторы, этот успех не означает того, что добровольцы были излечены от инфекции — вирус продолжал оставаться в их организме, так как 3BNC117 нейтрализует не все подвиды ВИЧ. Со временем, вирус вырабатывает устойчивость к антителу, поэтому лечение при помощи одного лишь 3BNC117 недостаточно: прием антитела нужно сочетать с классическими антиретровирусными препаратами для максимального продления его благотворного действия на организм. С другой стороны, 3BNC117 и его будущие аналоги можно использовать для того, чтобы «научить» иммунную систему здорового человека распознавать частицы ВИЧ. В ряде случаев этого может оказаться достаточно для того, чтобы защитить организм от заражения.

В.В. Стрекопытов

Потенциальный перенос инфекции *Rickettsia felis* комарами *Anopheles gambiae*

Transmission potential of *Rickettsia felis* infection by *Anopheles gambiae* mosquitoes. Constantin Dieme, Yassina Bechah, Cristina Socolovschi, Gilles Audoly, Jean-Michel Berenger, Ousmane Faye, Didier Raoult, Philippe Parola. PNAS. 2015. Vol. 112. No 26. P. 8088–8093.

В статье сообщается об обнаруженной способности малярийных комаров *Anopheles gambiae* распространять еще одно заболевание. Эта малоизученная болезнь известна как пятнистая лихорадка. Его вызывают особые микроорганизмы — *Rickettsia felis*. У больных отмечаются повышение температуры, боль в мышцах, головная боль, а также появление сыпи на коже. От этой лихорадки страдают в основном кошки, среди которых возбудитель заболевания распространяется через блох. Кошка заражается, когда расчесывает блошинные укусы на своей коже. Заболевание распространено в Северной и Южной Америке, Австралии, Африке, Таиланде и на юге Европы. В 2009 г. в Австралии был

отмечен случай заболевания пятнистой лихорадкой людей. Четверо членов одной семьи заразились от живших в доме котят. Заболевших успешно вылечили, хотя девятилетнюю девочку пришлось госпитализировать в палату интенсивной терапии. Теперь же выяснилось, что данную болезнь переносят не только блохи, но и комары, и пострадавших от нее людей значительно больше. Началось все с того, что в тропической Африке, где распространена малярия, отмечались случаи еще одной лихорадки неясной природы. На основании данных о распространении в этих местах *Rickettsia felis* в 2013 г. было выдвинуто предположение, что это может быть пятнистая лихорадка, а переносит возбудителя малярийный комар. В ходе проведенных опытах на мышах авторы экспериментально доказали, что *Rickettsia felis* может передаваться одним из видов малярийных комаров — *Anopheles gambiae*. Теперь врачи, работающие в районах распространения малярии или лечащие больных, которые вернулись из таких мест, должны будут проверять своих пациентов еще и на заражение *Rickettsia felis*.

В.В. Стрекопытов

Нейронауки и психология

Кортикальная обработка информации во время принятия адаптивных решений в сенсомоторных актах

Cortical information flow during flexible sensorimotor decisions. Markus Siegel, Timothy J. Buschman, Earl K. Miller. *Science*. V. 348. No. 6241. P. 1352–1355.

Наши реакции на один и тот же сенсорный вход не всегда одинаковы. В зависимости от контекста одна и та же сенсорная информация определяется нами как требующая разных действий. Такая возможность обеспечивается распределенными сетями мозга, куда входят нейроны разных областей. Во время принятия решений относительно зрительно-моторных реакций активность, предсказывающая выбор, обнаруживается в лобно-теменных отделах мозга (включающих боковую интрапариетальную область, префронтальную кору и фронтальные глазодвигательные поля), а также в моторной и сенсорной коре. Однако остается неясным, как развивается активность, соответствующая определенному вы-

бору. Является ли такая сигнализация восходящей, нисходящей или она развивается параллельно по многим направлениям в мозге? Для выяснения этого вопроса в данной работе у обезьян в задаче детекции цвета и движения стимулов проводилась одновременная регистрация нейронной активности из шести зон мозга: средней височной области, четвертой зрительной области, нижней височной коры, боковой интрапариетальной области, префронтальной коры и фронтальных глазодвигательных полей. Обнаружилось, что после временного восходящего развития активности происходит нисходящее развитие активности из передне-теменной коры в зрительную кору, поддерживающее обработку текущей информации о задаче. Сигналы выбора развиваются одновременно в передне-теменных отделах и переходят в передние глазодвигательные поля и сенсорную кору. Такая картина предполагает, что адаптивный выбор в сенсо-моторных задачах возникает в передне-теменных сетях из интеграции противоположных направлений обработки сенсорной информации и информации о задаче.

О.Е. Сварник

Гиппокампально-префронтальный вход поддерживает кодирование пространственной информации в рабочей памяти

Hippocampal–prefrontal input supports spatial encoding in working memory. Timothy Spellman, Mattia Rigotti, Susanne E. Ahmari, Stefano Fusi, Joseph A. Gogos, Joshua A. Gordon. *Nature*. 2015. Vol. 522. No 7556. P. 309–313.

Пространственная рабочая память (ПРП) является непременным атрибутом целенаправленного поведения. Местоположение ресурсов, угрозы и даже самого себя в динамически изменяющейся или незнакомой среде требует «кэшированной», т.е. оперативной репрезентации соответствующих пространственных характеристик, которые должны постоянно обновляться, сохраняться и применяться по мере необходимости для осуществления адаптивного поведения. Известно, что префронтальная кора (mPFC) и гиппокамп (HPC), вносят совместный вклад в обеспечение пространственной рабочей памяти. Однако, несмотря на давний интерес к нейробиологическим основам ПРП, ее множественные когнитивные компоненты, распределенные анатомические составляющие, временные этапы взаимодействия структур, имеющие решающее значение для обеспечения ПРП, изучены недостаточно. С помощью регистрации импульсной активности нейронов, оптогенетических и поведенческих методов авторам удалось с высокой временной точностью исследовать роль гиппокампально-префронтальных афферентных путей в обеспечении пространственной рабочей памяти. Мышей помещали в Т-образные лабиринты разной сложности. Известно, что эта поведенческая задача является гиппокампзависимой и требует использования рабочей памяти.

Каждая попытка прохождения лабиринта была разделена на три этапа (фазы). В пробной фазе один из двух целевых рукавов был заблокирован перегородкой, и мышь направлялась прямо к пищевому подкреплению, расположенному на открытом месте; во время этой фазы животное запоминало местоположение «пробной цели». В фазу отсрочки мышь возвращалась в стартовый отсек лабиринта и должна была сохранить «пробную цель» в рабочей памяти (длительность периода отсрочки варьировали). В фазе выбора перегородку убрали, и мышь должна была выбрать ранее закрытый рукав, чтобы получить второе подкрепление. Авторы статьи обнаружили, что прямые гиппокампально-префронтальные афференты являются критическими для запоминания (кодирования), но не для сохранения или извлечения информации о пространственных сигналах. Эти сигналы представлены активностью отдельных нейронов префронтальной коры, которая зависит от гиппокампального входа только в фазу запоминания ключевых стимулов при выполнении задачи, требующей пространственной рабочей памяти. Показано, что успешное кодирование пространственных сигналов оказывается возможным при посредничестве гамма-частотной синхронизации между двумя структурами. Роль vHPC–mPFC входа в запоминании местоположения цели подтверждена полученным в данном исследовании эффектом терминального торможения в нейронных представительствах местоположения цели в mPFC. Полученные результаты указывают на важную роль прямого гиппокампально-префронтального афферентного пути в условиях постоянного обновления пространственной информации, критически важной для успешного осуществления животными целенаправленного поведения в задачах, требующих пространственной рабочей памяти.

С.В. Зворыкина

Постепенное созревание молчащих синапсов определяет длительность критического периода

Progressive maturation of silent synapses governs the duration of a critical period. Xiaojie Huang, Sophia K. Stodieck, Bianka Goetze, Lei Cui, Man Ho Wong, Colin Wenzel, Leon Hosang, Yan Dong, Siegrid Löwel, Oliver M. Schlüter. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. E3131–E3140.

В условиях критических периодов все сети нейронов коры совершенствуются для обеспечения наивысшей эффективности их функциональных свойств. Преобладает точка зрения, что оптимальное соотношение возбуждения и ингибирования определяет начало и завершение таких критических периодов. Авторы, напротив, показали, что созревания молчащих глутаматергических синапсов на возбуждающих нейронах достаточно для определения длительности критического периода пластичности глазного доминирования (ПГД) в зрительной коре мышей. Белок постсинаптической плотности 95 (PSD-95) был абсолютно необходим

для зависящего от опыта созревания молчащих синапсов, и его отсутствие перед началом критических периодов приводило к пожизненной ювенильной ПГД. Отсутствие PSD-95 в зрительной коре после завершения такого периода приводило к восстановлению молчащих синапсов, что обуславливало возобновление сходной с ювенильной пластичности глазного доминирования. Кроме того, основанная на молчащих синапсах ПГД была независима от ингибиторного сигнала, чье созревание в процессе развития не зависело от PSD-95. Глутаматергическая синаптическая передача парвальбумин-положительным интернейронам оставалась неизменной у мышей, нокаутных по PSD-95. Полученные результаты показывают не только то, что созревание PSD-95-зависимых молчащих синапсов в возбуждающих нейронах зрительной коры приводит к завершению критического периода пластичности глазного доминирования, но и свидетельствуют о том, что как только такие синапсы объединяются в какую-либо нейронную сеть, зависящие от опыта функциональная оптимизация и критические периоды приходят к концу.

А.Э. Ходосевич

«Зеленые пространства» и развитие когнитивных способностей у младших школьников

Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren. Payam Dadvand, Mark J. Nieuwenhuijsen, Mikel Esnaola, et al. PNAS. 2015. Vol. 112. No 26. P. 7937–7942.

В статье рассматривается зависимость между растительностью, окружающей детей, и даже просто зелеными поверхностями, и развитием их когнитивных способностей. В ходе исследования авторы изучили 2593 ребенка в возрасте от 7 до 10 лет, которые учатся в 36 различных школах Барселоны (Испания). Исследование длилось 1 год. За это время дети с периодичностью раз в 3 месяца проходили тесты, определявшие развитие их познавательных способностей. Затем результаты этих тестов сопоставлялись со спутниковыми данными, показывавшими, как много растительности находится рядом с домом этого ребенка, по той дороге, которой он ходит в школу,

и вокруг самой школы. Оказалось, что зелень рядом с домом почти не влияет на развитие детей, а вот у тех школьников, у которых по дороге и рядом со школой было больше зелени, память и внимание развивались за этот период в среднем на 5% лучше. Мало того, когда ученые добавили еще один фактор — уровень загрязнения окружающей среды (который тоже в какой-то степени определяется наличием или отсутствием растений), то зависимость возросла во много раз и составила от 20 до 65%. Этот факт, который, подтверждается и другими независимыми исследованиями, можно объяснять по-разному. Были высказаны предположения, что в «зеленой» среде меньше отвлекающего детей шума или что они чаще играют на улице. Существует и красивая гипотеза о существовании заложенной в нас эволюцией «биофилии». Она говорит о том, что у людей, в течение многих тысячелетий развивавшихся среди зеленых пейзажей, выработалась психологическая потребность смотреть на них. То есть, не растения помогают развитию детей, а их отсутствие срывает как препятствующий развитию фактор.

В.В. Стрекопытов

Посредством кортикофугальных проекций в нижние бугры четверохолмия слуховая кора контролирует врожденную защитную реакцию на звук

Auditory cortex controls sound-driven innate defense behaviour through corticofugal projections to inferior colliculus. Xiaorui R. Xiong, Feixue Liang, Brian Zingg, Xu-ying Ji, Leena A. Ibrahim, Huizhong W. Tao, Li I. Zhang. Nature Communications. 2015. No 6:7224 | DOI: 10.1038/ncomms8224.

Защита от возможных угроз, поступающих из внешней среды, является существенной для выживания организмов. Однако нейронные сети, отвечающие за преобразование безусловного сенсорного стимула в защитное поведение, остаются, по большому счету, неизвестными. В данной работе изучали поведение бегства у мышей, помещаемых в новую обстановку, где включали 5-секундный звуковой сигнал (широкополосный шум 1-64 кГц, 80 дБ).

Было показано, что кортикофугальные нейроны слуховой коры, имеющие проекции в нижние бугры четверохолмия, опосредуют врожденную реакцию бегства, запускаемую сильным звуком. Оптогенетическая активация этих нейронов, или их проекционных окончаний в нижних буграх четверохолмия, является достаточной для инициации поведения бегства. В то же время ингибирование этих проекций снижает выраженность защитной реакции бегства. Оптогенетическая стимуляция проекций из коры нижних бугров четверохолмия в дорзальную часть центрального серого вещества головного мозга также оказалась достаточной для индукции поведения бегства. Полученные результаты позволяют предположить, что слуховая кора может, как просто усиливать врожденную моторную реакцию на звук, так и в отсутствие звукового стимула запускать поведение бегства через активацию кортико-колликкулярных проекций. Такой кортикофугальный контроль может являться общим свойством врожденных защитных реакций, обеспечивающихся посредством разных сенсорных модальностей.

О.Е. Сварник

Амфетамин влияет на изменчивость мозговой активности и рабочую память у молодых и пожилых людей

Amphetamine modulates brain signal variability and working memory in younger and older adults. Douglas D. Garrett, Irene E. Nagel, Claudia Preuschhof, Agnieszka Z. Burzynska, Janina Marchner, Steffen Wiegert, Gerhard J. Jungehüsing, Lars Nyberg, Arno Villringer, Shu-Chen Li, Hauke R. Heekeren, Lars Bäckman, Ulman Lindenberger. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7593–7598.

Молодые люди обычно лучше справляются с выполнением различного рода задач и демонстрируют более высокий уровень изменчивости активности мозга по сравнению с пожилыми людьми. Однако механизмы, лежащие в основе подобных процессов, мало изучены. Нейромодуляция дофамина может быть одним из таких механизмов, поскольку при ухудшении когнитивных способностей, связанном с возрастом, наблюдается спад в функционировании дофаминергической системы. Препараты, стимулирующие выработку дофамина, к которым относится декстроамфетамин, могут помочь сохранять изменчивость мозговой активности на необходимом уровне. Авторы исследования с помощью магнитно-резонансной томографии рассмотрели влияние амфетамина на изменчивость в работе мозга. Для этого измерялся сигнал, который отражает изменения в количестве насыщенной кислородом крови (BOLD-сигнал), у молодых и пожилых людей. Испытуемым (40 чел. в возрасте от 20 до 30 лет и 22 чел. — от 60 до 70 лет) было предложено выполнить задание на рабочую память: им в случайном порядке показывали 15 букв и необходимо было давать положительный или отрицательный ответ в зависимости от совпадения предъявляемого стимула букве, продемонстрированной от 1 до 3 проб назад. При приеме плацебо у молодых лю-

дей выявлена более высокая изменчивость активности мозга, чем участников старшего возраста. Согласно полученным результатам, прием амфетамина у пожилых испытуемых вызвал значительное усиление вариабельности BOLD-сигнала, в то время, как у людей младшей возрастной группы было зафиксировано лишь небольшое увеличение подобных показателей. С повышением степени сложности задачи (сравнение стимулов с перерывом в предъявлении между ними не более 2 проб) у обеих групп наблюдалось усиление изменчивости BOLD-сигнала. При удержании в памяти букв из большего количества предыдущих проб, дальнейшего роста в особенностях сигнала отмечено не было. Оказалось, что на результаты также влияет последовательность, в которой испытуемые принимают препараты, — сначала плацебо, а затем амфетамин, или в обратном порядке. У старших участников исследования при приеме амфетамина в ходе 1-го этапа эксперимента возрастала вариабельность сигнала, зависящего от уровня кислорода в крови. Это явление сопровождалось положительными изменениями в скорости реакции и непостоянстве мозгового сигнала при выполнении заданий на оперативную память. Однако если препарат вводился после плацебо, в обеих группах было отмечено улучшение качества реализации задачи, но при сниженной изменчивости сигнала уровня оксигенации крови, или никакого эффекта не наблюдалось вовсе. Полученные данные поддерживают гипотезу о том, что различия в проявлениях функционирования мозга у разных возрастных групп свидетельствуют об изменениях в выработке дофамина, характерных для старения. Исследование показывает, что на нейрхимическом уровне механизмы работы головного мозга, связанные с возрастом и когнитивными процессами, зависят от состояния индивида (например, находится ли он под действием лекарственного препарата или нет) и результатов выполнения поставленной задачи.

С.А. Завалишина

Нейроны конечного мозга ворон избирательно реагируют на количество визуальных предметов

Neurons selective to the number of visual items in the corvid songbird endbrain. Helen M. Ditz, Andreas Nieder. PNAS. 2015. Vol. 112. No 25. P. 7827–7832.

Птицы известны своей способностью к счету, хотя у них и отсутствует шестислойный неокортекс, который, как считается, отвечает у приматов за данную функцию. Так что, до сих пор окончательно не известно, какая анатомически специализированная зона конечного мозга ответственна за формирование нейрональных кодов, определяющих понятие о количестве. Наблюдения за работой мозга ворон помогли найти ту зону их мозга, которая отвечает за подсчет предметов и простую арифметику, и тем самым доказать, что эти птицы умеют считать. Авторы, наблюдая за птицами во время выполнения ими теста в виде компьютерной игры на экране планшета, попытались проверить, умеют ли вороны считать на самом деле и владеют ли они абстрактной концепцией числа. Данный тест уже использовался для выявления способностей к счету в уме среди обычных голубей, которые традиционно считаются довольно глупыми птицами. Исследование проводилось в 2011 г. Тогда выяснилось, что голуби умеют различать числа от 1 до 9, и выбирать ту группу фигур на экране, где их было больше. Подобный вывод вызвал массу критики со стороны многих нейрофизиологов, заявивших, что подобные заключения нуждаются в подкреплении данными, полученными при наблюдениях за работой мозга. Именно по этому пути пошли авторы статьи. Суть

теста заключалась в том, что перед каждым раундом игры экран планшета очищался, и затем на него выводилось несколько точек, которые ворона должна была «подсчитать» и затем «нарисовать» их клювом, когда дисплей опять очищался. Размеры точек и их расположение постоянно менялись, чтобы исключить вероятность того, что птица просто запомнит всю картинку целиком, не считая пятна на экране. Во время каждого сеанса игры ученые следили за работой мозга вороны, отмечая те отделы ее нервной системы, которые активировались во время просмотра картинки и введения ответа. Как и ожидалось, птицы неплохо справлялись с тестом, выдавая правильный ответ в 73% случаев, что говорит о том, что они действовали не наугад (тогда процент успеха ворон показал бы 50%). Наблюдения за работой коры головного мозга ворон показали, что за каждое число, вне зависимости от формы и расположения кругов на экране, отвечала своя собственная группа нейронов. Это означает, что вороны представляют числа в виде неких абстрактных фигур или конструкций, чье существование не зависит от того, как выглядят и чем являются данные предметы в реальном мире. Таким образом, авторам удалось доказать, что птицы действительно умеют считать, и что их «нейроны счета» работают почти так же, как у человека и других млекопитающих. Это открытие является потенциальным свидетельством в пользу того, что способность к счету является очень древним умением, которое может потенциально уходить ко времени разделения предков птиц и млекопитающих, что произошло около 300 млн лет назад. С другой стороны, вполне вероятно и то, что представители разных ветвей позвоночных освоили счет отдельно друг от друга в ходе конвергентной эволюции.

В.В. Стрекопытов

Печеночные рецепторы X альфа и бета принимают участие в процессах миелинизации и ремиелинизации в мозжечке

Liver X receptors alpha and beta promote myelination and remyelination in the cerebellum. Delphine Meffre, Ghjuvan'Ghjacumu Shackelford, Mehdi Hichor, Victor Gorgievski, Eleni T. Tzavara, Amalia Trousson, Abdel M. Ghomari, Cyrille Deboux, Brahim Nait Oumesmar, Philippe Liere, Michael Schumacher, Etienne-Emile Baulieu, Frédéric Charbonnier, Julien Grenier, Charbel Massaad. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7587–7592.

Определение новых путей, направляющих миелинизацию, может открывать новые перспективы для ремиелинизации. Печеночные рецепторы X (LXR) α и β – это ядерные рецепторы, которые активируются с помощью оксистеролов – производных стероидов, подвергшихся окислению. Они необходимы для поддержания гомеостаза холестерина, главной липидной составляющей миелиновых оболочек, образующихся олигодендроцитами. До сих пор роль рецепторов в образовании и поддержании мие-

лина была не до конца понятна. В данной статье авторы показали, что LXR принимают участие в процессах миелинизации и ремиелинизации. Печеночные рецепторы X и их лиганды представлены в олигодендроцитах. Было показано, что у мышей, LXR которых не функционируют, проявляются изменения в координации движений и пространственном обучении, у них миелиновые оболочки тоньше и экспрессия миелина понижена. В свою очередь, активация LXR как 25-гидроксихолестеролом, так и искусственно синтезированным TO901317 стимулирует экспрессию гена миелина на уровне промотора, мРНК и белка, напрямую вовлекая LXR α/β в транскрипционный контроль экспрессии этого гена. Активация печеночных рецепторов X также способствует созреванию олигодендроглиальных клеток и ремиелинизации после вызванной лизолетицитином демиелинизации в органотипических культурах срезов мозжечка. Полученные данные показывают значительный прогресс в понимании влияния контроля экспрессии гена миелина на уровне транскрипции и убедительно поддерживают открытую роль LXR как позитивных модуляторов в основных процессах ре- и миелинизации.

А.Э. Ходосевич

Синхронная активность сетей мозга поддерживается за счет корреляции экспрессии генов

Correlated gene expression supports synchronous activity in brain networks. Jonas Richiardi, Andre Altmann, Anna-Clare Milazzo, et al. Science. 2015. V. 348. No 6240. P. 1241–1244.

В периоды покоя активность разных распределенных зон мозга синхронизирована. Эта синхронизация лежит в основе формирования функциональных нейронных сетей. Однако молекулярные механизмы, поддерживающие функциональную связанность зон мозга, остаются невыясненными. В данной работе показано, что паттерн функциональных сетей мозга, определяемый для состояния покоя у здоровых испытуемых при помощи функциональной магнитно-резонансной томографии, воспроизводится, если проводить картирование паттернов экспрессии генов в посмертных на-

борах микропрепаратов срезов мозга человека (данные получены на материалах Алленовского Института мозга). С использованием этого подхода удалось идентифицировать 136 генов, которые внесли максимальный вклад в наблюдаемую коррелированную активность генов. Оказалось, что полиморфизмы генов этого набора достоверным образом влияли на функциональную связанность зон мозга, регистрируемую в состоянии покоя, полученную на основании данных большой выборки здоровых испытуемых подросткового возраста. При изучении паттернов генетической экспрессии у мышей также оказалось, что паттерн уровней экспрессии этих генов совпадает с паттерном аксональной связанности. Таким образом, полученные результаты обеспечивают на самых разных уровнях непротиворечивые доказательства того, что паттерны функциональных сетей мозга в состоянии покоя коррелируют с паттернами активности десятков генов, причем функции этих генов связаны с активностью ионных каналов и синаптической передачей.

О.Е. Сварник

Согласно данным функциональной магнитно-резонансной томографии, окситоцин меняет реакцию на восприятие выражения лица у макак

Oxytocin modulates fMRI responses to facial expression in macaques. Ning Liu, Fadila Hadj-Bouziane, Katherine B. Jones, Janita N. Turchi, Bruno B. Averbeck, Leslie G. Ungerleider. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. E3123–E3130.

За последнее десятилетие окситоцин стал одним из наиболее изученных пептидов в нейроэндокринной системе. Появляется все больше данных о влиянии этого гормона на восприятие социальных стимулов и действия человека в обществе. Вероятно, окситоцин можно использовать для лечения психических отклонений, связанных с нарушениями социального поведения. Важно изучить нейронные механизмы, лежащие в основе действия окситоцина, на примере макак. В качестве метода была выбрана функциональная магнитно-резонансная томография, поскольку она

позволяет измерять изменения в паттернах активации мозга в ответ на окситоцин. Рассматривались участки мозга, задействованные в социальном поведении, при демонстрации обезьянам различных выражений лиц (нейтральное, испуганное, агрессивное и спокойное). В условиях плацебо выявлен значительный рост активности при восприятии мимики, выражающей эмоции, по сравнению с нейтральной. А окситоцин избирательно и по-разному меняет реакцию на стимулы с эмоциональным выражением лица: значительно снижает чувствительность к испуганным и агрессивным лицам, но не влияет на реакцию на спокойно и нейтрально окрашенные выражения лиц. Также обнаружено, что воздействие окситоцина выборочно ослабляет функциональную связь между миндалевидной железой и затылочной и нижней височной зонами коры при просмотре лиц, отражающих страх и агрессию. Подобного эффекта не наблюдается при показе нейтрального и умиротворенного состояний. Полученные сведения могут быть полезны в животной модели при разработке фармакологических решений на базе окситоцина для лечения пациентов с отклонениями в социальном поведении.

С.А. Завалишина

Активация позитивных энграмм памяти подавляет поведение, сходное с депрессией

Activating positive memory engrams suppresses depression-like behaviour. Steve Ramirez, Xu Liu, Christopher J. MacDonald, Anthony Moffa, Joanne Zhou, Roger L. Redondo, Susumu Tonegawa. Nature. 2015. Vol. 522. No 7556. P. 335–339.

Этиология и патофизиология депрессивных расстройств сложна и выяснена еще далеко не полностью. Депрессия диагностируется при наличии группы разнородных симптомов. Стресс считается сильнодействующим экологическим фактором риска для развития многих типов аномального поведения, в том числе тревожности и аффективных расстройств с нарушением настроения. Считается, что гиппокамп негативно регулирует реакцию на стресс и опосредует различные когнитивные и мнемонические аспекты стресс-индуцированных нарушений поведения, однако нейрональные основы, за счет которых происходят поведенческие улучшения, остаются в значительной степени неизвестными. Модели психических расстройств в экспериментах на животных могут продемонстрировать ограниченный набор поведенческих нарушений, обусловленных хроническим стрессом, такие как дефицит мотивации, агедония, но условия эксперимента позволяют оценивать эти нарушения количественно. Изменения в поведении, подобные тем, что наблюдаются при депрессии, проявлялись у животных в поведении после 10 дней хронического иммобилизационного стресса. В данной статье сообщается об избавлении мышей от стресс-индуцированных проблем в поведении, при искусственной оптогенетической активации клеток зубчатой извилины мозга мыши. Эти нейроны ранее были промаркированы при их активации во время естественного позитивного опыта (встреча с самкой

в домашней клетке). Анализ поведения животных из разных экспериментальных групп был проведен с помощью набора поведенческих тестов, которые включали в себя: подвешивание за хвост (tail suspension test), тест на предпочтение сладкого (sucrose preference test), «открытое поле» (open field test), приподнятый крестообразный лабиринт (elevated plus maze test), подавление пищевой мотивации в новой обстановке (novelty-suppressed feeding), ассоциация объекта с присутствием самки (object–female association). Поведенческие нарушения у мышей исчезали на то время, пока длилась оптогенетическая стимуляция клеток, связанных с положительными воспоминаниями. Кроме того, показано, что хроническая реактивация клеток гиппокампа, связанных с положительными воспоминаниями приводит к долгосрочному избавлению мышей от стресс-индуцированных поведенческих нарушений и к усилению нейрогенеза (появлению новых нейронов в зубчатой извилине) в моменты времени за пределами световой стимуляции. При этом сама по себе встреча с самкой, как естественный позитивный опыт, не приводит к нормализации поведения у стрессированного животного, а повторные прямые реактиваций в зубчатой извилине «энграммных клеток», связанных с положительными воспоминаниями является эффективными. По мнению авторов статьи, эти данные позволяют предположить, что искусственная актуализация позитивных воспоминаний может существенно облегчить симптомы депрессии и, что активация эндогенных нейрональных процессов может быть эффективным средством для коррекции дезадаптивных форм поведения. Точкой приложения различных терапевтических вмешательств, избавляющих от дезадаптивных поведенческих состояний, могут стать «энграммные» клетки зубчатой извилины, хранящие позитивные воспоминания.

С.В. Зворыкина



Социальные науки

Групповая дискуссия позволяет лучше распознавать ложь

Group discussion improves lie detection. Nadav Klein, Nicholas Epley. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7460–7465.

Раскрыть обман в повседневной жизни настолько сложно, что кажется, для этого нужны подготовленные профессионалы или еще более передовые способы с применением технологий, которые заменили бы человеческое участие в этом процессе. Однако, использование указанных подходов чаще всего сопряжено с большими затратами, характеризуется невысокой точностью получаемых результатов и малоэффективностью. Задачей исследования было изучить другие возможные приемы для выявления лжи на примере индивидов, которым было предложено определить ложь, будучи в составе группы. Иногда группы способны с большей точностью оценивать ситуацию, чем отдельно взятый среднестатисти-

ческий человек. Авторы выяснили, позволяет ли это преимущество группы лучше распознавать лжецов. Было проведено 4 эксперимента, в ходе которых участники смотрели видеозаписи, а затем в группе или индивидуально должны были выразить свое мнение о том, лжет увиденный ими человек или нет. Отмечено, что группы с большей точностью отличают правду от обмана, чем отдельный человек. При этом, группа способна распознать как «невинную», так и намеренную ложь, касающуюся важных вещей. Показано, что в рамках группы на корректность различения неправды положительно влияет процесс группового обсуждения, а не объединение личных мнений (эффект «мудрости толпы»). Группы не просто умножают небольшую долю точности взглядов отдельных ее участников, но в совокупности создают новый, особый вид точности. Таким образом, результаты исследования демонстрируют простой и дешевый способ решить проблему определения лжи: проведение групповой дискуссии перед вынесением решения.

С.А. Завалишина

Определение и выявление «спящих красавиц» в науке

Defining and identifying Sleeping Beauties in science. Qing Ke, Emilio Ferrara, Filippo Radicchi, Alessandro Flammini. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7426–7431.

Команда исследователей из вычислительного центра университета Индианы (США) изучила феномен научных работ, которые становятся популярными, цитируемыми и обсуждаемыми лишь спустя 30–50 лет после публикации в журналах. Это явление ученые назвали «эффектом Спящей красавицы». Исследование дает эмпирическое доказательство того, что научные статьи действительно могут опережать время. Преждевременно изученная тема может не привлечь внимания научного сообщества, даже если ее авторами являются ученые, заслуживающие доверия и уважения. Но, по прошествии нескольких месяцев, лет, а иногда и десятилетий, интерес к таким публикациям вдруг резко возрастает. Ярким примером «эффекта Спящей красавицы» может служить знаменитая совместная статья Альберта Эйнштейна, Бориса Подольского и Натана Розена, которые описали квантово-механический парадокс. Согласно ему, частицы, взаимодействовавшие в прошлом, остаются связанными, даже если их разделяют миллионы световых лет, однако они не поддаются измерениям по законам классической механики. Эта революционная статья, опубликованная в 1935 г., не имела широкого цитирования вплоть до 1994 г. В ходе исследования авторы изучили 380 тысяч публикаций, предоставленных Американским физическим сообществом (American Physical Society) и 22,4 миллиона из источника Web of Science. По результатам анализа этой базы данных ученые

определили «коэффициент Спящей красавицы», сравнив дату публикации и индекс цитируемости в разные годы с момента этой публикации. Максимальным коэффициентом отличились междисциплинарные работы, области исследования которых оказывались на стыке различных наук. Именно к таким публикациям научное сообщество относится с наибольшим скепсисом до тех пор, пока гипотезы не будут подкреплены максимальным количеством экспериментов. Верхнюю строчку списка «спящих красавиц» заняла работа, посвященная изотерме Фрейндлиха, описывающей явление адсорбции. «Красавицей», проспавшей дольше всех, оказалась статья английского математика и статистика Карла Пирсона (Karl Pearson), посвященная одному из статистических критериев. Вышла эта статья в 1901 г., а обратили на нее внимание лишь в 2002 г. В топ-15 этого рейтинга вошли публикации, популярные и цитируемые сегодня, но опубликованные век назад. Кроме того, выяснилось, что статьи из разных научных дисциплин демонстрируют различную скорость признания. Так, публикации по физике, химии, математике и медицине могут опережать свое время почти на 70 лет. Журналами-рекордсменами по публикациям «спящих красавиц» стали издания PNAS, Nature и Science. Это не первая работа такого рода, однако впервые анализ был проведен достаточно глубоко, чтобы обнаружить статьи «спавшие» более ста лет. Для того чтобы сравнить статьи между собой, авторы ввели специальный «коэффициент красоты», который растет с увеличением промежутка между публикацией и «пробуждением», а также зависит от числа цитирований. В рассмотрение были включены работы, посвященные тематике физики, химии, математики. Обнаруженные работы авторы расположили по убыванию этого коэффициента.

В.В. Стрекопытов

Технологии и материалы

Эффективный фотосинтез окиси углерода из двуокиси с использованием фотоэлементов на основе перовскита

Efficient photosynthesis of carbon monoxide from CO₂ using perovskite photovoltaics. Marcel Schreier, Laura Curvat, Fabrizio Giordano, Ludmila Steier, Antonio Abate, Shaik M. Zakeeruddin, Jingshan Luo, Matthew T. Mayer, Michael Graetzel. Nature Communications. 2015. No 6:7326 | DOI: 10.1038/ncomms8326.

В настоящее время интенсивно изучается искусственный фотосинтез, имитирующий природный процесс хранения солнечной энергии. Использование света для производства ценных химических продуктов сводится к запасанию солнечной энергии в химических связях, то есть в форме, удобной для хранения и транспортировки. Такой подход, называемый искусственным фотосинтезом, преимущественно направлен на разложение воды на чистый водород H₂ в качестве топлива и кислород O₂ в качестве окислителя. Эффективность такого процесса достигает 10%. Хотя водород – важное топливо и ценный химический продукт, желательнее производить топливо на основе углерода, что позволит лучше использовать имеющуюся топливную инфраструктуру. Такое топливо можно получить, разлагая

двуокись углерода CO₂ в процессе, похожем на природный фотосинтез. Одновременно этот процесс может эффективно завершать антропогенный цикл углерода. По сравнению с разложением воды электрохимическое разложение CO₂ требует большего объема исследований в области выбора продукта, ограничений по составу электролита и строгих требований к источнику электричества. Комбинация этих требований делает трудным эффективное разложение CO₂ с помощью солнечной энергии. Производство CO из CO₂ требует энергии 259 кДж/моль, что на 22 кДж/моль больше, чем при электролизе воды, что соответствует напряжению 1,34 В. В статье описывается способ эффективного получения окиси углерода из двуокиси под воздействием искусственного солнечного света. В качестве источника электроэнергии использованы фотоэлементы на основе перовскитов. При использовании последовательно соединенных фотоэлементов и эффективных каталитических электродов получен КПД преобразования свыше 6,5%. Если рассматривать получаемый водород в качестве полезного продукта, то КПД такого процесса превысит 7%. Данное исследование является первой демонстрацией стабильной работы фотоэлементов на основе перовскита, высокая электродвижущая сила которых эффективно использована в рабочем процессе.

И.Ю. Лещанский

Активное придание не зависящего от поляризации цвета структурным плазмонным поверхностям

Polarization-independent actively tunable colour generation on imprinted plasmonic surfaces. Daniel Franklin, Yuan Chen, Abraham Vazquez-Guardado, Sushrut Modak, Javaneh Boroumand, Daming Xu, Shin-Tson Wu, Debashis Chanda. Nature Communications. 2015. No 6:7337 | DOI: 10.1038/ncomms8337.

Плазмонные структуры имеют уникальную способность отражать свет участками, соизмеримыми с длиной световой волны. Металлические поверхности, обладающие наноструктурой, имеют особые цвета. Такая окраска интересна как альтернатива традиционному окрашиванию, поскольку свойства окраски зависят от характеристик структуры. После изготовления такие поверхности сохраняют неизменной свою структуру, а следовательно, и окраску. Используя специально разработанную наноструктурную плазмонную поверхность совместно с двулучепеломляющими жидкими кристаллами, можно получить отражающую поверхность с изменяемым цветом. Цвет поверхности не зависит от поляризации света, но зависит от при-

ложенного к жидким кристаллам напряжения. В предварительных экспериментах с поверхностью, позволяющей жидким кристаллам свободно менять ориентацию, получен большой диапазон изменения цвета. Применяя такую технологию к поверхностям, обладающим периодическими структурами с разными периодами, можно получать очень широкий диапазон изменения цвета, включая весь видимый спектр. Плазмонные структуры на поверхностях могут быть динамическими, что расширяет возможности настройки характеристик отражающей поверхности под конкретное применение. Можно менять резонанс спектра отражения поверхности, используя анизотропию жидких кристаллов для изменения диэлектрической проницаемости среды, окружающей металлическую наноструктуру. Большинство таких образцов могут работать в инфракрасном диапазоне длин волн, а в видимом диапазоне их способность менять цвет весьма ограничена, поскольку резонанс плазмонов меняется незначительно, в диапазоне 10-40 нм. Мы демонстрируем расширенную настройку резонанса до 95 нм. Для такой технологии можно найти множество применений, например цветные фильтры высокого разрешения, поляризаторы, широкополосные поглотители, селективные отражатели.

И.Ю. Лещанский

Динамика топологических дефектов в наночастицах функционирующих батарей

Topological defect dynamics in operando battery nanoparticles. Rachel C. Huber, Amy S. Ferreira, Robert Thompson, et al. Science. 2015. Vol. 348. No 6241. P. 1344–1347.

Топологические дефекты могут значительно изменять свойства наноматериалов по сравнению с макроскопическими аналогами. Например, можно управлять термодинамикой, изменяя размер частиц, ускорять процесс интеркаляции и увеличивать продолжительность операционного цикла. Манипулирование дефектами (defect engineering) можно использовать для оптимизации свойств материалов. Это стимулировало высокий интерес к разработке техники диагностики дефектов, например, дислокаций. В частности, слабо изучена роль дислокаций в функциональных характеристиках литиевых батарей, поэтому их изучение открывает возможности для дальнейшего совершенствования этих батарей. Появление дислокаций коррелирует с емкостными потерями, поскольку дислокации вызывают напряжения и деформации. Кроме того, дислокации могут вызывать напряжения при фазовых переходах и нежелательные поверхностные реакции с электролитом. В работе сообщается о трехмерной визуализации динамики дислокаций в наночастицах катода электрической батареи с использованием метода когерентной брэгговской дифракции (КБД). В экспериментах изучались образцы наноструктурированной шпинели $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ (LNMO). LNMO является перспективным высоковольтным катодным материалом с трехмерной диффузией лития. Кроме того, для него наблюдаются двухфазные состояния и фазовые переходы при определенных

концентрациях лития в процессе заряда и разряда батареи. Фазы различаются величиной постоянной решетки, но имеют одинаковую группу симметрии (Fd3m). Сфокусированный когерентный пучок рентгеновских лучей направлялся на поверхность катода работающей ячейки. Рентгеновские лучи, рассеянные отдельной частицей LNMO, удовлетворяли брэгговскому условию для плоскости (111) и регистрировались плоским детектором. Перед началом эксперимента батарея проходила 101 цикл заряда-разряда с продолжительностью цикла 30 мин. По данным когерентной дифракции реконструировались трехмерные распределения электронной плотности и поле атомных смещений вдоль оси [111] для выделенной катодной наночастицы с пространственным разрешением 35 нм. Направление [111] соответствовало оси x декартовой системы, а пучок рентгеновских лучей направлялся по оси z. В результате обработки дифракционных изображений количественно определялись характеристики краевых дислокаций (длина вектора Бюргерса b и отношение Пуассона ν). Величина b составляла $0,8 \pm 0,1$ нм (в прекрасном согласии с величиной параметра решетки $0,816$ по оси 100, а величина коэффициента Пуассона составляла $0,27 \pm 0,1$ (вместо $0,33$ для макроскопического недеформированного образца). При комнатной температуре дислокации были стабильны, но в процессе переноса заряда становились подвижными. При высоких напряжениях обнаружены отрицательные значения ν для некоторых наночастиц. В процессе структурного фазового перехода обогащенная литием фаза образует центры нуклеации вблизи дислокаций и расширяется неоднородным образом. Изучение дислокаций в операционном режиме батарей открывает пути улучшения функциональных характеристик наноматериалов.

Г.В. Дедков

Наблюдение винтовых дислокаций с атомным разрешением путем электронно-оптического секционирования с исправлением искажений

Imaging screw dislocations at atomic resolution by aberration-corrected electron optical sectioning. H. Yang, J.G. Lozano, T.J. Pennycook, L. Jones, P.B. Hirsch, P.D. Nellist. Nature Communications. 2015. No 6:7266 | DOI: 10.1038/ncomms8266.

Винтовые дислокации играют важную роль в свойствах материалов: механических, электрических, оптических. Хотя передовые методы электронной микроскопии позволяют измерять смещение дислокаций в масштабе атома, в винтовых дислокациях атомы перемещаются преимущественно параллельно линии дислокации, и поэтому винтовые перемещения оказываются параллельными электронному пучку и следовательно невидимы с точки зрения внешнего наблюдателя. Для краевых дислокаций характерны ряды атомов, подвергающиеся напряжению или давлению в плоскости, перпендикулярной к дислокации, выше и ниже плоскости перемещения. Такие дислокации обычно наблюдаются при высоком разрешении в просвечивающих электронных микроскопах.

Винтовые дислокации характеризуются рядами атомов, смещенными вдоль винтовой оси и образующими геликоид, который невозможно наблюдать, поскольку смещение происходит вдоль направления взгляда. Пленки GaN, выращенные на субстрате, обычно содержат прорастающие дислокации. По мере роста пленки эти дислокации имеют тенденцию прилегать друг к другу. Найдены три типа дислокаций: краевые, винтовые и смешанные. Развитие методов исправления искажений в просвечивающих электронных микроскопах привело к существенному повышению их пространственного разрешения. Однако остается некоторое снижение глубины резкости, которая в точных микроскопах составляет несколько нанометров. Эта особенность позволяет сфокусироваться на заданной глубине исследуемого образца, а процесс такого измерения называется оптическим секционированием. Показано, что винтовые дислокации можно изобразить в плоскости, перпендикулярной электронному пучку путем оптического секционирования, используя кольцевые изображения на темном поле в сканирующем электронном микроскопе. Применение такого метода к смешанной дислокации вида $[a+c]$ в GaN позволило непосредственно изобразить винтовую дислокацию с расстоянием диссоциации $1,65$ нм, показав таким образом преимущество нового метода описания главной структуры дислокации.

И.Ю. Лещанский

Перемещение кристаллов по стеклянной поверхности под воздействием света

Light-induced crawling of crystals on a glass surface. Emi Uchida, Reiko Azumi, Yasuo Norikane. Nature Communications. 2015. No 6:7310 | DOI: 10.1038/ncomms8310.

Движение — естественный процесс для множества живых организмов, а также оно присуще и искусственно созданным предметам — роботам и машинам. Сейчас способы самопроизвольного движения микроскопических объектов являются предметом научных исследований. Нужно научиться управлять движением твердых объектов и жидкостей, причем движущей силой такого перемещения должны быть физические или химические силы. В жидкой среде или на поверхности раздела воздуха и жидкости самопроизвольное движение объектов наблюдается, когда вокруг объекта образуется химический градиент. Можно заставить двигаться объекты из веществ на основе металлоорганических структур или гелей. Некоторые каталитические реакции, например, распад перекиси водорода, порождают пузырьки газа на твердой поверхности, которые заставляют направленно двигаться твердые тела

в жидкости. Капли жидкости также демонстрируют направленное движение, движущей силой которого является химический градиент или неравновесные условия; такое движение прекращается при исчезновении градиента или установлении химического равновесия. Здесь описано направленное непрерывное движение кристаллов на поверхности стекла при одновременном облучении их светом с двумя разными длинами волн. В качестве фоточувствительного органического вещества использован азобензол. Направлением движения можно управлять, меняя положения источников света. Ориентации кристалла такая перемена не меняет, но она меняет форму самого кристалла. Источниками света являлись светодиод и ртутная лампа. Кристаллы могут перемещаться даже по вертикальным поверхностям. Движение порождается процессами растворения и кристаллизации на передней и задней гранях кристалла. Сами же эти процессы являются фотохимическим взаимным превращением жидкой и кристаллической фаз раствора под воздействием перехода транс-изомера азобензола в цис-форму и обратно. Это открытие поможет создать на твердых подложках микроскопические управляемые средства передвижения или клапаны для жидкостей.

И.Ю. Лещанский

Электронно-оптическая роль хлора в фотоэлементах на основе перовскита $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3(\text{Cl})$

The optoelectronic role of chlorine in $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3(\text{Cl})$ -based perovskite solar cells. Qi Chen, Huanping Zhou, Yihao Fang, Adam Z. Stieg, Tze-Bin Song, Hsin-Hua Wang, Xiaobao Xu, Yongsheng Liu, Shirong Lu, Jingbi You, Pengyu Sun, Jeff McKay, Mark S. Goorsky, Yang Yang. Nature Communications. 2015. No 6:7269 | DOI: 10.1038/ncomms8269.

Фотоэлектрические элементы на основе перовскита дают интересное сочетание очень низкой стоимости, легкости обработки и хорошей работоспособности. Все перовскиты имеют единую химическую формулу ABX_3 , в которой каждый ион действует как независимый структурный блок. В зависимости от катиона А меняется длина химической связи В-Х и соответствующие этим связям углы. Разные сочетания химических элементов позволяют создать широкое семейство перовскитов с различными свойствами. Типичным гибридным материалом является перовскит $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$, обладающий природными преимуществами: он имеет большой коэф-

фициент поглощения, большую длину диффузии носителей, ширину запрещенной зоны можно регулировать. К тому же перовскиты мало чувствительны к химическим примесям. В частности примесь хлора влияет на строение тонких пленок перовскита, их электронно-оптические свойства значительно улучшаются. Однако это требует хорошего понимания роли галогенов примесей, особенно когда отсутствует теория их влияния на строение пленки в процессе ее роста. Предложен эффективный способ исследования влияния ионов примеси на электронно-оптические свойства, при котором особенности строения пленки, обычно сильно влияющие на эффективность устройства, на нее почти не влияют. Влияние хлора преимущественно ускоряет перенос носителей заряда через пленочный гетеропереход, чего не происходит в кристаллах перовскита. С развитием тонкопленочных технологий солнечные элементы на основе перовскита достигли эффективности преобразования около 20%. Более того, благодаря низкой стоимости и технологичности перовскиты становятся перспективными электронно-оптическими материалами и возможно дополняют или заменяют собой фотоэлементы на основе кремния.

И.Ю. Лещанский

Киригами на алгоритмической решетке: путь к плюрипотентным материалам

Algorithmic lattice kirigami: A route to pluripotent materials. Daniel M. Sussman, Yigil Cho, Toen Castle, Xingting Gong, Euiyeon Jung, Shu Yang, and Randall D. Kamien. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. P. 7449–7453.

Объекты с пониженной размерностью могут быть легкими и при этом очень прочными, как, например, геодезический купол, или скелет диатомовых водорослей. Проектирование таких структур комбинирует не зависящие от масштаба геометрию и топологию со свойствами тех, или иных материалов. Так, для мягких гелевых листов возможно применение запрограммированного неоднородного утолщения и растяжения. Для более жестких систем легкая, и в то же время гибкая, структура может быть получена с помощью оригами, то есть упорядоченного складывания плоской структуры. Однако сложный характер складок и самой последовательности складывания для сложных результирующих поверх-

ностей ограничивает применение методики оригами. Для таких случаев предложена парадигма киригами, то есть комбинации последовательности складываний с разрезами и склеиванием. С помощью регулярного распределения элементов киригами была продемонстрирована парадигма обратного дизайна для складывания плоской поверхности в заданные сложные формы. Во-первых, продемонстрирована схема с применением массивов из пар дисклинационных дефектов на решетке, сопряженной к шестиугольным сотам. При правильно организованном взаимном расположении пар дефектов и соответствующем выборе рисунка складывания можно получить желаемую ступенчатую поверхность. Затем был продемонстрирован более общий метод, который определяет фиксированную решетку надрезов киригами, которые надо сделать на плоском листе. Одна такая плюрипотентная решетка разрезов позволяет программировать получение из одного и того же плоского листа широкого разнообразия поверхностей с помощью варьирования направлений складывания.

А.В. Якименко

Долгоживущие фотоиндуцированные поляроны в сопряженных полиэлектролит-фуллереновых агрегатах

Long-lived photoinduced polaron formation in conjugated polyelectrolyte-fullerene assemblies. Rachel C. Huber, Amy S. Ferreira, Robert Thompson et al. Science. 2015. Vol. 348. No 6241. P. 1340–1343.

Фотодиссоциация зарядов на донор-акцепторных границах раздела искусственных органических фотоэлементов (ИОФ) происходит за время порядка пикосекунд, близкое к тому, что наблюдается в биологических системах, в которых имеет место фотосинтез. Однако, в отличие от биосистем, слишком большие плотности заряда и низкая диэлектрическая проницаемость органических материалов усиливают рекомбинационные процессы, поэтому заряды не успевают принять участие в формировании тока на внешних электродах. В работе описан процесс быстрой передачи заряда в ИОФ с помощью долгоживущих поляронов, близкий к тому, что имеет место в биосистемах, при котором разделение заряда идет значительно интенсивнее, а рекомбинационные потери снижаются. Для этого используется процесс самосборки ИОФ из растворенных в воде сопряженных полимеров и фуллеренов — комбинация PFT (polyfluorene-alt-thiophene) и заряженных производных фуллерена $C_{60}-N [C_{60}(PI)_n]$, где n — число заряженных групп pirrolidinium iodide. При синтезе $[C_{60}(PI)_n]$ образуются мультиагенты с величиной n от 2 до 5. Контроль над агрегацией растворенных в воде компонентов обеспечивается благодаря различию в степени растворимости сопряженного полиэлектролита и производных фуллеренов. Чистые образцы PFT формировались путем самосборки в разветвленные

мицеллы с диаметром $4 \pm 0,5$ нм и длиной 30–50 нм. Структура агрегатов изучалась с помощью криогенной электронной микроскопии, малоуглового рассеяния рентгеновских лучей и спектроскопии тушения люминесценции. Данные малоуглового рентгеновского рассеяния усреднялись по радиальному направлению с целью определения фрактальной структуры мицелл. Фрактальные размерности 1, 2, 4 коррелировали с формой образований в виде стержней, ламеллярных и сферических структур. Динамика разделения заряда в донорно-акцепторных агрегатах исследовалась с помощью ультраскоростной широкополосной переходной спектроскопии поглощения. Наблюдалось образование и поглощение поляронов P^+ и N^- (дырочного и электронного типа) под действием светового возбуждения. Ультрабыстрое образование полярона P^+ подтверждает тот факт, что частицы $C_{60}(PI)_2$ коагулируют вместе с PFT, так как при другой геометрии процесс переноса заряда требует большего времени диффузии или реструктуризации. Около 75 % PFT поляронов распадались за время около 200 пс после образования, остальные существовали в течение времени порядка наносекунд. Фуллереновые акцепторы оптимальны для разделения заряда. Другой тип добавок должен препятствовать рекомбинации заряда. Эту роль выполняют транс-изомеры фуллеренов *trans-1,2* и *trans-3,4*. В итоге показано, что мицеллообразующие полимеры с полупроводниковыми свойствами, коагулируя с катионными производными фуллеренов, образуют фотоиндуцированные каскады электропереноса путем образования долгоживущих поляронов. Авторы считают, что в подходящих условиях полимер-фуллереновые агрегаты могут генерировать поляронные заряды, сохраняющиеся в водных растворах в течение дней или недель.

Г.В. Дедков

Оценка нового способа получения топлива и смазочных материалов из биомассы с точки зрения жизненного цикла парниковых газов

Novel pathways for fuels and lubricants from biomass optimized using life-cycle greenhouse gas assessment. Madhesan Balakrishnan, Eric R. Sacia, Sanil Sreekumar, Gorkem Gunbas, Amit A. Gokhale, Corinne D. Scown, F. Dean Toste, Alexis T. Bell. PNAS. 2015. Vol. 112. No 25. P. 7645–7649.

Одной из важнейших задач по смягчению последствий антропогенных экологических изменений является поиск технологий создания безуглеродного топлива. И если для традиционных видов автомобильного топлива (бензина и дизельного топлива) уже разработаны альтернативные варианты биотоплива, то заменителей горюче-смазочных материалов (ГСМ) для авиационных двигателей на сегодняшний день не существует. Все авиационные ГСМ производятся пока на основе компонентов нефтепереработки и требуют для достижения необходимого молекулярного веса конечных материалов использования добавок, повышающих ферментацию, таких как спирты и кетоны. Авторы

сообщают о разработке нового способа синтеза авиационного биотоплива из сахаров, содержащихся в сахарном тростнике и жмыхе (растительных отходах производства). Топливо, полученное по новой технологии, обладает целым рядом преимуществ. Во-первых, оно недорогое. Во-вторых, соответствует самым строгим требованиям, принятым в авиации. А именно, — оно не содержит кислорода, который снижал бы его плотность; имеет достаточно высокую температуру кипения и достаточно низкую — загустевания; наконец, не вызывает повышенного износа компонентов турбин. В-третьих, выращивать сырье для такого топлива можно на землях, непригодных для сельского хозяйства, а значит, производство пищи при этом не пострадает. Ведь одна из основных претензий к биотопливу заключается в том, что из-за него сокращаются площади посевов пшеницы и других массовых культур. Первый самолет на биотопливе совершил коммерческий рейс еще в 2008 г., однако до сих пор эта практика не получила широкого распространения. Авторы надеются, что разработанный ими метод сможет изменить ситуацию. Отказавшись от топлива на основе нефтепродуктов, авиация существенно снизит мировые выбросы CO_2 , что, в свою очередь, позволит затормозить опасное глобальное изменение климата.

В.В. Стрекопытов

Синтез и применение мозаичной структуры маркированных РНК

Synthesis and applications of RNAs with position-selective labelling and mosaic composition. Yu Liu, Erik Holmstrom, Jinwei Zhang, Ping Yu, Jinbu Wang, Marzena A. Dyba, De Chen, Jinfu Ying, Stephen Lockett, David J. Nesbitt, Adrian R. Ferre-D'Amare, Rui Sousa, Jason R. Stagno, Yun-Xing Wang. Nature. 2015. Vol. 522. No 7556. P. 368–372.

Для понимания биологических функций молекул РНК необходимо знать их строение и динамику. Исследования и технические испытания РНК должны совершенствоваться при помощи методов, позволяющих включение модифицированных или меченых нуклеотидов в специально отведенные позиции или участки РНК. Существующие методы имеют количественные рамки и не позволяют синтезировать маркированные таким образом РНК в больших объемах. Для модернизации процесса синтеза ученые предложили новый гибридный метод транскрипции в твердо-жидкостной фазе на разработанной роботизированной платформе для синтеза РНК. Исследования проводились с использованием ядерной магнитно-резонансной (ЯМР) спектроскопии и техники резонансного переноса энергии по Ферстеру (Forster Resonance Energy Transfer, FRET). Новый метод успешно проявил себя в приготовлении разных изотопно- и флуоресцентно-маркированных версий 71-нуклеотидного домена аптамера (олигонуклеотидной последовательности) аденинового рибосвича. Адениновый рибосвич контролирует генную экспрессию путем активации трансляции. Последовательность giboA71 была синтезирована из *Vibrio vulnificus* методом, названным PLOR. Автоматизированная платформа была разработана на основе повторяющихся шагов и циклов процесса PLOR. Эта тех-

нология позволяет эффективно синтезировать большие количества РНК. Маркированная T7 РНК-полимераза и ДНК-матрицы пригодны для многократного использования. Полученные РНК включают молекулы, выборочно изотопно-маркированные в определенных петлях, линкерах, спиралях, разных или единичных дискретных позициях. Синтезированные РНК имеют такую же пространственную укладку, как в традиционных методах транскрипции. Однако новый метод выделяет ряд дополнительных преимуществ. К примеру, синтез РНК с избирательно помеченными участками или позициями позволяет рассматривать спектральные сигналы критических остатков без помех, что обычно затруднительно, т.к. техника ЯМР ограничена перекрывающимися сигналами спектра РНК. Также при измерении расстояний между флуорофорами в экспериментах FRET установлено, что включения во внутренних звеньях РНК способствуют оптимальному размещению пары флуорофоров. Специфичное расположение включений производных нуклеотидов с тяжелыми или аномально размещенными атомами в РНК может помочь в определении кристаллической фазы. Техника PLOR может быть применена в рентгеновской кристаллографии путем включения тяжелых атомов, производных нуклеотидов в РНК в одной или более желаемых позициях для сбора данных рентгеновской дифракции. РНК-аптамеры, помеченные флуорофорами, при обнаружении чувствительной позиции могут иметь широкое применение в качестве сенсоров, из-за свойственной им специфичности к различным субстратам, включая молекулярные маркеры рака. Метод избирательного маркирования будет полезен при исследовании структуры РНК, при производстве разного рода сенсоров РНК, применяемых в клеточной биологии и диагностике заболеваний.

Е.М. Степанова

Прогноз точной вторичной структуры и распознавание фолдинга для спектроскопии на основе кругового дихроизма

Accurate secondary structure prediction and fold recognition for circular dichroism spectroscopy. András Micsonai, Frank Wien, Linda Kernya, Young-Ho Lee, Yuji Goto, Matthieu Réfrégiers, József Kardos. PNAS. 2015. Vol. 112. No 24. E3095–E3103.

Макромолекулы, проявляющие оптическую активность, например белки, демонстрируют различное поглощение света с круговой поляризацией. Спектроскопия белков и пептидов, основанная на круговом дихроизме дальнего ультрафиолетового диапазона (с длиной волны 180–250 нм), преимущественно основана на возбуждении переходов электронов в амидных группах. Каркас пептида формирует характерные вторичные структуры, такие как α -спирали, β -складчатые листы, витки, неупорядоченные фрагменты с особыми углами Φ и Ψ , и фрагменты с Н-связями, и все они влияют на спектр кругового дихроизма. Спектроскопия на основе кругового дихроизма синхротронного излучения расширяет границы применения обычной спектроскопии за счет расширения спектра, повышения

отношения сигнал/шум и ускорения получения данных в присутствии поглотителей (солей, буферных растворов и т. д.). Для оценки состава и структуры белка разработаны многочисленные алгоритмы, но они часто дают неверные результаты в случае смешанных α/β -структур, или белков, богатых β -структурами. Проблема возникает из-за разнообразия спектров β -структур, которые невозможно распознать из-за внутренних ограничений самого метода. Прогноз менее надежен для белков с необычными β -структурами, например для белков мембран, смеси белков и амилоидных фибрилл. Параллельная или встречно-параллельная ориентация и скручивание В-листов влияют на наблюдаемое разнообразие спектров. Для оценки вторичных структур белков разработан метод, названный выбором β -структур. Он учитывает скручивание β -структур, позволяет надежно распознавать параллельные и встречно-параллельные β -листы и точно оценивать вторичную структуру широкого диапазона белков. Создан инструмент для быстрого и надежного анализа структуры белков на основе спектроскопии кругового дихроизма или спектроскопии кругового дихроизма синхротронного излучения. Этот метод особенно полезен в случаях, когда рентгеновский анализ или ядерно-магнитный резонанс не работают.

И.Ю. Лещанский

Еженедельный журнал Российской ассоциации содействия науке

НАУКА В мире

www.naukavmire.ru